



CONAGUA2023

XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

“Hacia una gestión hídrica sostenible e inclusiva”

RESÚMENES EXTENDIDOS

28, 29 Y 30 de AGOSTO

CENTRO CULTURAL KIRCHNER

C.A.B.A. | ARGENTINA



Ministerio de
Obras Públicas
Argentina



COMITE PERMANENTE
DEL CONGRESO
NACIONAL DEL AGUA

PATROCINADOR



Agencia I+D+i

Agencia Nacional de Promoción
de la Investigación, el Desarrollo
Tecnológico y la Innovación



CONAGUA2023

XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

RESÚMENES EXTENDIDOS

EDITORES

Juan Carlos Bertoni

Pablo Daniel Spalletti

Leandro David Kazimierski

28, 29 y 30 de AGOSTO 2023

Centro Cultural Kirchner | C.A.B.A | Argentina

XXVII Congreso
Nacional del Agua
CONAGUA 2023
RESÚMENES EXTENDIDOS

EDITORES

Juan Carlos Bertoni
Pablo Daniel Spalletti
Leandro David Kazimierski

**DISEÑO GRÁFICO
Y COMPAGINACIÓN**

Lorena Vago

COMITÉ EDITORIAL

Andrea Rodríguez
Bárbara Marion Gomez
Claudio Fattor
Constanza Fernández Gorostidi
Federico Haspert
Federico Romero
Francisco Brea
Guillermo Borgobello
Leandro Kazimierski
Marcelo Salinas
Mariana Giorgi
Mariano Pontón
Mariano Re
Marina Lagos
Marina Sarti
Marisol Reale
Máximo Lanzetta
Nicolás Tomazín
Pablo Spalletti
Santiago Arrigoni
Sebastián Peralta
Tomás Bernardo
Yanina El Kassis

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)

XXVII edición del Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2023: trabajos presentados al CONAGUA 2023; Editado por Juan Carlos Bertoni; Pablo Daniel Spalletti; Leandro David Kazimierski - 1a ed. - Ezeiza: Instituto Nacional del Agua, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-47387-3-8

I. Recursos Hídricos. 2. Hidráulica. 3. Hidrología. I. Bertoni, Juan Carlos, ed. II. Spalletti, Pablo Daniel, ed. III. Kazimierski, Leandro David, ed.

CDD 600

El presente contenido: texto y figuras de los resúmenes extendidos de los trabajos, son propiedad exclusiva de los autores.

Producido y hecho en el Argentina.



CONAGUA2023

XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

La XXVII edición del Congreso Nacional del Agua (CONAGUA), fue organizado por el Instituto Nacional del Agua (INA) en la órbita del Ministerio de Obras Públicas de la Nación (MOP) que tuvo lugar en el Centro Cultural Kirchner (CCK) situado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. El mismo se llevó a cabo desde el lunes 28 hasta el miércoles 30 de agosto de 2023, y fue parte de las actividades asociadas a las celebraciones de los 50 años del INA.

El CONAGUA 2023, promovido en forma sistemática desde 1963 por el Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua (CPCNA), es el encuentro técnico-científico y de gestión del agua de mayor tradición en Argentina. Posee un carácter nacional y federal, cubriendo prácticamente todas las temáticas dentro de los recursos hídricos.

El CONAGUA 2023 propuso reunir a las y los actores de organismos de gobierno, academia, ciencia, tecnología y sociedad a debatir los temas estratégicos para el país y la región en materia de investigación, innovación y gestión del agua.

Con el lema *“Hacia una gestión hídrica sostenible e inclusiva”*, la XXVII edición del CONAGUA se planteó como un espacio de diálogo y de colaboración a fin de compartir experiencias, movilizar la cooperación y aportar soluciones concretas a diversas escalas para avanzar hacia la sustentabilidad hidroambiental, al tiempo de promover una iniciativa de valoración del agua.

En el encuentro, se abordaron los desafíos y las oportunidades estratégicas del país y la región en cuanto a la investigación, la innovación y la gestión hídrica, a partir de distintos ejes temáticos de debate, con el objetivo de impulsar un Pacto Federal del Agua.



COMITÉ PERMANENTE DE LOS CONGRESOS NACIONALES DEL AGUA (CPCNA)

COMISIÓN DIRECTIVA

Juan Carlos BERTONI
Héctor Daniel FARIAS
Andrés RODRÍGUEZ
Eduardo ZAMANILLO
Erik Daniel ZIMMERMANN

COMITÉ ORGANIZADOR DEL INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA)

Juan Carlos BERTONI (INA) **Presidente**
María Pía VALLARINO (MOP) **Vice-Presidenta**
Máximo LANZETTA (INA) **Coordinador General**

Melina DEVERCELLI (INA/CRL) **Coordinadora**
Pablo D. SPALLETTI (INA/LH) **Coordinador**

MIEMBROS DEL COMITÉ REVISOR

Adolfo VILLANUEVA
Adriana PIPERNO
Agnes PATERSON
M. Alejandra RODRIGUEZ SPERONI
Alejandro DROVANDI
Ana HEREDIA
Ana Laura RUIBAL
Ana MURGIDA
Analia LEIS
Andrea RICO
Andrés RODRÍGUEZ
Ángel MENÉNDEZ
Ariana ROSSEN
Ariel HUMAI
Bárbara GOMEZ
Carlos CATALINI
Carlos PAOLI
Cecilia LUCINO
Claudio FATTOR
Cristina DEL CAMPO
Damiano TAGLIAVINI
Daniel FARÍAS
Daniela D'AMEN
Diana CHAVASSE
Diego FERNANDEZ
Diego MOREIRA
Eduardo COMELLAS
Eduardo KRUSE
Enrique ANGHEBEN
Erica DÍAZ
Erik Daniel ZIMMERMANN
Facundo ALONSO
Federica BRENNER
Gerardo HILLMAN
Gonzalo MOYA
Guillermo COLLAZOS

Guillermo MENA
Horacio HERRERO
Irene ORTEGA PAREDES
Jorge BONILLA
Jorge COLLINS
José CASADO
José DÍAZ LOZADA
Juan BIANCHI
Juan BORÚS
Juan Carlos BERTONI
Julio CARDINI
Julio DE LÍO
Leandro GIORDANO
Leandro KAZIMIERSKI
Leticia VICARIO
Luciana COBARBO
Luis OLMOS
Marcelo BORSELINO
Marcelo URIBURU QUIRNO
Marcia RUIZ
María DEL VALLE VENENCIO
María Fernanda LOPOLITO
María Inés RODRÍGUEZ
Mariana PAGOT
Mariano CORRAL
Mariano RE
Mario SCHREIDER
Marisol REALE
Marta JULIÁ
Martín SABAROTS
Matías EDER
Matías RAGESSI
Mauricio ANGULO
Mauricio BUCCHERI
Mauricio PINTO
Máximo LANZETTA

Melina DEVERCELLI
Mercedes MARCHESE
Mónica CALLA
Nicolás GUILLÉN
Nicolás TOMAZIN
Pablo GARCÍA
Pablo ROMANAZZI
Pablo SPALLETTI
Patricia LUNA
Pedro LOHIGORRY
Rafael SEOANE
Raúl LOPARDO
Ricardo INGARAMO
Rodolfo ITURRASPE
Romina BATISTELLA
Rosana MASÓN
Rotger DANIELA
Sandra FLORES
Santiago ARRIGONI
Santiago REYNA
Santiago RUIZ FREITES
Sergio HANELA
Sergio LISCIA
Silvana CASTRO
Silvia MÉRIDA
Silvia RAFAELLI
Silvina VILLEMUR
Sol HURTADO
Teresa REYNA
Tomás BERNARDO
Tomas CALVI
Valeria RODRIGUEZ SALEMI
Victor BURGOS
Victor LIPINSKI
Viviana ZUCARELLI
Yanina EL KASSISSE

Temáticas



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

01	Mécanica de los fluidos e hidráulica fundamental	11
02	Hidrología superficial y subterránea	31
03	Hidráulica de ríos, marítima y de estuarios	351
04	Ingenierías e infraestructuras hidráulicas	385
05	Aspectos hidroambientales	487
06	Gobernabilidad y gobernanza	719
07	Género y diversidad	855
08	Sociedad	869



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

01

Mecánica de los fluidos e hidráulica fundamental



Mécanica de los fluidos e hidráulica fundamental

01

COMPARACIÓN DE MÉTRICAS PARA LA SECTORIZACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Jezabel D. Bianchotti, Melina Denardi y Gabriel Puccini	14
TAPONAMIENTO POR AIRE EN FILTROS DE ARENA A GRAVEDAD Mariela M. Bottelli	16
GESTIÓN DE FUGAS DE FONDO MEDIANTE EL CONTROL DE LAS PRESIONES NOCTURNAS EN REDES DE AGUA Melina Denardi y Gabriel D. Puccini	18
ESTACIONES DE BOMBEO- DESARROLLO DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PERFORMANCE MEDIANTE MODELACIÓN CFD Ariel Darío Fanelli, Martín Sabarots Gerbec y Santiago Guizzardi	20
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE ESTRUCTURAS COHERENTES EN UN CANAL CURVO DE LABORATORIO Jonathan Muchiut, Leticia Tarrab, Román Martino, Wernher Brevis y Andrés Rodríguez	22
MODELACIÓN NUMÉRICA DEL DESCARGADOR DE FONDO DE LA REPRESA JORGE CEPERNIC Arturo Rivetti, Mariano de Dios, Gian Reyes Mendoza y Sergio Liscia	24
CARACTERIZACIÓN DE RESALTOS ONDULANTES EN UN TRAMO DE UN RÍO DE MONTAÑA A PARTIR DE LSPIV Agostina Rigatuso, Augusto E. Martos Aragón, Imanol Arellano, Juan M. De Guernica, Leticia Tarrab, Leandro Masso, Antoine Patalano, Román Martino y Andrés Rodríguez	26
EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y AIREACIÓN DE DESCARGADORES DE FONDO EN CONDUCTOS CERRADOS Federico Romero, Santiago Arrigoni, Constanza Fernández Gorostidi, Claudio A. Fattor y Jorge D. Bacchiega	28

COMPARACIÓN DE MÉTRICAS PARA LA SECTORIZACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Bianchotti Jezabel, Melina Denardi y Gabriel Puccini

Laboratorio de Métodos y Simulaciones Computacionales, Facultad Regional Rafaela, Universidad Tecnológica Nacional, Acuña 49, Rafaela 2300, Argentina
jezabel.bianchotti@frra.utn.edu.ar (J.D.B.); melina.denardi@frra.utn.edu.ar (M.D.); gabriel.puccini@frra.utn.edu.ar (G.D.P.)

Introducción

El suministro de agua es crucial para la supervivencia y el progreso de las sociedades. Es un recurso vital que influye en el desarrollo económico, social y sanitario de las comunidades. Lamentablemente, en numerosas ciudades, la calidad de este servicio se encuentra comprometida debido al aumento de la demanda relacionado con el crecimiento urbano y a las fugas ocasionadas por el deterioro de las infraestructuras hidráulicas.

La sectorización de las redes de distribución de agua potable ha demostrado ser una estrategia efectiva para simplificar el análisis y la gestión de estos sistemas hidráulicos. Este enfoque consiste en la creación de distritos de medición (DMAs, por sus siglas en inglés) que cumplen con requerimientos y criterios específicos, como la uniformidad de presiones, similitud en las demandas, calidad del agua y la reducción de intervenciones necesarias.

Aunque se busca cumplir con varios de estos criterios de diseño, aún no se ha establecido un procedimiento general que permita satisfacer simultáneamente todos ellos y seleccionar el criterio de partición más adecuado. En los últimos años, el diseño de DMAs ha captado un gran interés por parte de diversos investigadores. Uno de los principales desafíos en la creación óptima de DMAs radica en desarrollar una metodología eficiente que cumpla con múltiples requerimientos y se base en la elección adecuada de una métrica para la sectorización (Bui et al., 2020).

En términos generales, los métodos de diseño siguen dos etapas. La primera etapa consiste en detectar la estructura de comunidades de la red mediante el uso de diferentes conceptos como la teoría de grafos (Scarpa et al., 2016), la teoría de redes complejas (Giustolisi y Ridolfi, 2014; Castro-Gama et al., 2016; Bianchotti et al., 2021) o un enfoque de multiagentes (Herrera et al., 2010). La segunda etapa se centra en la división física del sistema mediante la ubicación óptima de caudalímetros y válvulas de aislamiento en tubos seleccionados según indicadores hidráulicos.

El propósito de este trabajo es evaluar diferentes criterios para el diseño óptimo de DMAs que presenten uniformidad en las demandas. La metodología desarrollada se ilustra en la Figura 1 y se basa en un enfoque de sectorización en dos etapas (Bianchotti et al., 2021). La primera etapa consiste en la detección de comunidades utilizando un algoritmo heurístico tipo Louvain (Blondel et al., 2008) para la maximización de la modularidad Q definida en la teoría de redes completas (ver Newman and Girvan, 2004).

En la segunda etapa se realiza la división física del sistema en distritos hidráulicamente independientes (DMAs), agrupando las comunidades detectadas en la primera etapa. Se formula como un problema de optimización de dos objetivos utilizando la versión SMOSA de recocido simulado (Kirkpatrick et al., 1983) para problemas de múltiples objetivos. El primer objetivo consiste en minimizar el número de conexiones entre las comunidades obtenidas en la primera etapa (de manera equivalente, maximizar el número de válvulas a instalar). Para el segundo objetivo se busca minimizar tres métricas diferentes: (a) Pérdida de resiliencia (Todini, 2000), (b) Coeficiente de Gini y (c) Desviación estándar. De esta manera, se obtienen tres conjuntos de soluciones óptimas que permiten una comparación no sesgada, ya que todas las soluciones se obtienen a partir del mismo

agrupamiento inicial.

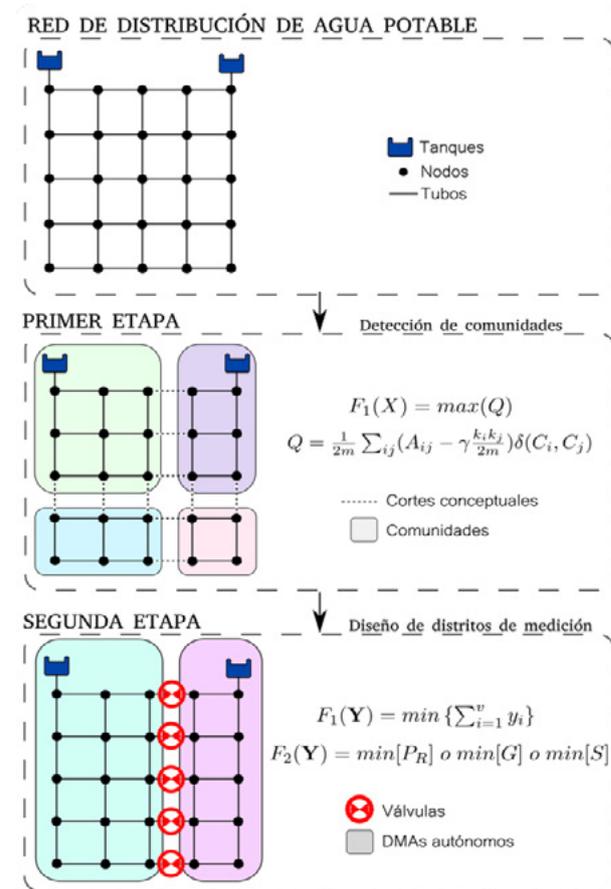


Figura 1.- Esquema de la metodología propuesta para la sectorización

La metodología se aplicó a una red real (TRN) compuesta de 3 depósitos y 128 tubos reportada en la literatura (Zheng y Zecchin, 2014).

Resultados

En la primera etapa de la sectorización de la red TRN, se identificaron 10 comunidades delimitadas por 38 cortes conceptuales que son la base para la siguiente etapa. En la segunda etapa, se generaron múltiples diseños de DMAs para cada métrica, con un número máximo de DMAs igual al número de embalses en la red. Sin embargo, cada distrito presentaba características particulares. Para ilustrar una sectorización particular de cada métrica, se seleccionaron aquellas soluciones que definen tres DMAs con un número similar de intervenciones.

Las Figuras 2 presentan los resultados obtenidos en la segunda etapa para cada métrica. A la izquierda de cada figura se muestran los DMAs obtenidos, mientras que a la derecha se ilustran las presiones nodales resultantes cuando todas las válvulas instaladas están cerradas, siguiendo un sistema de codificación por colores. En la Figura 3 se muestran las distribuciones de demanda correspondientes a cada distrito, respetando la codificación por colores de los DMAs.

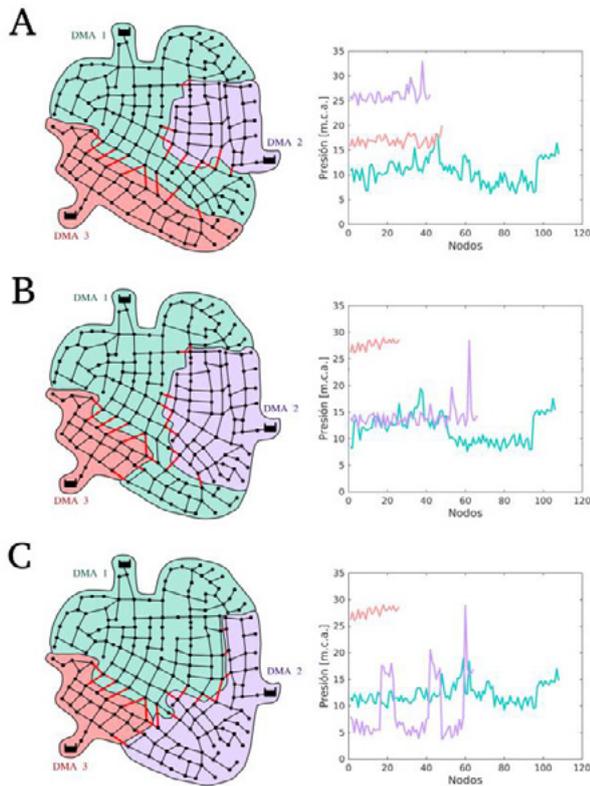


Figura 2.- Diseños de DMAs obtenidos luego de la segunda etapa de sectorización para cada métrica (A) Pérdida de Resiliencia (B) Coeficiente de Gini y (C) Desviación estándar.

Se observa que la configuración obtenida para desviación estándar es muy similar a la elegida para el coeficiente de Gini, ya que ambas soluciones definen el mismo distrito, es decir, el DMA 3. Sin embargo, la solución basada en la desviación estándar presenta una gran variación de presión dentro de un distrito (DMA 2), en el cual las presiones oscilan entre 5 y 30 metros de columna de agua, lo que sugiere que este enfoque no logra un rendimiento uniforme del sistema hidráulico.

Por otro lado el coeficiente de Gini genera DMAs con presiones mínimas más altas y con una distribución de presiones más uniforme entre dos distritos (DMA 1 y 2). Sin embargo, la solución obtenida para la pérdida de resiliencia muestra una menor variación de presiones dentro de cada distrito. Por lo tanto, esta configuración supera al coeficiente de Gini y a la desviación estándar en términos de uniformidad de presiones en cada DMA, convirtiéndose en una mejor opción para lograr un funcionamiento hidráulico homogéneo en el sistema.

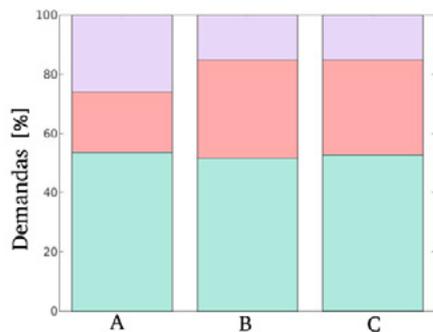


Figura 3.- Distribución de demandas por DMA para las soluciones A, B y C. Código de colores en correspondencia con la Figura 2.

Comparando la solución A con las soluciones B y C para el distrito en color rosado de la Figura 3, se observa que la demanda

aumenta del 15,3% al 25,9%. Este incremento genera una caída en las presiones del DMA 3, con un promedio de 10,2 m de columna de agua (ver Figura 2). Por el contrario, se puede observar una situación inversa con la disminución de la demanda en el DMA 2.

Conclusión

En este trabajo se ha presentado una metodología para el diseño óptimo de distritos en una red de distribución de agua potable (WDN) con múltiples fuentes. Esta metodología permite aislar cada distrito del resto de la red mediante la selección óptima de válvulas de aislamiento en tubos. Se han analizado tres métricas para determinar el objetivo principal a considerar en el diseño óptimo de los distritos (DMAs) y se han destacado las ventajas de cada una de ellas en una WDN real. Los resultados obtenidos demuestran que esta metodología es efectiva para el diseño de distritos independientes con demandas similares.

En relación a las métricas utilizadas, se ha encontrado que la desviación estándar y el coeficiente de Gini generan soluciones con demandas similares, aunque el coeficiente de Gini produce presiones mínimas más altas. Es importante destacar que la desviación estándar puede presentar un sesgo estadístico cuando se analizan pocos datos, lo que puede resultar en una falta de sensibilidad de la función para lograr la homogeneización de la variable. Por otro lado, se ha comparado el rendimiento del coeficiente de Gini con el de la pérdida de resiliencia, y se ha observado que la pérdida de resiliencia logra un mejor rendimiento en términos de uniformidad de presión para cada distrito.

Referencias

- Bianchotti, J.D.; Denardi, M.; Castro-Gama, M. and Puccini, G.D.** Sectorization for Water Distribution Systems with Multiple Sources: A Performance Indices Comparison. *Water* 2021, 13, 131. <https://doi.org/10.3390/w13020131>
- Bui, X.K.; Marlim, M.S. and Kang, D.** Water Network Partitioning into District Metered Areas: A State-Of-The-Art Review. *Water* 2020, 12, 1002.
- Blondel, V.D.; Guillaume, J.; Lambiotte, R. and Lefebvre, E.** Fast unfolding of communities in large networks. *J. Stat. Mech. Theor. Exper.* 2008, 10, P10008.
- Castro-Gama, M.; Pan, Q.; Jonoski, A. and Solomatine, D.** A graph theoretical sectorization approach for energy reduction in water distribution networks. *Procedia Eng.* 2016, 154, 19–26.
- Giustolisi, O. and Ridolfi, L.** New Modularity-Based Approach to Segmentation of Water Distribution Networks. *J. Hydraul.* 2014, 140, 1–14.
- Herrera, M.; Izquierdo, J.; Perez-García, R. and Ayala-Cabrera, D.** Water Supply Clusters by Multi-Agent Based Approach. In *Proceedings of the Water Distribution System Analysis 2010–WDSA2010*, Tucson, AZ, USA, 12–15 September 2010; pp. 861–869.
- Newman, M.E.J. and Girvan, M.** Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E* 2004, 69, 026113.
- Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. and Vecchi, M.** Optimization by simulated annealing. *Science* 1983, 220, 671–680.
- Scarpa, F.; Lobba, A. and Becciu, G.** Elementary DMA Design of Looped Water Distribution Networks with Multiple Sources. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 2016, 142, 04016011.
- Todini, E.** Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. *Urban Water* 2000, 2, 115–122.
- Zheng, F. and Zecchin, A.** An efficient decomposition and dual-stage multi-objective optimization method for water distribution systems with multiple supply sources. *Environ. Model. Softw.* 2014, 55, 143–155.

TAPONAMIENTO POR AIRE EN FILTROS DE ARENA A GRAVEDAD

Bottelli, Mariela M.

AySA, Argentina
mariela_bottelli@aysa.com.ar

Introducción

La filtración es una de las últimas etapas en el proceso de la potabilización del agua, siendo su objetivo separar las partículas y microorganismos que no han sido retenidos en los procesos previos de coagulación y sedimentación. La Planta Potabilizadora General San Martín, cuarta planta potabilizadora más grande del mundo, cuenta con 130 filtros rápidos de arena a gravedad que diariamente producen un caudal promedio de 130.000 m³/h.

Durante el proceso de filtración el agua con turbiedad remanente atraviesa un manto de arena de aproximadamente un metro de altura en forma descendente. Al cabo de un determinado tiempo denominado carrera de filtración es necesario remover las partículas acumuladas en el manto mediante el lavado del filtro.

La tasa nominal de filtración varía entre 8 y 12 m/h, dependiendo del tipo de filtro. El presente estudio fue realizado en un período de tiempo en el cual se encontraban en obra de renovación dos baterías de filtros (20 unidades en total), y por lo tanto el resto de las baterías debían trabajar a una tasa superior a la nominal para seguir produciendo el caudal demandado. Fue bajo estas condiciones que se observó en ciertas carreras un descenso abrupto del caudal filtrado, originado, como se mostrará más adelante, por el fenómeno de taponamiento por aire o *air binding* (Scardina, 2004).

La Figura 1 muestra un esquema de un filtro tipo de la Planta con su instrumentación. Cada unidad posee una compuerta de ingreso de agua decantada y una válvula de salida de agua filtrada, la cual se abre o cierra según sea la medición del sensor de nivel y del caudalímetro tipo Pitot de agua filtrada, para evitar desbordes y asegurar un cierto caudal consigna fijado por el operador según la producción requerida. Cada filtro cuenta además con un transmisor de presión, a partir del cual puede determinarse su pérdida carga.

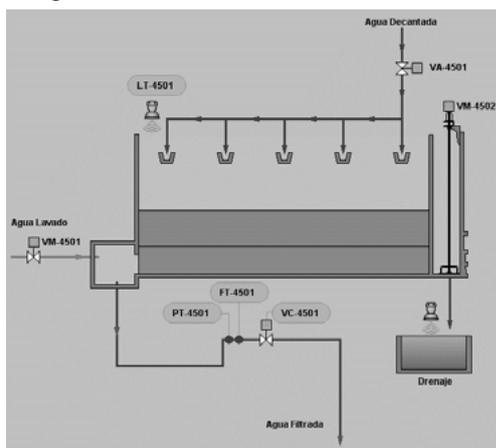


Figura 1.- Esquema de un filtro tipo con instrumentación

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es mostrar el fenómeno de taponamiento por aire producido en los filtros de la planta bajo distintas condiciones operativas y sus posibles soluciones.

A medida que transcurre la carrera de filtración, la energía piezométrica a través del filtro disminuye. Cuando la suma de las

pérdidas de carga desde la superficie del medio hacia abajo excede la profundidad de agua hasta ese punto, se alcanzan presiones negativas.

A modo de ejemplo, en el esquema de la Figura 2, las presiones son negativas a la profundidad x cuando $h_x = x + (h_w - \Delta h_x)$ es negativo, es decir, cuando $\Delta h_x > x + h_w$. Por lo tanto, cuanto mayor sea el nivel de agua sobre el filtro (h_w), más lejos se estará de alcanzar presiones negativas en el manto.

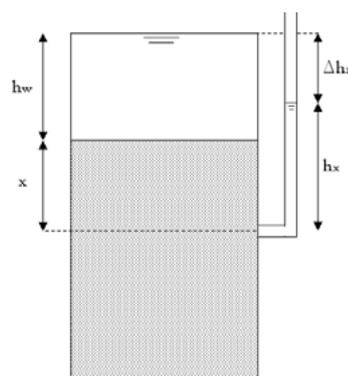


Figura 2.- Esquema de presiones

Según la Ley de Henry [1], cualquier disminución de la presión en el líquido rompe el equilibrio de la interface agua-aire y libera burbujas (Arboleda Valencia, 1992). Al alcanzarse presiones menores a la atmosférica se favorece la liberación de burbujas de aire, que pueden adherirse a los granos de arena y/o acumularse en puntos altos disminuyendo la sección disponible, incrementando abruptamente la pérdida de carga en el filtro y por lo tanto acortando la carrera de filtración (Davis, 2002). Este fenómeno se denomina taponamiento por aire.

$$c = k p \quad [1]$$

Donde:

- c es la concentración del gas disuelto en el líquido
- k es la constante de Henry, que depende de la naturaleza del gas, la temperatura y el líquido
- p es la presión parcial del gas

Desarrollo

Con el fin de identificar si se presentan en los filtros condiciones de funcionamiento (caudales, niveles de agua, apertura de válvula) que favorezcan la liberación de burbujas de aire, se realizaron una serie de ensayos en un filtro testigo, en condiciones controladas. Cada ensayo consiste en asignar un caudal consigna de 1500 m³/h durante 24hs y registrar en forma continua no sólo el caudal, nivel y presión sino también la turbiedad del agua de ingreso y de salida.

Para el cálculo de la pérdida de carga en mantos de arena se cuenta con la expresión de Kozeny [2], la cual surge de la aplicación de la expresión de Poiseuille en un medio filtrante, y es válida para flujo laminar (Arboleda Valencia, 1992).

$$\Delta H = \frac{LK_k \mu U (1 - e)^2}{g \rho e^3} \left(\frac{6}{C_e D_g} \right)^2 \quad [2]$$

Donde:

- ΔH es la pérdida de carga total producida en el manto filtrante de espesor L [m]
- K_k es el coeficiente de Kozeni
- μ es la viscosidad dinámica del agua [kg/ms]
- U es la velocidad o tasa de filtración [m^3/m^2s]
- e es la porosidad del medio filtrante
- ρ es la densidad del agua [kg/m^3]
- C_e es el coeficiente de esfericidad
- D_g es el diámetro del grano

A lo largo de una carrera de filtración la porosidad del manto disminuye, debido a que el volumen entre granos es ocupado ya sea con las partículas que generan la turbiedad o con cualquier otro contenido, como por ejemplo aire. Por este motivo se definió a la porosidad como una resta entre la porosidad inicial del manto (inmediatamente luego del lavado) y un factor de taponamiento.

Midiendo la presión a la entrada y salida del filtro puede calcularse la pérdida de carga en el manto filtrante, y utilizando la expresión de Kozeni se obtienen la porosidad y factor de taponamiento a lo largo de la carrera de filtración.

Para cada ensayo realizado se obtuvo como resultado el perfil hidráulico, pérdida de carga, factor de taponamiento y carga acumulada en el filtro (en gr/m^2) en función del tiempo.

Resultados

Una vez finalizados los ensayos, se pudo clasificar a cada uno dentro de dos grandes grupos: ensayos en los cuales pudo mantenerse el caudal consigna durante todo el tiempo, y ensayos en los que a un determinado tiempo se produjo un descenso abrupto del caudal consigna (ver Figura 3).

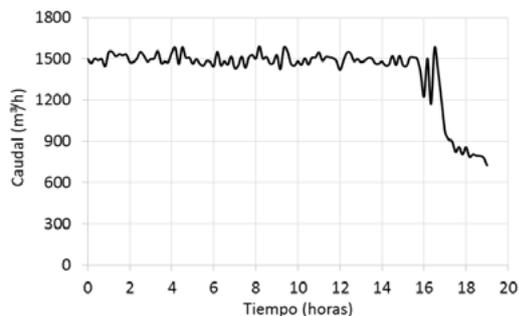


Figura 3.- Caudal filtrado en ensayo realizado el 14/11

En todos los ensayos pertenecientes a este último grupo, al finalizar la carrera pudo observarse con claridad la liberación de aire al cerrarse la válvula de agua filtrada (ver Figura 4), evidenciando una previa acumulación de aire en el mismo.



Figura 4.- Liberación de aire en forma de burbujas al finalizar la carrera de filtración

A su vez, en estos mismos filtros, calculando el perfil hidráulico se obtuvieron presiones negativas en algún punto del manto

filtrante y particularmente en la cañería de descarga de agua filtrada hacia la reserva.

La Figura 5 muestra el factor de taponamiento a lo largo de las carreras ensayadas. Del gráfico se deduce que todas las carreras han tenido una calidad de agua decantada similar, dado que las tendencias del factor de taponamiento son aproximadamente paralelas. Calculando las presiones a lo largo del manto filtrante y de la cañería de descarga de agua filtrada se observó que las presiones negativas en el manto se alcanzan cuando el factor de taponamiento toma un valor de aproximadamente 0,10, mientras que las presiones se tornan negativas en la cañería cuando el factor de taponamiento alcanza valores que rondan los 0,15. Puede observarse claramente el quiebre o aumento brusco del factor de taponamiento al alcanzarse dicha condición. Los ensayos que presentan este quiebre coinciden con los que se ha observado la liberación de aire y acortamiento de carrera.

Existen otros cambios de pendiente en el factor de taponamiento por debajo de los valores mencionados anteriormente, que se deben a ciertas situaciones operativas que producen perturbaciones y generan presión negativa. En efecto, cuando el caudal ingresante de agua decantada es superior al caudal filtrado, la compuerta de alimentación se cierra hasta alcanzar un nivel de agua más bajo, que en ciertos casos se observó que genera presiones negativas. Esta condición, por más que sea breve, produce también el taponamiento del filtro por aire.

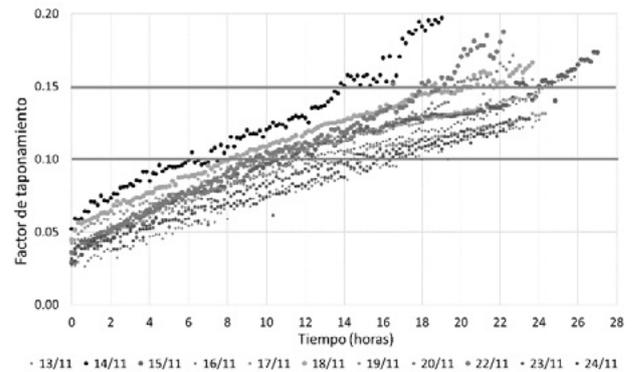


Figura 5.- Factor de taponamiento en función del tiempo para todos los ensayos realizados

Conclusiones

Analizados los resultados, puede concluirse que la pérdida brusca de capacidad de filtración analizada en el período dado se debe al taponamiento por aire. En efecto, en los ensayos en que se observó un abrupto descenso del caudal filtrado, se identificó no sólo la presión negativa en el perfil hidráulico sino que pudo observarse directamente la liberación de aire en forma de numerosas burbujas, que durante la carrera obstruían el paso del agua generando un aumento de la pérdida de carga.

Para evitar el taponamiento por aire es necesario procurar tener el mayor nivel de agua sobre el manto filtrante posible, evitando operaciones que puedan causar el descenso del mismo. A su vez es importante asegurar la efectividad de los lavados y reducir el caudal de agua filtrado de modo de que las tasas de filtración sean cercanas a las nominales.

Referencias

- Arboleda Valencia, Jorge (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. CEPIS.
- Davis, Mackenzie L. (2002). *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. Mc Graw Hill.
- Scardina, Paolo y Edwards, Marc (2004). "Air Binding of Granular Media Filters". *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 130, Issue 10, October 2004.

GESTIÓN DE FUGAS DE FONDO MEDIANTE EL CONTROL DE LAS PRESIONES NOCTURNAS EN REDES DE AGUA

Melina Denardi, Jezabel D. Bianchotti y Gabriel D. Puccini

Laboratorio de Métodos y Simulaciones Computacionales, Facultad Regional Rafaela,
Universidad Tecnológica Nacional, Acuña 49, Rafaela 2300, Argentina
melina.denardi@frra.utn.edu.ar (M.D.); jezabel.bianchotti@frra.utn.edu.ar (J.D.B.); gabriel.puccini@frra.utn.edu.ar (G.D.P.)

Introducción

Las fugas de fondo son pérdidas de agua que se presentan en todas las redes de distribución de agua potable y se producen en tuberías, conexiones y componentes adicionales. Estas fugas, que son continuas y de bajo caudal, pueden llegar a representar el 70% del agua no contabilizada. Una de las técnicas más utilizadas para mitigar este tipo de fugas y que requiere mínima intervención de la red consiste en la gestión de la presión (Farley, 2001). Sin embargo, no se ha llegado a un consenso entre los investigadores sobre la estrategia más eficiente para reducir la presión sin afectar el servicio a los consumidores. En este trabajo se propone una metodología novedosa de dos etapas para gestionar las presiones y minimizar las fugas de fondo.

Metodología

Simulación de fugas de fondo

Para simular las fugas se instalan emisores en aquellos nodos de la red que representan puntos de demandas de los consumidores. Ningún emisor supera un caudal igual al 35% de la demanda base del nodo.

Primera etapa: Detección de posibles puntos de control de presión dentro de la red

En términos generales, una *comunidad* está compuesta por un conjunto de nodos que se encuentran altamente conectados entre sí y que presentan una menor conectividad con nodos que no pertenecen a la comunidad. El método Louvain (Blondel et al., 2008) es un algoritmo para la detección de comunidades en redes complejas que se basa en la maximización del Índice de Modularidad (Newman, 2006):

$$Q_T = \frac{1}{2n_p} \sum_{ij} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2n_p}) \delta(M_i, M_j) \quad [1]$$

donde n_p es el número de tubos, A_{ij} son los elementos de la matriz de adyacencia A_{nm} , k_i es el grado del nodo i , es decir el número de tubos conectados al nodo i , M_i identifica el módulo i de la red, δ es la función delta de Kronecker (igual a uno sólo si $M_i = M_j$) y la suma corre sobre todos los posibles pares de nodos (i, j) , con $i \neq j$. Este índice es un escalar que adopta valores entre 0 y 1. Un valor alto de modularidad indica que los nodos dentro de cada módulo están fuertemente conectados entre sí y débilmente conectados con los nodos fuera de la comunidad. En contraste, un valor bajo de modularidad indica que los nodos de la red no se encuentran agrupados en comunidades claramente definidas.

La primera etapa de la metodología propuesta consiste en la maximización del índice de modularidad para la detección de una estructura de comunidades de la red de agua. Con este objetivo se busca reducir la complejidad del problema planteado en la segunda etapa. Los tubos que delimitan estas comunidades serán posibles puntos de control que permitirán gestionar las presiones en la segunda etapa. En esta primera etapa se considera únicamente la topología de la red, por lo que no es necesaria la resolución del sistema hidráulico durante el proceso de optimización.

Segunda etapa: Gestión de las presiones nodales para la reducción de fugas de fondo

El índice de Resiliencia es la métrica utilizada para cuantificar la capacidad que posee una red para sobrellevar fallas y garantizar, al mismo tiempo, un suministro de agua confiable y eficiente. Este índice fue introducido por Todini (2000) y se define como:

$$I_R = \frac{\sum_{k=1}^{N_n} q_i^* (h_i - h_i^*)}{\sum_{k=1}^{N_r} Q_k H_k - \sum_{k=1}^{N_n} q_i^* h_i^*} \quad [2]$$

donde q_i^* y h_i^* son la demanda y la presión requerida en el nodo i , h_i es la presión del nodo i , N_n es el número de nodos, Q_k y H_k son la descarga y la presión, respectivamente, de cada reservorio k , N_r es el número de reservorios. El índice de resiliencia depende de la diferencia entre la presión en los nodos y la presión mínima requerida, por lo tanto, una disminución de las presiones nodales implica una reducción de la potencia adicional disponible.

La metodología desarrollada busca minimizar el I_R de la red original mediante la gestión de la presión en los nodos. Para ello, se colocan Válvulas Reductororas de Presión (PRVs, por sus siglas en inglés) en los tubos que delimitan las comunidades detectadas en la primera etapa. Las variables de decisión en esta segunda etapa son, entonces, los parámetros de funcionamiento de las válvulas PRV. Cada parámetro, también denominado *setting*, es la máxima presión que admite la válvula en el nodo aguas abajo del dispositivo.

Para abordar este problema de optimización combinatoria, que se clasifica dentro de la categoría de problemas NP-completos, se aplica un algoritmo estocástico conocido como Recocido Simulado (Kirkpatrick et al., 1983). Debido al enfoque utilizado, es necesario resolver el sistema hidráulico en cada iteración del algoritmo. Una vez finalizada la optimización, la red resultante se denomina red optimizada.

Caso de estudio

La metodología propuesta se aplica a una red real de tamaño medio denominada Modified Large Network (MLN). Esta red está compuesta por 5 reservorios, 1278 tubos y 935 nodos de demanda (ver Figura 1). Se estudian dos escenarios: en el primero, denominado nocturno, se simula una hora del día con baja demanda (hora 00:00). En el segundo, denominado diurno, se simula una hora del día con alta demanda (hora 18:00). Este segundo escenario permite analizar cuán factible es extender el proceso de optimización propuesto en la segunda etapa a horarios en que las presiones descienden debido al aumento de las demandas.

Resultados

Como resultado de la maximización de la modularidad, en la primera etapa se detecta una estructura con 27 módulos, delimitados por 73 tubos. Esta estructura se considera como punto de partida para ambos escenarios, ya que su detección depende únicamente de la topología de la red. Como resultado del proceso de optimización planteado en la segunda etapa, se obtiene una solución que implica la activación de solo 9 de las 73 válvulas instaladas en los tubos que delimitan las comunidades. Estas 9 válvulas funcionan finalmente como válvulas de control de presión. Los demás dispositivos se comportan como válvulas on-off. La Figura 1 muestra la distribución final de las PRVs, numeradas del 1 al 9: Se observa que 4 de ellas (V6 a V9) se

instalan a la salida de reservorios. Las válvulas on-off que modifican su estado de un escenario a otro se identifican con los nombres V10 y V11. Las válvulas que se mantienen continuamente abiertas no se resaltan en la figura para evitar sobrecargar la imagen.

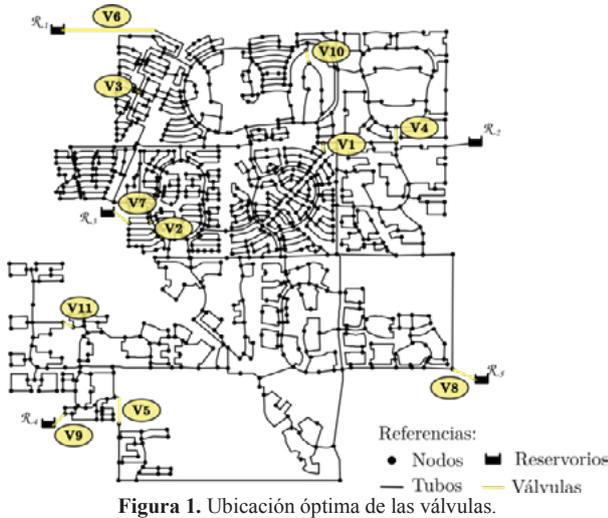


Figura 1. Ubicación óptima de las válvulas.

La Tabla 1 detalla las condiciones de servicio de cada dispositivo. Se observa que aquellas válvulas que permanecen activas o cerradas en un horario cambian su estado a abiertas en el horario opuesto. Las válvulas V8 y V9 son las únicas que mantienen su estado activo en ambos escenarios.

Tabla 1.- Condiciones de servicio de las válvulas

Horario	Tipo	Horario nocturno		Horario diurno	
		Estado	Setting*	Estado	Setting*
V1	PRV	Activa	25	Abierta	-
V2	PRV	Activa	25	Abierta	-
V3	PRV	Activa	33	Abierta	-
V4	PRV	Activa	27	Abierta	-
V5	PRV	Abierta	-	Activa	35
V6	PRV	Abierta	-	Activa	27
V7	PRV	Activa	51	Abierta	-
V8	PRV	Activa	55	Activa	41
V9	PRV	Activa	29	Activa	51
V10	ON-OFF	Cerrada	-	Abierta	-
V11	ON-OFF	Abierta	-	Cerrada	-
V12 a V73	ON-OFF	Abierta	-	Abierta	-

*mca

En la Figura 2 se comparan las distribuciones de presiones obtenidas antes y después de la segunda etapa. Las presiones de la red optimizada en el horario nocturno (ver Figura 2-a-der.) no solo disminuyen de manera notable respecto a la red original (ver Figura 2-a-izq.) sino que, además, adoptan una distribución homogénea con valores entre 20 y 50 mca. Únicamente se detectan 5 nodos aislados, próximos a los tanques, con valores de presiones mayores a 50 mca. Por el contrario, la distribución de las presiones de la red optimizada en el horario diurno (ver Figura 2-b-der.) presenta cierta similitud con la de la red original (ver Figura 2-b-izq.). En la Figura 2-b se muestra una zona particular en la que el cambio de presiones resulta más evidente. En este escenario, debido a las características de las demandas, las presiones adquieren valores menores a 35 mca en gran parte de la red.

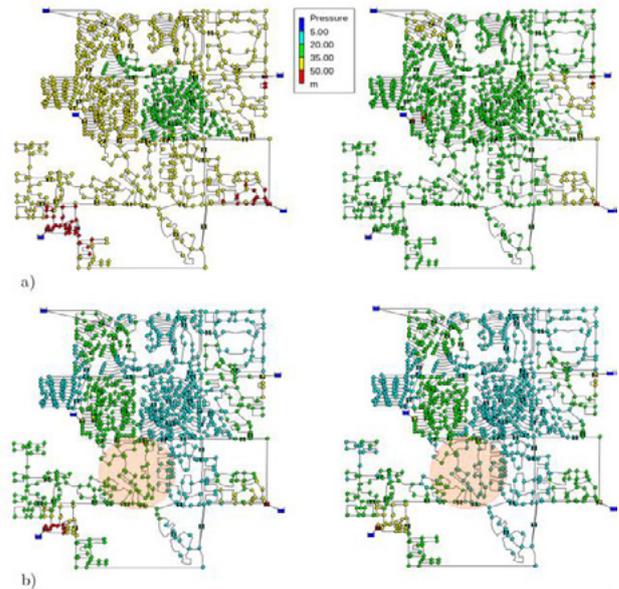


Figura 2. Presiones nodales. a) Horario nocturno para la red original (izq.) y red optimizada (der.). b) Horario diurno para la red original (izq.) y red optimizada (der.)

La Tabla 2 muestra los volúmenes de fugas obtenidos en ambos escenarios para la red original (columna 2) y red optimizada (columna 3). La columna 4 indica la diferencia entre los volúmenes obtenidos antes y después de la optimización. Se observa que el porcentaje de reducción de las pérdidas, respecto al volumen de la red original, es 3 veces menor en el horario diurno que en el horario nocturno.

Tabla 2.- Resumen volúmenes de fugas de fondo

Horario	Red original	Red optimizada	Reducción	
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[%]
Nocturno	6350,3	5180,3	1170,0	18
Diurno	4492,9	4235,9	257,1	6

Conclusiones

Los resultados muestran que la metodología propuesta permite reducir de manera significativa las fugas de fondo, con mayor impacto en el horario nocturno, mediante la activación de un número reducido de válvulas PRV y la colocación de válvulas on-off en tubos óptimamente seleccionados.

Referencias

- Blondel, V.D., Guillaume, J., Lambiotte, R. and Lefebvre, E. (2008). "Fast unfolding of communities in large networks". *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, Volume 2008, October 2008, Vol. 10, P 10008.
- Farley, M. (2001). "Leakage Management and Control". Who, 1-98.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. and Vecchi, M. (1983). "Optimization by simulated annealing". *Science*, Vol. 220, pp 671-680.
- Newman, M. E. J. and Girvan, M. (2004). "Finding and evaluating community structure in networks" *Physical Review E*. Vol. 69, No. 15, Feb 2004.
- Todini, E. (2000). "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach", *Urban Water*, Vol. 2, pp. 115-122.

ESTACIONES DE BOMBEO – DESARROLLO DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PERFORMANCE MEDIANTE MODELACIÓN CFD

Ariel Darío Fanelli, Martín Sabarots Gerbec y Santiago Guizzardi

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina
afanelli@fi.uba.ar, msabarots@fi.uba.ar, sguizzardi@fi.uba.ar

Introducción

Actualmente, el desarrollo de las estaciones de bombeo se rige a partir de normas de diseño desarrolladas por diversos entes y/o instituciones internacionales que enuncian pautas a seguir para lograr un diseño funcional y económico. Si bien el desarrollo de proyectos de ingeniería pretende seguir estos criterios, la gran mayoría presenta, una vez desarrollado el modelo físico, aspectos a corregir debido a deficiencias en la captación según los criterios de aceptación de las normas. Entre las deficiencias mencionadas se destacan la pérdida de rendimiento, la presencia de vibraciones en estructuras civiles, fatiga de materiales, generación de ondas superficiales, aumento de pérdidas de carga, incorporación de aire y cavitación.

Se pretende entonces, a partir de la modelación numérica de un caso típico de dársena de bombeo, comprender y evaluar el comportamiento hidráulico mediante indicadores como lo es el ángulo de rotación en la campana.

Marco de referencia

A partir de lo antes descrito se desarrolló un caso y/o modelo base que permitirá estudiar el comportamiento de una dársena de bombeo para una dada configuración geométrica y condiciones de operación.

La dársena de bombeo a modelar será del tipo rectangular; 2,00 m de ancho, 15,00 m de largo y 4,50 m de alto. La misma contará con un único tubo de aspiración de diámetro exterior igual a 559 mm. La campana asociada a dicho tubo presentará un diámetro de 1,00 m y una distancia al suelo de 0,50 m.

El caudal bombeado será igual a 0,71 m³/s, el cual define velocidades de 0,90 m/s en la campana y 3,50 m/s en el tubo de aspiración. En virtud de lo solicitado por ANSI/HI (1998) se define una sumergencia de 1,66 m. A partir de este valor y la distancia al suelo de la campana se contará con un nivel líquido en la dársena de 2,20 m para el caso base.

Geometría y mallado

La geometría de los modelos, y posterior mallado, se desarrolló a partir de los softwares Salome y AutoCAD, junto a la utilidad snappyHexMesh de OpenFoam que permitió integrar la campana de succión. La malla cuenta con celdas hexaédricas de 10cm de lado. La misma fue sometida a una sensibilidad en tamaño de celda y resuelve el 50% de la energía cinética turbulenta mientras que el porcentaje restante es modelado por el LES.

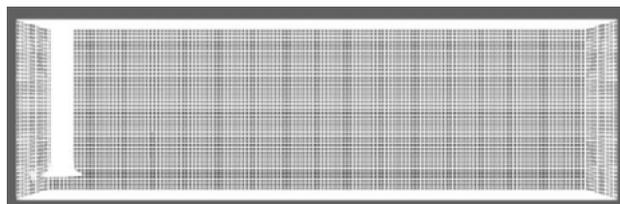


Figura 1.- Mallado elaborado para dársena de bombeo

Metodología de resolución

El modelo planteado será resuelto a partir del solver InterFoam, diseñado para resolver la interacción entre dos flujos incompresibles, isotermos e inmiscibles. El solver resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para dos fluidos incompresibles,

isotérmicos e inmiscibles. Eso significa que las propiedades del material serán constantes en la región que se encuentra abarcada por alguno de los dos fluidos en cuestión, excepto en la interfase. Se presenta a continuación un breve resumen de las condiciones de borde empleadas:

- Entrada: se estableció una condición de borde de presión, acorde al nivel de agua esperado en la dársena de bombeo. El mencionado nivel de agua se define a partir de la sumergencia mínima necesaria.
- Salida: se estableció una serie de tiempo para el caudal evacuado.
- Paredes: conforman el resto del recinto en estudio. En ellas la velocidad es nula.
- Atmósfera: presente en la parte superior de la dársena, asignando presión atmosférica a la mencionada zona.

Modelo de turbulencia

En el diseño de estaciones de bombeo, es necesario caracterizar los flujos rotacionales cerca de la succión de la bomba, debido a los problemas que el flujo rotacional induce en las bombas, como corrientes altamente concentradas, remolinos sumergidos o en la superficie, remolinos de flujo que ingresan a la bomba y distribución no uniforme de la velocidad.

Los modelos de simulación a gran escala (Large Scale Simulation, LES) son los más adecuados para simular, aunque tienen un mayor costo computacional. Se implementó DES (Detached Eddy Simulation) (que combina el enfoque LES con modelos RANS para modelar los flujos cerca de las paredes) para una evaluación final del comportamiento hidrodinámico.

Casos de estudio

Se presenta a continuación una tabla resumen de los casos de estudio evaluados. Se destaca que el Caso “Base” se corresponde a una sumergencia del 100% calculada mediante la normativa vigente. El Caso 1 es el Base, el Caso 2 refleja un 55% de la sumergencia del Caso Base y el Caso 3 refleja una bomba mas cercana a la pared trasera (-20% del Caso Base). Se destaca que la variable “B” enuncia la distancia desde la pared trasera al baricentro de la campana de succión.

Tabla 1.- Descripción de los casos de estudio.

Caso	NL	B	Ancho	Largo
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	2,20	0,75	2,00	15,00
2	1,44	0,75	2,00	15,00
3	2,20	0,60	2,00	15,00

Resultados

Se presentan a continuación los resultados obtenidos, tanto para el Caso Base como para las sensibilidades. Los campos de velocidades mostrados están calculados a una distancia de 2,50 m por encima del fondo de la dársena, respetando las distancias enunciadas por la normativa vigente (4 veces el diámetro interno de la conducción desde la campana).

Vale la pena destacar que la velocidad y el indicador Lambda-2 son campos directos de la modelación CFD mientras que el ángulo de giro (swirl angle) no lo es y debe ser post-procesado.

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos para el Caso Base. En ella se destacan la presencia de dos vórtices, en configuración simétrica, detectados por el indicador Lambda-2. Sus sentidos de giro resultan ser antisimétricos, ambos desde el baricentro de la campana hacia la pared. El ángulo de giro se mantiene dentro de los límites propuestos por la normativa; con un valor absoluto medio de 2,3 grados y un valor medio de prácticamente 0 grados. El valor casi nulo se debe a la presencia de los dos vórtices girando en sentido contrario.

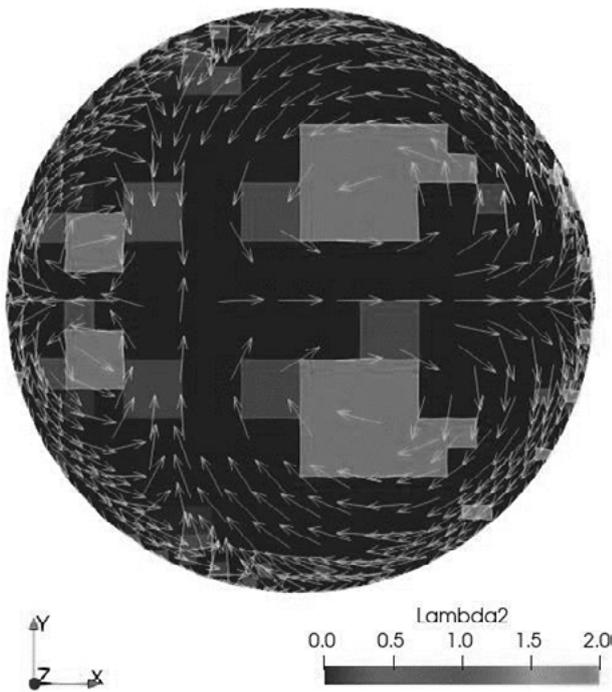


Figura 2.- Indicador Lambda-2 y vector velocidad. Caso Base

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para las variables de interés mientras que en la Figura 3 se exhibe la relación entre el indicador Lambda-2 y el ángulo de giro en valores absolutos para el Caso 1. Como puede observarse, se logra un buen acuerdo entre ambas variables para el mencionado caso

Tabla 2.- Resumen de resultados obtenidos

Variable	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Lambda-2; valor medio	0,49	0,27	0,42
Lambda-2; desvío estándar	0,03	0,02	0,04
Ángulo de giro absoluto; valor medio	2,29	2,21	2,09
Ángulo de giro absoluto; desvío estándar	0,08	0,11	0,09
Ángulo de giro; valor medio	-0,06	-0,39	-0,21
Ángulo de giro absoluto; desvío estándar	0,06	0,10	0,03
R ²	0,98	0,10	0,96
Pendiente	0,45	0,07	0,40

En la Tabla 2 se puede observar que el Caso 2, en el cual se baja el nivel líquido en la dársena, sufre una importante modificación en las variables calculadas respecto al Caso Base. Es más, ya no se encuentra acuerdo entre el indicador de vorticidad y el ángulo

de giro. Por su parte, si bien el Caso 3 plasma un apartamiento de la geometría propuesta por la norma para la ubicación de la campana de succión, el corrimiento propuesto no perturba de manera significativa los valores al compararlos contra el Caso Base. Es más, se sigue encontrando una relación entre el indicador de vorticidad y el ángulo de giro.

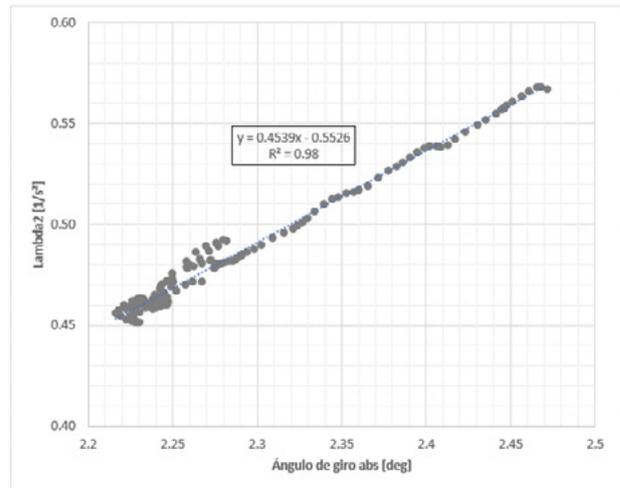


Figura 3.- Indicador Lambda-2 vs ángulo de giro. Caso Base

Discusión

El empleo de indicadores de vorticidad (Lambda-2) junto a ángulos de giro permitió evaluar el comportamiento hidráulico de la dársena de bombeo. Si bien los indicadores de vorticidad ya vienen incorporados en el software empleado, es necesario desarrollar un script para evaluar el ángulo de giro en una sección de interés; siendo estas una ventaja y desventaja respectivamente.

Partiendo del Caso Base, fue posible encontrar una relación entre las variables mencionadas. Esta situación se repitió para el caso de sensibilidad con un corrimiento de la campana hacia la pared trasera (Caso 3). Por el contrario, la reducción del 55% de la sumergencia (Caso 2) logró una perturbación tal en las variables calculadas que no fue posible encontrar una correlación entre el ángulo de giro y el indicador de vorticidad.

Ya que se mantuvo la correlación para el Caso 3 y el mismo se encuentra fuera de las recomendaciones de geometría, el presente podría ser estudiado en mayor detalle para evaluar su correcto funcionamiento hidráulico.

Para ampliar el campo de resultados, sería interesante modificar el caudal de ingreso a la campana de succión y hasta aplicar elementos de corrección propuestos por la normativa vigente para evaluar su posible mejora al comportamiento hidráulico.

Conclusiones

El desarrollo de la investigación permitió aseverar la importancia que tiene hoy en día el uso de modelos numéricos CFD para evaluar el comportamiento hidráulico de obras civiles, en particular las dársenas de bombeo.

Se evaluó un caso base construido a partir de la normativa vigente y las correspondientes sensibilidades, encontrando relaciones entre el indicador de vorticidad Lambda-2 y el ángulo de giro en el Caso Base y una sensibilidad.

Será tarea de futuras etapas de la investigación cotejar los resultados frente a un modelo físico a fin y extender el campo de los casos de estudio. A su vez, se trabajará sobre el refinamiento de la malla con el objetivo de aumentar el porcentaje de energía cinética turbulenta resuelta.

Referencias

ANSI/HI (1998). *American National Standards for Pump Intake Design*. Nueva Jersey, Estados Unidos

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE ESTRUCTURAS COHERENTES EN UN CANAL CURVO DE LABORATORIO

Jonathan Muchiut¹, Leticia Tarrab¹, Román Martino^{1,2}, Wernher Brevis³, Andrés Rodríguez^{1,2}

¹ Laboratorio de Hidráulica, FCEfYN – Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

² IDIT, CONICET-UNC, Argentina

³ Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Ambiental y Dpto. de Minería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
jonathan.muchiut@unc.edu.ar

Introducción

La principal característica de un flujo en una curva es la aparición de una fuerza centrífuga en dirección perpendicular al flujo principal y la inclinación de la superficie de agua para equilibrar los esfuerzos de corte radiales. La acción de la fuerza centrífuga y las fuerzas de presión provocan una estructura de flujo secundario (Falcon, 1984). Además, relaciones ancho/radio (R/B) menores a 3 (curvas abruptas) provocan la separación del flujo de la margen interna, creando una zona de recirculación (Ferguson et. al, 2003) caracterizada por el fenómeno de separación y la formación de remolinos (Rozovskii, 1957), cambios morfológicos y pérdida de ancho efectivo en la sección. Por otro lado, la existencia de estructuras coherentes horizontales (HCSs) y verticales en el flujo han sido identificadas en canales rectos desde la década de 1970, y han sido definidos por Hussain (1983) como “las conglomeraciones más grandes de remolinos turbulentos con cierto sentido predominante de rotación”.

En este trabajo se presenta un estudio experimental en un canal curvo de laboratorio, y pretende describir las estructuras coherentes horizontales existentes y su relación con la zona de separación.

Metodología

El modelo físico se compone por un cuenco rectangular de 80 m², de fondo fijo compuesto por una lámina de poliuretano. Dentro se ha montado un canal de ancho B = 1.00 m compuesto por dos curvas de 90° separadas por un tramo recto de 0.70 m (Figura 1). Las mediciones de velocidades son realizadas a través del método Lagrangiano PTV (velocimetría por seguimiento de partículas), para lo cual se han sembrado partículas de 2.5 mm de diámetro y densidad de 0.90 gr/cm³ y se han tomado un total de 2400 imágenes a una frecuencia de 10 Hz mediante dos cámaras sincronizadas (con una resolución de 1024 x 1024). Se analizan series temporales de velocidades y los espectros de energía asociadas a las mismas para reconocer visualmente las estructuras coherentes y su participación en los fenómenos de separación y recirculación. Los campos de velocidad obtenidos son descompuestos según el sentido longitudinal y radial, analizando campos de velocidades medios y espectros de energía en diferentes puntos de interés sobre la curva.

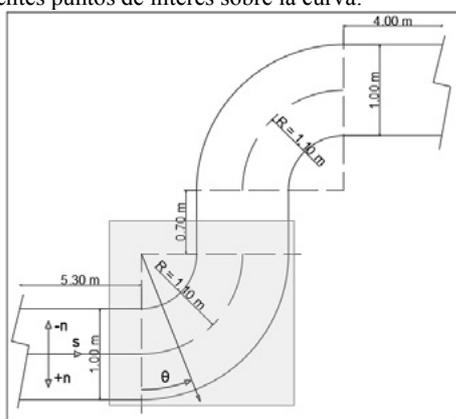


Figura 1.- Esquema del modelo experimental completo. La zona de estudio es el recuadro gris.

Resultados

En la Figura 2 se pueden ver los campos de velocidad media, de vorticidad media y la descomposición según la dirección longitudinal y radial (normalizados con el valor máximo correspondiente a cada variable). Se puede apreciar que las velocidades máximas longitudinales se encuentran ubicadas cerca de la margen interna de la curva en la entrada, desplazándose hacia la margen externa en la salida. Por otro lado, existe un aumento de las velocidades radiales hacia la margen interna al comienzo de la curva, con su mínimo cercano al comienzo del tramo curvo ($\theta = 0^\circ$) y su posterior cambio de sentido hacia la margen externa, con un máximo a la sección final de la curva ($\theta = 90^\circ$). La vorticidad negativa en la salida de la curva refleja la zona de separación próxima a la margen interna. Se observan dos patrones del mismo sentido de vorticidad en la zona de recirculación. Por otro lado, presenta una vorticidad positiva en el centro del canal en la sección de entrada y que luego se advecta hacia la margen externa, junto al flujo principal.

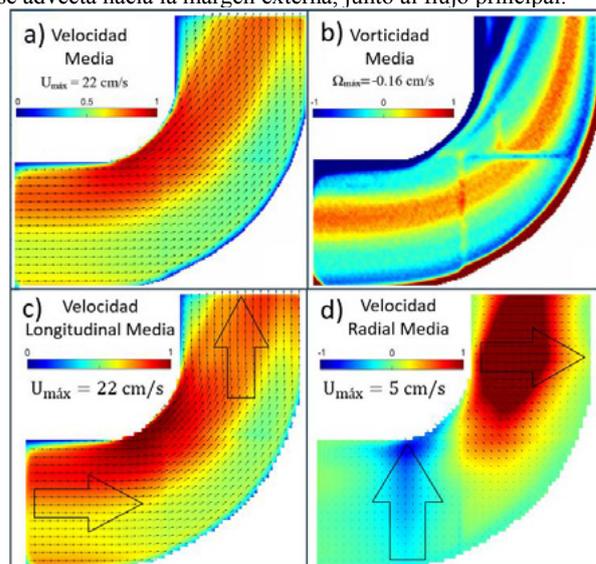


Figura 2.- Campos superficiales de velocidad media (a), vorticidad media (b), velocidad longitudinal media (c) y radial (d).

En la Figura 3 se observan los campos de fluctuaciones para ambas componentes de la velocidad en dos instantes de tiempos diferentes (separados por 12 s). Se observan patrones intercalados de velocidad radial con dirección hacia cada margen de la curva, mientras que las velocidades longitudinales muestran zonas escalonadas de fluctuaciones hacia aguas arriba y hacia aguas abajo. Esta configuración predice lo que puede observarse en la Figura 4, donde se presentan los campos de las fluctuaciones de la velocidad y las líneas de corriente. Estas últimas permiten identificar estructuras coherentes que viajan, junto al flujo medio, por el canal. En particular, cuando la estructura coherente que rota en sentido horario atraviesa la zona de separación (lo que ocurre aproximadamente cada 12 s), la misma flapea hacia la margen externa (lo que ha sido observado experimentalmente).

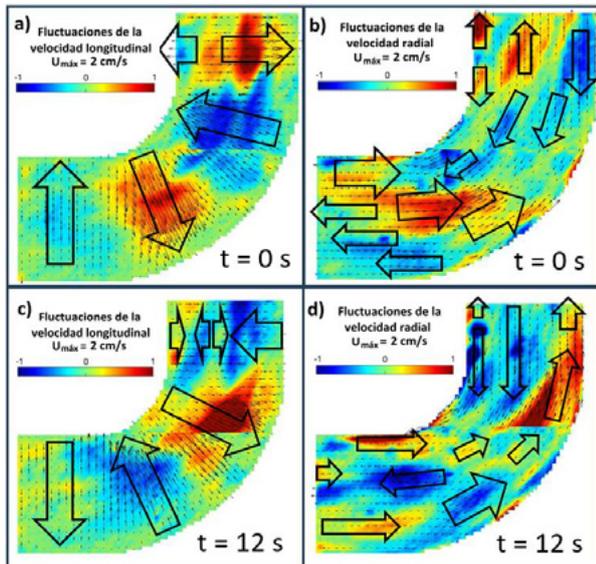


Figura 3.- Campos superficiales de velocidad radial fluctuante (a y c), y velocidad longitudinal fluctuante (b y d) en dos instantes de tiempo diferentes ($\Delta t \approx 12$ s).

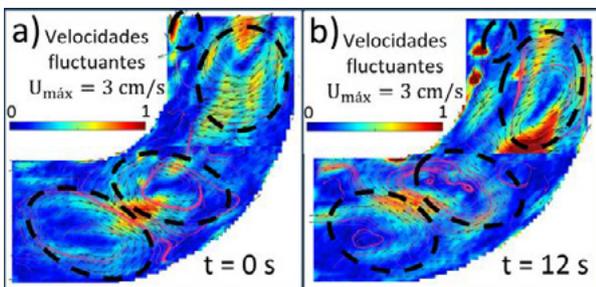


Figura 4.- Campos superficiales de velocidad fluctuante en dos instantes de tiempo diferentes ($\Delta t \approx 12$ s). En círculos se pueden observar las estructuras coherentes.

En la Figura 5 se presentan perfiles temporales de la velocidad longitudinal, radial y vorticidad para la primera y última sección del dominio estudiado. Se observan fluctuaciones periódicas de la velocidad radial, principalmente en la entrada (donde existe cambio de signo, lo que no ocurre en la salida). Tanto la velocidad longitudinal como vorticidad se desplazan hacia la margen externa en la salida. En particular, ésta última se encuentra dividida en tres zonas, con fluctuaciones periódicas de menor frecuencia desde la margen interna hacia la externa. Se han analizado los espectros de energía asociados a estas variables en un total de 25 puntos de la curva, identificándose períodos característicos de 3 s, 8 s, 12 s y 25 s. Se observan que los valores de energía son mayores en las márgenes en el caso de las componentes longitudinales de velocidad y las componentes radiales son mayores en el centro de la curva. El período de 12 s es dominante en ambos casos, al que se le superpone el período de 25 s. Se observan valores máximos de la energía de la componente longitudinal en la entrada de la curva sobre la margen interna. En el centro de la curva ($n=0$) se observa que la energía de la componente radial de las velocidades es máxima al salir de la curva, acompañado de un incremento de la energía en la componente longitudinal de las velocidades hacia la mitad externa de la curva. En la margen externa del canal se observa estructuras asociadas a un período de 3 s lo cual podría relacionarse con una zona de separación del flujo y se encuentra representada por bajas velocidades tanto radiales como longitudinales. El período de 8 s, se distingue por comenzar en la componente radial en el centro de la curva, para aparecer en la componente longitudinal sobre la margen externa a la salida de la curva.

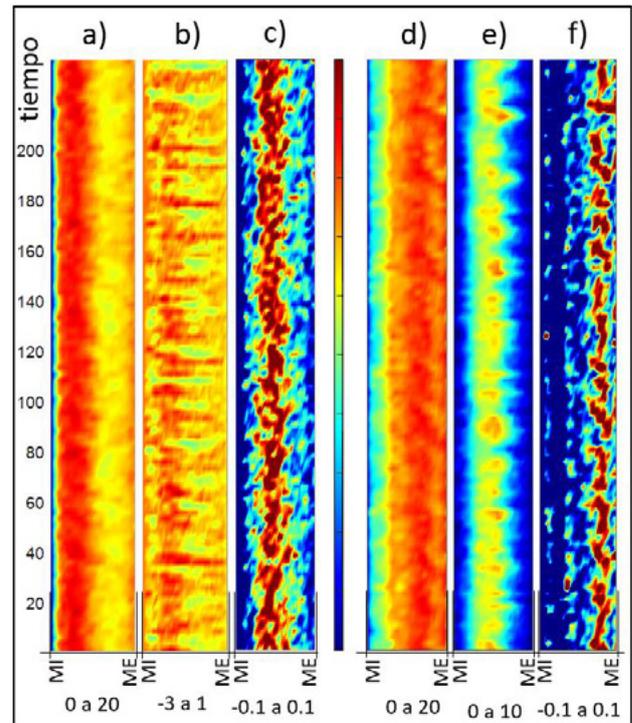


Figura 5.- Perfiles temporales de velocidad longitudinal (a y d), velocidad radial (b y e) y vorticidad (c y f) en la primera y última sección del dominio estudiado, respectivamente. Los límites de la escala de colores se ubican debajo de cada perfil, en cm/s.

Conclusiones

Se caracterizó el flujo en un canal curvo analizando la presencia de estructuras coherentes horizontales y su influencia en la zona de separación. Se ha visto un flujo principal notablemente definido, acompañado por una vorticidad negativa a lo largo de toda la curva. Los niveles de energía revelan una frecuencia dominante de 12 s y su distribución sugieren la formación de estructuras coherentes que abarcan la totalidad del ancho del canal, atravesando todo el dominio. La aparición de la frecuencia de 8 s que insinúa, por su posición y nivel de energía, una estructura típica asociada a la circulación secundaria.

Referencias

- Falcon, M. (1984)** "Secondary flow in curved open channels". Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 16, pp. 179-193.
- Ferguson, R. I., Parsons, D. R., Lane, S. N., Hardy, R. J. (2003)** "Flow in meander bends with recirculation at the inner bank". Water Resources Research, Vol. 39, pp. 1322.
- Hussain, A. K. M. F. (1983)** Coherent structures – reality and myth. Physics of Fluids.
- Leeder, M. R., Bridges, P. H. (1975)** "Flow separation in meander bends". Nature, Vol. 253, pp. 338-339.
- Rozovskii, I. L. (1957)** Flow of Water in Bends of Open Channels (in Russian), Acad. of Sci. of the Ukrainian SSR, Kiev, 1957.
- Yalin, M. S. (1992)** *River Mechanics*. Pergamon Press.
- Yen, B. C. (1965)** "Characteristics of subcritical flow in a meandering channel. Institute of Hydraulic Research". The University of Iowa, Iowa (155 pp).

MODELACIÓN NUMÉRICA DEL DESCARGADOR DE FONDO DE LA REPRESA

JORGE CEPERNIC

Arturo Rivetti, Mariano de Dios, Gian Reyes Mendoza y Sergio Liscia.

UIDET Hidromecánica | UNLP, Argentina

arturorivetti@gmail.com, dediosmariano@gmail.com, giansal723@gmail.com, soliscia1@gmail.com

Introducción

La seguridad de las presas de embalse en un punto crítico requiere su atención en la etapa de construcción, llenado, operación y mantenimiento. Es por este motivo que se instala descargadores de fondo (DF) diseñados para poder realizar el vaciado del embalse sin importar el nivel en el mismo, con el objetivo de realizar tareas de mantenimiento, limpieza de sedimentos, control de crecidas entre otros.

Dada su importancia, es preciso conocer el funcionamiento hidráulico de los DF y por este motivo en este trabajo se realiza una simulación numérica bidimensional para estudiar el funcionamiento hidrodinámico aislado, del descargador de fondo de la Represa Jorge Cepernic (JC).

El DF cuenta con 5 vanos; 2 de estos vanos alojan cada uno 2 orificios independientes que funcionan como DF de sección rectangular de 3 x 4 m. El desarrollo lineal del DF se divide en 5 zonas de interés para el análisis del comportamiento hidrodinámico:

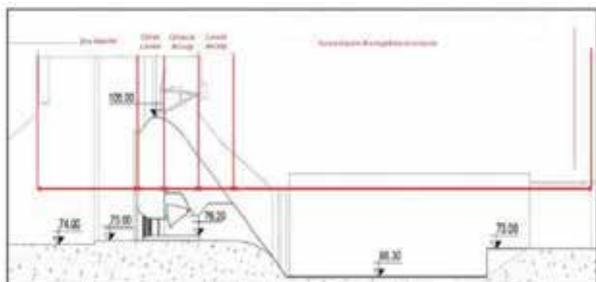


Figura 1.- Corte longitudinal en el eje del orificio de descarga [1].

Objetivo

Evaluar mediante modelación numérica el funcionamiento hidrodinámico aislado en 2D de un orificio del DF del proyecto hidroeléctrico Jorge Cepernic y compararlos con los resultados obtenidos en modelo físico.

Métodos y materiales

Se aplica un código numérico estándar de las librerías de OpenFOAM para flujos bifásicos agua-aire a superficie libre, llamado interFoam. Este utiliza para el tratamiento de la superficie libre una variante del método VOF (Volume-of-Fluid), que calcula en cada celda la fracción de volumen ocupada por la fase de agua y la fase de aire. Este método resuelve un único conjunto de ecuaciones de Reynolds para ambas fracciones, calculando las propiedades intensivas de la mezcla localmente por interpolación a partir de las fracciones de fases y las propiedades de los fluidos intervinientes.

De entre los tratamientos disponibles para reducir la complejidad del problema, se selecciona la estrategia que consiste en simular numéricamente solo el flujo medio turbulento, realizando un promedio de las ecuaciones hidrodinámicas. Este tratamiento se denomina RANS; URANS cuando se considera la presencia de la derivada temporal en las componentes de la velocidad (régimen transitorio). Para la resolución se emplea el modelo de

turbulencia $k-\omega$ SST, el objetivo de este modelo de turbulencia es combinar el buen comportamiento entorno a las paredes del modelo $k-\omega$ y la robustez en las zonas del flujo desarrollado del modelo $k-\epsilon$.

El dominio de simulación se extiende 145 m en longitud, comprendiendo 50 m aguas arriba de la toma del DF, hasta 20 m aguas debajo del final de la curva de descarga sobre la solera del cuenco disipador. En ancho tiene 1 m, que comprende la faja central de un orificio del DF. En altura se extiende 54 m, desde la solera del cuenco disipador hasta 5 m por arriba del NMN normal del embalse.

Respecto a las condiciones de borde, se tiene a la entrada un caudal $Q [m^3/s] = 95.83$, las superficies laterales son del tipo empty, la superficie superior está a presión atmosférica, los contornos sólidos son del tipo noSlip wall y a la salida se tiene una condición zeroGradient.

Se construyeron 3 mallas híbridas, manteniendo la metodología y criterios para la definición de blockMesh, pero haciendo variar el nivel refinamiento y celdas entre nivel en snappyHexMesh.

Se realizó un análisis de convergencia de acuerdo con el método establecido del Índice de Convergencia (GCI por sus siglas en inglés) [2] empleando un refinamiento de malla progresivo de acuerdo con lo que se indica en Tabla 1.

Tabla 1.- GCI para el Coeficiente de Descarga (Cd).

k	Malla	Nº de celdas	y^+	Cd	GCI [%]	Cd
1	Fina	227543	138	0.98790		0.988±0.002
2	Media	115541	189	0.97853	0.23	
3	Gruesa	53375	267	0.97701	1.41	

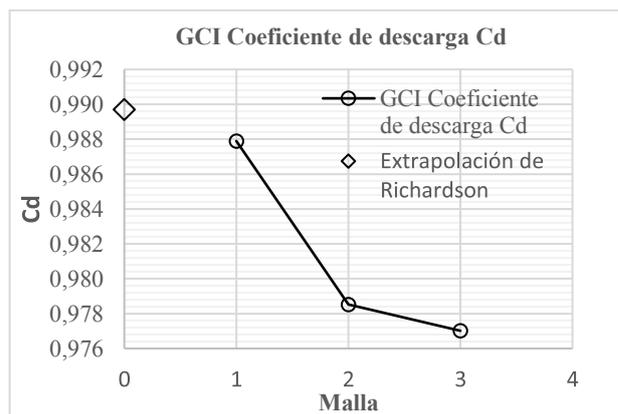


Figura 2.- GCI Cd (Fuente: propia).

Resultados

Para la geometría del DF se evaluó el Cd correspondiente al Qd. Conocida la ley de descarga de orificio (Ecuación 1), una vez realizada la convergencia de malla con el método del GCI, se obtuvo el resultado que se presenta en la Tabla 2:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \quad [1]$$

Tabla2.- GCI para el Coeficiente de Descarga (C_d).

Sección transversal	[m ²]	4.00
Nivel del baricentro	[mIGN]	78.20
H	[m]	29.98
Q	[m ³ /s]	95.83
C_d	[-]	0.988 ± 0.002

En la Figura 3 se muestra la distribución de velocidades en la zona de interés. Aguas arriba esta distribución de velocidades se muestra condicionada por las condiciones de contorno. Se observa una zona de aceleración como consecuencia del cambio de dirección del flujo en la convergencia al orificio de descarga. Las velocidades en la cámara a presión presentan valores del orden de los 25-26 m/s, que son equivalentes a una carga hidráulica de 35 m.c.a aproximadamente y que coinciden con las velocidades reportadas en el modelo físico.

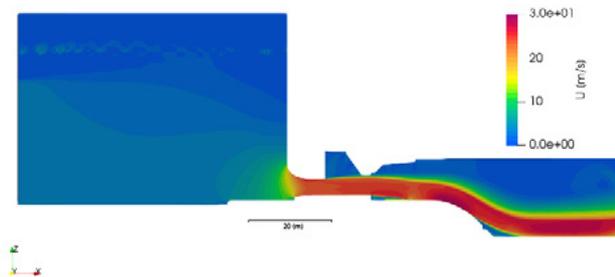


Figura 3.- Distribución de velocidades (Fuente: propia).

En la Figura 4 se muestra una sobreposición de la superficie libre y la distribución de presiones. En la zona de embalse se muestra que el valor de presión cero se corresponde con el pelo de agua, debido a que se grafican presiones relativas respecto a la presión atmosférica. La distribución de presiones en el embalse es hidrostática, asegurando la correcta resolución física de la simulación numérica. En la zona de convergencia del flujo aparece un gradiente de presiones que alcanza presiones negativas del orden de 6.2 m.c.a., esto se corresponde con el gradiente de velocidades que existe en este lugar por el cambio de dirección del flujo. Aguas arriba de la cresta se observa un sector de sobrepresiones bien definido, que se corresponde con la zona de impacto del jet de descarga. En la zona de la cresta aparecen presiones negativas del orden de 14 m.c.a.

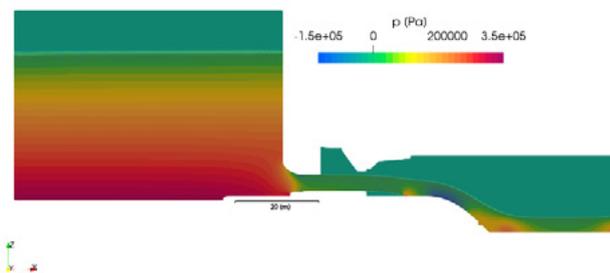


Figura 4.- Sobreposición superficie libre – distribución de presiones (Fuente: propia).

En la Figura 5 se muestra a detalle del jet. En la zona de salida de la cámara a presión el flujo presenta una altura de 4,12 m, mostrando una expansión con respecto a la altura del flujo en la cámara de presión. La revancha al dintel del conducto es del orden de 0,78m. En la zona el jet de descarga alcanza una longitud aproximada de 9,15 m y posee una altura del orden de 4.24 m. No se observa ahogamiento de su lámina inferior ni interferencias con el techo de la cámara.

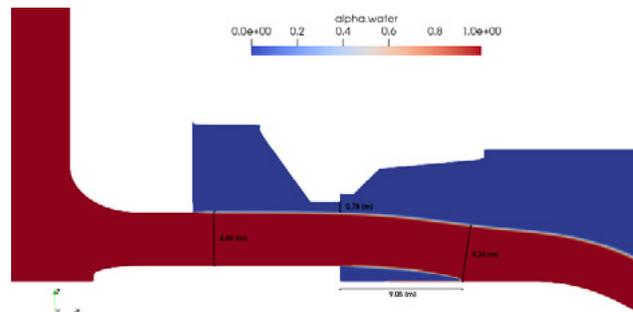


Figura 5.- Caracterización del jet de descarga (Fuente: propia).

Conclusiones

Se realizó un análisis de sensibilidad mediante la aplicación del Índice de Convergencia de Malla (GCI), de acuerdo con la metodología propuesta por Roache [2]. Se obtuvo como resultado que son esperables errores de truncamiento del orden de 0,23% para el coeficiente de descarga y 4% para la presión en la aducción, para la malla fina de donde fueron extraídos los resultados de la simulación.

El modelo numérico arroja como resultado un C_d 6% superior al obtenido en el modelo físico. Esto se debe a que, al trabajarse con un dominio bidimensional para estudiar el fenómeno, no se están teniendo en cuenta las contracciones laterales que experimenta el flujo en el ingreso al orificio, tampoco como es la orientación del flujo en el ingreso condicionado por la ubicación del orificio respecto al desarrollo lineal de la obra ni al vano que corresponde, siendo esperado que el valor de C_d sea superior.

La modelación numérica de la geometría del descargador de fondo a escala prototipo indica la existencia de presiones negativas en la zona de aducción al orificio, del orden de 6 m.c.a para las presiones medias. Es importante aclarar que, bajo la hipótesis usada de promedios para la modelación de Reynolds, estas presiones corresponden a valores medios y no tienen en cuenta las fluctuaciones de presión debido a la turbulencia. Al sumar estas fluctuaciones las presiones instantáneas podrían ser incluso más bajas en la realidad.

El jet de descarga se mantiene libre, sin interferencias con el techo de la cámara. No se observa ahogamiento de su lámina inferior en ninguna instancia, permitiendo el ingreso de aire. El jet de descarga tiene una longitud de impacto dentro del rango de funcionamiento del modelo físico y para las condiciones del escenario de estudio de este trabajo Una vez producido el impacto el flujo se desarrolla sin separaciones visibles sobre la curva de salida.

En la cresta del descargador de fondo aparecen presiones negativas que alcanzan los 14 m.c.a., siendo un valor excesivamente elevado al esperado. En el modelo físico no se relevaron las presiones en este lugar. Este valor en el modelo numérico está influenciado por la condición de borde aguas abajo, que establece una descarga a superficie libre, sin tener en cuenta el nivel de restitución existente a la salida del descargador.

Referencias

- [1]; UTE Represas Patagonia/Instituto Nacional del Agua. (2021). Represa Jorge Cepemic-Evaluación del funcionamiento hidráulico del descargador de fondo y vertedero-Modelo físico.
- [2]; P. J. Roache. (septiembre. de 1994). Perspective: A Method for Uniforming Reporting of Grid Refinement Studies. Obtenido de <http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/>
- [3]; OpenFOAM. (30 de diciembre de 2021). API Guide v2112. Obtenido de <https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/api/index.html>

CARACTERIZACIÓN DE RESALTOS ONDULANTES EN UN TRAMO DE UN RÍO DE MONTAÑA A PARTIR DE LSPIV

Rigatuso Agustina^a, Martos Aragón Augusto E.^a, Arellano Imanol^a, De Guernica Juan M.^a, Tarrab Leticia^a, Massó Leandro^{a,b}, Patalano Antoine^{a,b}, Martino Román^{a,b}, Rodríguez Andrés^{a,b}.

^a LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

^b IDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFYN, Córdoba, Argentina.

E-mail: agostina.rigatuso@mi.unc.edu.ar

Introducción

El resalto hidráulico tiene lugar cuando un flujo en un canal abierto pasa de régimen supercrítico a subcrítico, ocasionándose una alta turbulencia, arrastre de aire y pérdida de energía. Por su parte, el resalto hidráulico ondulante es un caso particular del resalto hidráulico, que se caracteriza por ser un salto de poca altura con ondas de superficie libre. Estas ondas estacionarias pueden extenderse a lo largo de una gran longitud, debido a la escasa disipación de energía que producen (Chanson and Montes, 1995).

La mayoría de las investigaciones en la temática se enfocan en el estudio de las condiciones para las que se produce el salto ondulante. La formación de resaltos ondulantes puede darse a causa de diversos motivos, como por ejemplo a la ocurrencia flujos de crecida, o debido a la existencia de un obstáculo en el lecho del cauce, como una compuerta o un azud (Wols, 2005). La caracterización de resaltos ondulantes, también denominados flujos ondulantes, resulta de importancia tanto para el diseño y la gestión de estructuras hidráulicas, como para el mantenimiento de los cauces naturales. Estas configuraciones de flujo promueven la erosión de las orillas y el fondo, y generan cargas adicionales en las estructuras hidráulicas situadas aguas abajo del resalto. Se ha observado que los flujos ondulantes suelen depender del número de Froude, del número de Reynolds, de las condiciones de entrada del flujo, de la pendiente de energía, de las características del lecho, entre otras (Ohtsu et al. 1997). Sin embargo, actualmente las características y las condiciones de formación de los saltos hidráulicos ondulantes aún se encuentran en estudio.

Con respecto al estudio de resaltos ondulantes, la técnica de LSPIV (Velocimetría de Imagen de Partículas a Gran Escala, por sus siglas en inglés) supone múltiples ventajas (Eder et al. 2023). Debido a que es una técnica no intrusiva, que hace uso de sensores remotos (cámaras fijas, vehículos aéreos no tripulados -drones-, etc), permite caracterizar flujos con superficie libre incluso durante condiciones hidrológicas extremas (Fujita et al. 1998; Patalano, 2017). Esta característica es altamente valorada, principalmente en zonas montañosas típicas de la provincia de Córdoba, cuyas cuencas presentan una rápida respuesta a los eventos de precipitación. La técnica permite, además, obtener estimaciones del campo de velocidades del flujo con alta resolución espacial y temporal mediante el procesamiento digital de imágenes, posibilitando la identificación de las ondulaciones superficiales (Fujita et al. 1998).

El objetivo del presente trabajo es caracterizar los resaltos ondulantes que se presentan en un tramo del río San Antonio para diferentes condiciones hidrológicas, mediante la aplicación de técnicas de velocimetría por imágenes, a partir de mediciones remotas de nivel y de velocidades superficiales del flujo.

Materiales y métodos

En el tramo analizado del río San Antonio situado en la ciudad de Carlos Paz, provincia de Córdoba, se encuentra instalada una cámara (estación fija) que, cuando el nivel del agua supera un determinado valor, esta realiza grabaciones del flujo y las almacena. Además, para la medición del nivel del flujo, se cuenta

con un sensor de nivel de tipo radar, dispuesto por la APRHi, colocado en el puente que se encuentra aguas abajo del área en estudio (Figura 1). En la Figura 2 se muestra la ubicación de la sección de análisis (CS3) para lo cual se realizaron mediciones de topografía y batimetría. En la Figura 3 se evidencia la forma de la sección transversal mencionada, la cual tiene un ancho total relevado de casi 100 metros.



Figura 1.- Ubicación de la estación fija y la sección de análisis.



Figura 2.- Tramo en estudio y posición de la sección de análisis CS3.

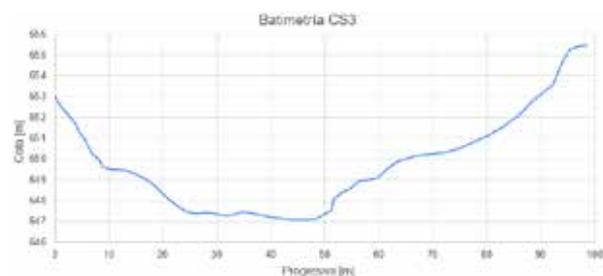


Figura 3.- Batimetría de la sección transversal CS3.

Las imágenes digitales registradas por la cámara, fueron analizadas haciendo uso del paquete informático RIVeR (Patalano et al. 2017), mediante la aplicación de la técnica de LSPIV (Velocimetría de Imagen de Partículas a Gran Escala). Como resultado, se obtuvieron las imágenes rectificadas de los campos de velocidades superficiales, perfiles longitudinales y transversales de las velocidades del flujo, además de los caudales.

Resultados

Se obtuvieron resultados para distintas condiciones de flujo que se desarrollan en el tramo en estudio. A partir de estos, se realizó una clasificación visual de las configuraciones que adopta el campo de velocidades superficiales agrupándolas en 5 categorías (Figura 4).

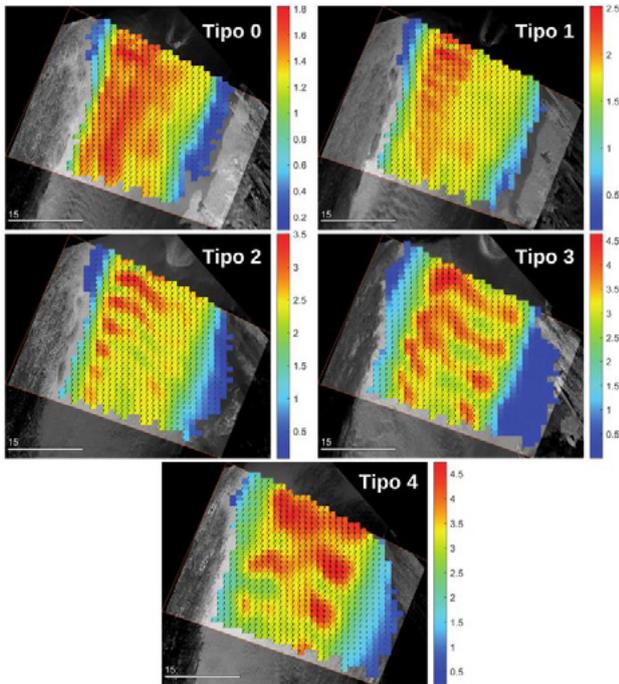


Figura 4.- Campos medios de velocidades [m/s] para cada configuración.

Donde el criterio en cada categoría es:

Tipo 0: No se observan ondulaciones.

Tipo 1: Comienzan a observarse las ondulaciones en la margen izquierda.

Tipo 2: Se distingue claramente el resalto ondulado en la margen izquierda.

Tipo 3: Se desarrolla el resalto ondulado en la mayor parte del ancho del tramo de río.

Tipo 4: Se observan las mayores amplitudes y longitudes de onda.

A continuación, se exponen en la Tabla 1 los rangos aproximados, observados para cada clasificación, de las variables: caudal Q , velocidad media V y ancho de la sección B , todas obtenidas para la sección CS3.

Tabla 1.- Rangos aproximados de las variables Q , V y B .

Tipo	Q [m ³]	V [m/s]	B [m]
0	0 – 50	0 – 1	0 – 35
1	50 – 70	1 – 1,55	35 – 37
2	70 – 130	1,55 – 2,10	37 – 45
3	130 – 260	2,10 – 2,60	45 – 55
4	260 – 310	2,60 – 3,15	55 – 60

Por otro lado, con el objetivo de estimar la longitud de onda de los resaltos, se confeccionó una sección longitudinal. Para determinación de la orientación del perfil longitudinal de velocidades, se tomó como criterio el sentido predominante del flujo; y para fijar su posición, se seleccionó la zona que presentaba una mayor ocurrencia de resaltos ondulatorios. Luego, a partir de las imágenes y perfiles extraídos, se analizó la evolución en la configuración superficial de las velocidades del flujo (Figura 5).

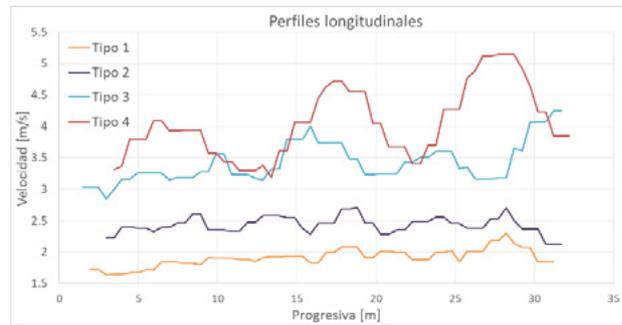


Figura 5.- Variación de la velocidad superficial del flujo en una sección longitudinal.

Se calculó para cada tipo de comportamiento el número de Froude, el número de Reynolds y la longitud de onda característica en cada uno (Tabla 2), observándose que a medida que aumenta el tipo de resalto aumenta la distancia entre las crestas del perfil de velocidades. Se observa que los patrones característicos de cada tipo de resalto dependerían más fuertemente del número de Reynolds que del de Froude.

Tabla 2.- Rango de resultados de los números de Fr , Re y λ .

Tipo	Fr	Re $\times 10^6$	λ [m]
0	0 - 0,37	1,2	0
1	0,37 - 0,48	1,2 - 1,9	1 - 3
2	0,48 - 0,58	1,9 - 3,0	3 - 6
3	0,59 - 0,66	3,0 - 4,3	6 - 9
4	0,61 - 0,82	4,3 - 5,4	9 - 11

Conclusiones

Se presenta un patrón de comportamiento estimado de la distribución de las velocidades superficiales del flujo ondulatorio durante crecidas en el tramo, clasificado en 5 Tipos de configuraciones (del 0 al 4). Se observa una correlación fuerte entre el número de Reynolds y la evolución en este patrón. Se asocia, a su vez, un rango de longitudes de onda a cada tipo de configuración.

Referencias

- Chanson, H. and Montes, J.S. (1995). "Characteristics of Undular Hydraulic Jumps. Experimental Apparatus and Flow Patterns." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 2, pp. 129-144.
- Fujita, I., Muste, M., Kruger, A., (1998). "Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications". Journal of Hydrology 36, 397-414.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., Gotoh, H. (1997) Discussion of "Characteristics of undular hydraulic jumps: experimental apparatus and flow patterns" by H. Chanson and J.S. Montes (Paper 7859), Journal of Hydraulic Engineering, 123 (2), 161-164
- Eder M., Tarrab L., Martino R., Masso L., Patalano A., Ragessi M., Hillman G., Rodriguez A. & Pagot M. (2023) "LSPIV measurements to assess the impact of a bridge on a weakly undulating flow, Journal of Applied Water Engineering and Research", DOI: 10.1080/23249676.2023.2173676.
- Patalano, A. (2017). "Desarrollo e implementación en gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre". Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Córdoba.
- Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A., (2017) "Rectification of Image Velocity Results (RIVeR). A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV)", Comput. Geosci. 109.
- Wols, B. (2005). "Undular hydraulic jumps". M.Sc. Thesis, Delft University of Technology.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DE AIREACIÓN DE DESCARGADORES DE FONDO EN CONDUCTOS CERRADOS

¹Federico Romero, ¹Santiago Arrigoni, ¹Constanza Fernández Gorostidi, ¹Claudio A. Fattor y ¹Jorge D. Bacchiega

Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Argentina
 AU Ezeiza-Cañuelas, Tramo Av. J. Newbery, Km 1.62 – (1802) Ezeiza, Argentina
 e-mail: fromero@ina.gob.ar, sarrigoni@ina.gob.ar, cgorostidi@ina.gob.ar, cfattor@ina.gob.ar, yjbacchiega@ina.gob.ar

Introducción

Los descargadores de fondo resultan una de las estructuras más importantes en el diseño y en la operación de los órganos de evacuación de una presa. Estos aspectos resultan más significativos cuando la erogación se realiza por medio de túneles que se desarrollan por debajo del cuerpo de una presa de embalse.

La carga hidráulica en embalses de gran altura provoca flujos de elevada velocidad que, ante la presencia de irregularidades en la superficie de la obra, generan descenso localizados de presión. En caso de alcanzarse la presión de vapor el fenómeno de cavitación tiene lugar, generando potenciales daños superficiales y erosionando progresivamente la superficie del hormigón. Por lo tanto, resulta imperioso evitar los riesgos de cavitación, para lo cual se recurre usualmente a la aireación forzada.

El presente artículo trata sobre la evaluación del sistema de aireación del primer proyecto del descargador de fondo de la presa Néstor Kirchner. El mismo presenta una capacidad de descarga de 185 m³/s por cada uno de los cuatro conductos que contempla el diseño, cuya traza de aproximadamente 200 m se desarrolla debajo de una presa de materiales sueltos. Cada conducto cuenta con su obra de toma, una compuerta de mantenimiento y una de servicio, cuatro escalones de aireación y un cuenco dissipador de energía a resalto a su salida. El caudal específico máximo asciende a 32 m²/s, con velocidades medias que disminuyen a lo largo del canal desde 27 m/s hasta a 18 m/s.

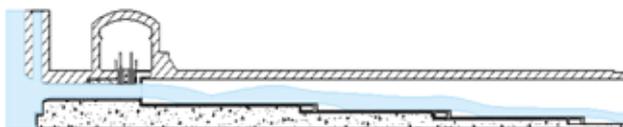


Figura 1.- Corte Longitudinal – Estructura de descargador de fondo.

Metodología

Los estudios se llevaron a cabo sobre un modelo físico seccional a escala de longitudes 1:12, dispuesto en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (Ezeiza - Argentina). La escala seleccionada permite estudiar adecuadamente el fenómeno de incorporación de aire, tratándose de un modelo basado en la similitud de Froude pero con especial consideración en el número de Weber ($We > 400$).

El modelo fue desarrollado completamente en acrílico contemplando el análisis visual del flujo, permitiendo realizar un diagnóstico integral del comportamiento hidrodinámico.

En el presente artículo, se estudia la demanda de aire, a partir de la obtención de relaciones pérdida de carga- caudal de aire que posibilitarán el diseño de un sistema de suministro.

La cantidad de aire incorporada se define cuantitativamente a partir del coeficiente β , siendo este la relación entre el caudal de aire y el caudal de agua, representando uno de los principales parámetros de diseño para estructuras de aireación.

$$\beta[\%] = \frac{Q_a}{Q_w} * 100 \quad [1]$$

Para la determinación del caudal de ingreso de aire que define la eficiencia del sistema se empleó un anemómetro de hilo caliente. Mediante la medición de la velocidad del flujo de ingreso debajo de la lámina de agua, se obtuvo de forma indirecta el caudal.

Se caracterizaron relaciones de caudal de aire y depresión en la cavidad autoformada, imponiendo en el modelo físico restricciones en el ingreso de aire mediante obturadores de la sección. A partir del área de paso máxima (100%), equivalente a 5,8 m² prototipo, se plantearon cuatro restricciones adicionales correspondientes al 50%, 25%, 12,5% y 6,25% del área total.

Asimismo se midieron concentraciones puntuales de aire mediante una sonda piezo-resistiva conformada por una aguja capaz de interceptar las burbujas de aire y determinar el cambio de fase (líquida o gaseosa) mediante la diferencia de la resistividad eléctrica entre ambos flujos. De este modo, se estima la concentración de aire del flujo, como la sumatoria de los pulsos de contacto con aire dividido el tiempo total de medición.

Para determinar las características hidrodinámicas que definen el riesgo potencial de cavitación de la obra, se registraron velocidades, tirantes y presiones medias en diferentes secciones a lo largo de toda la estructura. De esta forma se utilizó el Índice de Cavitación del escurrimiento (ecuación 2) definido como:

$$k = \frac{H - H_v}{V/2g} \quad [2]$$

, donde H hace referencia a la presión absoluta en el punto de interés y H_v a la presión de vapor del fluido, V es la velocidad del escurrimiento y g la aceleración gravitatoria.

Una vez estimado este índice, se compara con el índice de cavitación crítico (K_c) según el criterio desarrollado por el United States Bureau of Reclamation (U.S.B.R.). Dicho criterio especifica las tolerancias de terminación superficial asociadas al índice de cavitación y la aireación del flujo a fin de evitar la erosión por cavitación, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Especificación de tolerancia superficial

Índice de cavitación	Tolerancia superficial	
	Sin aireación	Con aireación
>0.6	25 mm	25 mm
0,4 a 0,6	12 mm	25 mm
0,2 a 0,4	6 mm	25 mm

Resultados

La eficiencia del dispositivo de aireación se encuentra definida por la cantidad de aire incorporado debajo del jet respecto del caudal de agua circulante. En la obra, la cantidad de aire que ingresa está directamente influenciada por las características del sistema de demanda y las condiciones impuestas por el sistema de suministro del aire.

A los efectos de poder contemplar un amplio rango de funcionamiento de los aireadores, se establecieron relaciones de pérdida de carga – caudal de aire en la cavidad. Dichas relaciones fueron obtenidas para una serie de caudales de agua, correspondientes a una apertura de compuerta de 25%, 50%, 75%

y 100%, y distintas relaciones de obstrucción de ingreso de aire. A modo de ejemplo en la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos en el primer escalón aireador, sin embargo, dicho análisis fue desarrollado para la totalidad de los escalones.

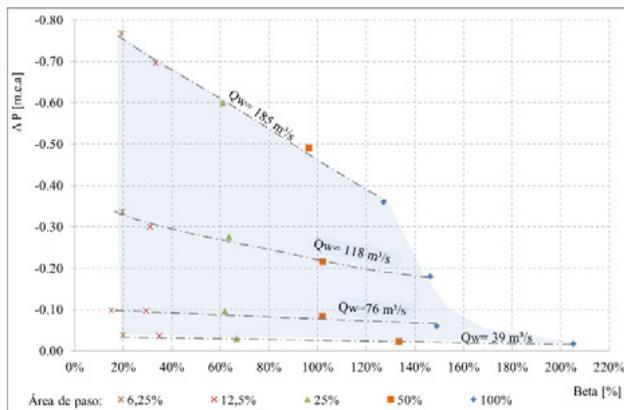


Figura 2.- Relación β – Depresión, primer escalón.

Como se observa del gráfico, existe una gran sensibilidad del caudal de aire incorporado con la variación de la depresión debajo de la cavidad aireada. De todas formas, el coeficiente β es elevado, incluso para la menor de éstas.

Si bien las concentraciones medias mantienen valores altos, el comportamiento del escurrimiento dentro de la estructura de conducción, su configuración y las perturbaciones generadas como producto del impacto de los escalones provocan una distribución irregular del aire incorporado.

Diferentes autores, entre los que cabe destacar a Peterka (1953) y Russell y Sheenan (1974), consideran que concentraciones medias de aire del orden del 7% evitarían daños superficiales debidos a la cavitación. No obstante, valores entre 1 a 2%, reducen significativamente la erosión por cavitación (Chanson 1988). A su vez, estudios en rápidas y cuencos disipadores desarrollados en el propio laboratorio del INA arrojaron resultados análogos al 2% para mitigar efectivamente el riesgo de cavitación por pulsaciones de presión (Angelaccio et. al, 1994).

En función de lo descripto y de la pérdida de aire del escurrimiento hacia la atmósfera, en mayor medida en las inmediaciones al fondo del canal, se estudió el riesgo de cavitación para la condición de máximo caudal y apertura total de la compuerta, a priori una de las condiciones más comprometidas.

Los resultados exhibidos en la Figura 3 permiten determinar las zonas susceptibles al inicio de cavitación mediante la evaluación conjunta del índice de cavitación y las concentraciones medias acumuladas de aire. En función de la característica del fenómeno, se consideraron como referencia las concentraciones medias registradas hasta 0,20 m por encima del fondo del canal.

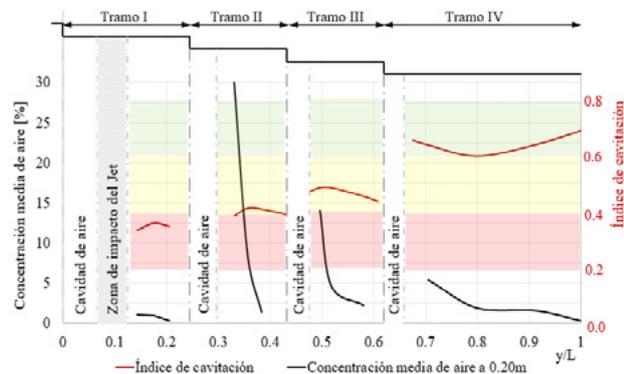


Figura 3.- Correlación entre concentración media acumulada a 0,20 m del fondo y el índice de cavitación del flujo

Como se puede observar de los resultados obtenidos, en el primer tramo se registraron los menores valores tanto de concentración media (0,4% a 1%) como de índices de cavitación en el orden de 0,2 a 0,4, presentando riesgo potencial de erosión por cavitación. En este contexto debiera prestarse especial atención en cuanto a las irregularidades máximas admisibles en obra.

Los tramos siguientes exhiben un comportamiento similar entre sí notándose una disminución progresiva de la concentración de aire aguas abajo de cada escalón aireador. Si bien en la zona final de cada tramo la concentración de aire disminuye, los valores relevados son altos en la mayor parte de su extensión. También se observa una tendencia creciente del índice de cavitación permitiendo concluir que no habría riesgos potenciales de erosión por cavitación a pesar de la menor concentración de aire en el desarrollo final de la obra. Particularmente, a lo largo de estos tres tramos referidos, únicamente en el sector final del segundo se presenta una concentración de aire y un índice de cavitación bajo, por lo que se requieren los mismos cuidados que para el primer tramo.

Conclusiones

Los resultados de la evaluación de ingreso de aire al descargador de fondo constituyen condiciones de borde fundamentales para el diseño del sistema de suministro de aire, estableciendo relaciones pérdida de carga (ΔP) - Beta (Q_a/Q_w) que posibilitan al proyectista el diseño de un sistema de suministro suficiente para que el aireador cumpla con las funciones requeridas. La incorporación de aire a través de los escalones es adecuada para todas las condiciones ensayadas. Además dicha incorporación disminuye en su desarrollo desde el primer escalón al último, permitiendo el diseño diferencial de la estructura de suministro en cada escalón.

Para el análisis del fenómeno de cavitación, se consideró como patrón de referencia las concentraciones medias acumuladas registradas a 0,20 m del fondo del canal y los índices de cavitación en cada sección de referencia.

Adoptando el criterio del U.S.B.R. se define la irregularidad abrupta máxima para que no se produzca erosión en la estructura.

A partir del trabajo realizado se determinó las zonas que estarían más comprometidas al riesgo de inicio de cavitación como aquellas donde la concentración de aire es menor al 2% y el índice de cavitación a 0,4. Como medida de mitigación, para prevenir el fenómeno de cavitación en dichas zonas, se deberá asegurar las concentraciones mínimas de aire, adoptando medidas estructurales, y/o garantizar irregularidades superficiales menores a las máximas admisibles en obra, según el criterio del U.S.B.R. (menor a 6 mm).

Referencias

- Angelaccio, C., Bacchiega, J., Barrionuevo, D. y Fattor, C. (1994). "Efecto de la incorporación de aire sobre las fluctuaciones macro turbulentas de presión en disipadores a resalto", XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago de Chile, Noviembre de 1994.
- Chanson, H. (1988). "Study of air entrainment and aeration devices on spillway model". Christchurch: University of Canterbury.
- Falvey, H.T. (1990). *Cavitation in chutes and spillways*. Denver: A Water Resources Technical Publication.
- Peterka, A.J. (1953). *The effect of entrained air on cavitation pitting*. Denver: Hydraulic Engineer, Design and Construction Division.



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

02

Hidrología superficial y subterránea

Hidrología superficial y subterránea

02

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA EXTENSIÓN DE HUMEDALES LAGUNARES A PARTIR DEL ÍNDICE NDWI Rosario Acosta, Eleonora Carol, Guido Borzi, María Paula Leal y María del Pilar Alvarez	42
APLICACIÓN DE MÚLTIPLES ÍNDICES DE AGUA AUTOMATIZADOS EN SIG PARA DETECTAR AGUAS SUPERFICIALES EN UN ENTORNO PAMPEANO ARGENTINO Keyla Alencar da Silva, Erik Zimmermann, Carolina Parodi y Francisca Ruiz-Tagler Santander	44
ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS SEQUIAS EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ Leandro R. Almonacid, Natalia L. Pessacg, Boris G. Diaz y Pablo L. Peri	46
EL RIEGO POR GOTEO EN EL ALTO VALLE DEL RIO NEGRO, UN COMPROMISO CON LA SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO Gabriel Alvar, Gabriela M. Polla, Sergio R. A. Stangaferro y Federico Horne	48
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO PARA SITUACIONES DE EXCESO Y DÉFICIT HÍDRICO EN UNA CUENCA SERRANA Camila B. Anselmino, Evelin A. Gonzalez Fuentes, Lucía de Antueno y Fernanda J. Gaspari	50
MEDICIÓN DE CAUDALES EN CAMPO MEDIANTE EL USO DE INSTRUMENTAL DE DIFERENTE TECNOLOGÍA Julián E. Aragón, Vivian D. Barbero y Pablo F. Toscani	52
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA ASOCIADAS A LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DEL ARROYO COMALLO (RIO NEGRO, ARGENTINA) Valeria Aramayo, M. Victoria Cremona, Andrea S. Enriquez y Marcelo D. Nosetto	54
ACTUALIZACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE CRECIDAS DEL RÍO SALADO EN RUTA PROV. Nº 70 – SANTA FE Alejandra Arbueta, Raúl Pedraza, Gustavo Ferreira, Agustina Spais, Emiliano López, Ignacio Cristina y Esteban Elizalde Carrillo	56
IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HYDROBID EN LA CUENCA ARROYO LOS PADRES – SANTA FE – ARGENTINA Alejandra Arbueta, Rosana Mazzón, Carlos Scioli, Juliana Corrales, Mauro Nalesso, Graciela Pusineri y Héctor Bianchi	58
APROVECHAMIENTO EFICIENTE DEL AGUA EN MALLINES: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y DIFUSIÓN DE HERRAMIENTAS Juan Santiago Arhancet, Fernando Ariel Manavella, Liliana San Martino y Martín Ángel A. Roa	60
MAPA DE RIESGO DE INUNDACIONES EN LA COSTA SUR DEL RÍO DE LA PLATA María Victoria Arias, Jessica E. Quintana, Axel Waldemar Elseser, Sandra O. Demichelis, María Eugenia García	62
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DOTAR DE AGUA POTABLE A GRAL. PICO. Carina Arroyo, Fernando Soto, Andrea Boeris, Bernardina Mangas Flores y Ana Chapalcaz	64
PROYECTO INTEGRAL MANEJO DE CUENCAS EN 1.670 HECTÁREAS CON INFLUENCIA EN RUTA PROVINCIAL 23 – PROVINCIA DE SALTA Marcelo Daniel Arzelán, Silvana Alejandra Castrillo y Francisco Javier Ramos Vernieri	66
CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO Y DE ALTA FRECUENCIA EN LAS ZONAS ÁRIDAS COSTERA DEL PERÚ David Ricardo Ascencios Temple y Esperanza Cecilia Rondón Espinoza	68

PROPUESTAS Y ACCIONES PARA EL MONITOREO REGIONAL SATELITAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Adrián G. Atencio, Raquel Bazán, Matías Bonansea, Facundo Bordet, Matías Caso, Ramiro Collado, Andrea Drozd, Anabella Ferral, Alba German, Priscilla Minotti, Jonathan Muchiut, Francisco Nemiña, Ayelén Othaz Brida, Gonzalo Pérez, Karina Quaini, Micaela Redlich, Andrés Rodríguez, María Inés Rodríguez, Ariana Rossen, Ana Laura Ruibal Conti, Marcia Ruiz, Ana Ryzdewski, Ayelén Sánchez Valdivia y Verónica Shojjet	70
APORTES DE DATOS SATELITALES PARA EL ESTUDIO HIDRO-MORFOLÓGICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO, ARGENTINA Carolina Aumassanne, Ana Paula Salcedo, Romina Solorza, Sofia Teverovsky, Federico Machado, Alvaro Soldano, Jorge Bonilla, María Eugenia Beget y Patricio Oricchio	72
RELACIÓN ENTRE LA CURVA NÚMERO, LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL ARROYO SALADILLO - SUR DE SANTA FE Bruno Barbagelata y Virginia Venturini	74
ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN DE SUPERFICIES DEPRIMIDAS - CUENCA DEL ARROYO MONJE, SANTA FE Gerardo Barrera, Rosana Mazzón, Pablo Del Prete, Agustina Spais, Yamila Chicherit, Carlos Scioli, Jorge Collins y Mariela Charlón	76
ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL RIEGO POR PIVOTE CENTRAL EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES EN EL PERÍODO 1995-2020 Néstor Barrionuevo, Cynthia Waldman y Constanza Riera	78
IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE MONITOREO DE ACUÍFEROS EN LOS VALLES PRODUCTIVOS DE SAN JUAN, ARGENTINA Romina Battistella, Irene Ortega y Fernanda Carelli.....	80
DESEMPEÑO DEL RIEGO POR SUPERFICIE DE CEBOLLA (ALLIUM CEPA L.) EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO Marcos Bongiovanni, Rolando Anze y Roberto Simón Martínez	82
MODELOS DIGITALES DE CAUDALES EN SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Jorge Fabián Bonilla y Francisco Javier Frau	84
OBSERVATORIO HIDROLÓGICO NACIONAL Juan Borús, Diana Chavasse, Patricia López, Gustavo Almeida, Jorge Bonilla, Adriana Mariani, Francisco Frau y Silvia Mérida	86
CAUDALES DE DISEÑO EN CUENCAS DE LA PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA María Cecilia Botelli, Nicolás Federico Guillén y Matías Eder	88
ESTUDIO DE LAS CAPACIDADES NATATORIAS DE LA CARPA (CYPRINUS CARPIO) EN ENSAYOS EN CANALES DE LABORATORIO Francisco José Brea y Leandro David Kazimierski	90
IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE CORREDORES ALUVIONALES Y BIOLÓGICOS PARA REDUCIR RIESGO HÍDRICO Victor H. Burgos, Silvia Quiroga y Leyla Mussie Saffie	92
ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA MODELO WRF VS. RADAR METEOROLÓGICO Joaquín Busignani, Matías Suárez, Elena Sandalio, Rocio Otero, Denis Poffo, Juan Sánchez, Pierina Faustinelli, Leandro Maturano, Eduardo Pierobon, Juan Pablo Guida, Franco Dimari, Jorge Saffie y Andrés Rodríguez	94
CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y FACTORES DE CONTROL EN EL RÍO TAJAMAR, TUCUMÁN, ARGENTINA María Soledad Bustos, Sergio Georgieff, María Antonella Isuani, S. N. Martínez De Marco, Victoria Mirande y María de los Ángeles Taboada	96
MUESTREO HIDROQUÍMICO Y AFORO DEL ARROYO COLANGÜIL Y SUS TRIBUTARIOS, EN EL SECTOR NORTE LA CORDILLERA FRONTAL, DEPARTAMENTO IGLESIA, PROVINCIA DE SAN JUAN Gerardo Cabrera	98

RESPUESTA DEL CURSO MEDIO DEL RÍO PARANÁ ANTE LA DESCARGA DE CAUDALES (MEDIOS-BAJOS) DE YACYRETÁ Daniel Horacio Calvo y Roberto Daniel Muñíos	100
MOVIMIENTO VERTICAL DEL AGUA DE LLUVIA EN UN SUELO CON CARACTERÍSTICAS HIDRO-HALOMÓRFICAS Mario Guillermo Castiglioni, Sofía Havrylenko, Aimé Espíndola y Lucas Gusmerotti	102
APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE GEOPROCESAMIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY Lizbeth Rocío Caycho Torres y Néstor Montalvo Arquíñigo	104
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE UN SECTOR AL NORESTE DE ANGUIL, LA PAMPA Lorena Ceballo, Carina Arroyo y Patrick Viñas	106
AVANCE EN LA SISTEMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO Marisa Magalí Cervio, Gonzalo Eduardo Plencovich y Cesar Darío Suaya	108
USO DE SENSORES EN LA AGRICULTURA: UNA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA María Emilia Cha, Daniel Boeno y Jorge Iván Zapata	110
MODELACIÓN DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS EN LA REGIÓN TACNA – PERÚ, DURANTE FEBRERO 2020 Y PREDICCIONES FUTURAS Eduardo Chávvarri-Velarde, Edwin Pino-Vargas y Eusebio Ingol Blanco	112
AJUSTE DE CURVAS H-Q EN ESTACIONES DE LA PATAGONIA ARGENTINA Diana Chavasse, Nicole Ochoa Huamaní, Daniel Calvo, Ángel Queizán y Guillermo Mena	114
DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE URBANO DE UN PREDIO DE LA LOCALIDAD DE RINCÓN, PROVINCIA DE SANTA FE Yamila Chicherit	116
LA MEDICIÓN DE LA NIEVE Y LOS PRONÓSTICOS DE DERRAMES EN RÍOS CUYANOS Hugo Gerardo Cinca	118
MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE UN CANAL DE DESAGÜES URBANO EMPLEANDO COLBORACIÓN CIUDADANA M. Bernarda Correa, M. Fernanda Cornelli, Flavia Bazzano y M. Florencia Nanni	120
IMPACTO DEL DÉFICIT HÍDRICO EN UN ARROYO EFLUENTE DE LA REGIÓN PAMPEANA María Isabel Delgado, Sebastián Besteiro, María Elicia Mac Donagh, María Adela Casco, R. Gorbarán, Claudia Di Lello, Esteban Lacunza, Paula Consoli, Enrique Angheben y Eleonora Carol	122
COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL ACUÍFERO PUELICHE EN UN SECTOR DEL CINTURÓN HORTÍCOLA DE LA PLATA, BUENOS AIRES Daiana Dell' Arciprete, Felipe Herrera Niño, Maximiliano Fabiano, Patricia Laurencena y Silvina Carretero	124
TENDENCIAS RECIENTES EN LAS LLUVIAS DE LA PATAGONIA AUSTRAL Boris G. Díaz, Leandro Almonacid, Natalia Pessacg, Erica Colombani, Javier González, Cecilia Monserrat, Pablo Peri	126
ANÁLISIS DEL IMPACTO DE UNA SEQUÍA EXTREMA SOBRE LA LAGUNA MAR CHIQUITA, CÓRDOBA E. Díaz, M. Pagot, Franco Dimari, D. Romero, Leticia Tarrab, G. Hillman, Antoine Patalano, Andrés Rodríguez y H. Herrero	128
DETECCIÓN DEL LÍMITE AGUA-TIERRA MEDIANTE EL ALGORITMO MÍNIMA DISTANCIA EN LA NUBE DE GOOGLE EARTH ENGINE Gonzalo Dieguez Gaviola, Eva Noli, Augusto Van der Ploeg, M. F. Ortiz y Eugenia Chiarito	130
CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN ARGENTINA Franco Dimari, E. Díaz, G. Petrolí, Juan Carlos Bertoni y Andrés Rodríguez	132

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE LA BARDAS, DEPARTAMENTO DE CHICAL-CO, LA PAMPA Juan Domke, Fabrizio Caresani Tossoni, Gastón Buss y Agustín Ramirez	134
PLAN INTEGRAL HÍDRICO SOCIAL Y AMBIENTAL DE LA CUENCA DE LOS ARROYOS SAN FRANCISCO Y LAS PIEDRAS Francisco Héctor Espil Nosa, Juan Pablo Mosquera, Pablo Mario Bronstein, Nicolás Enrique Buono, Raúl Alejandro Cáceres, Julio César Cardini y Martín Andrés Spirito	136
ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES EN SERIES PLUVIOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RIO SAN ANTONIO Pierina Faustinelli, Giuliana Elcano, Ana Heredia, Andrea Rico y M. Elisa Vijarra	138
EVALUACIÓN DE DATOS GRILLADOS PARA EL ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN Gonzalo Ezequiel Fernández Menéndez y Hugo William Fernández	140
ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD ENTRE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRÁ- NEA EN LA CUENCA DEL ARROYO DEL AZUL Magalí Fornés, Sebastián Dietrich, Romina Marcovecchi, María Emilia Zabala, Camila A. Gregorini y Ailé Golin	142
CAUDALES ECOLÓGICOS Y GESTIÓN - DIFERENCIAS ENTRE METODOLOGÍAS - APLICACIÓN AL RÍO LAS JUNTAS María Fernanda Funes, Teresa Reyna, María Lábaque, Fabián Fulginiti y Santiago Reyna	144
ESTUDIO DE PROCESOS HIDROLÓGICOS SUPERFICIALES EN ÁREAS URBANAS Y RURALES APLICANDO EL MODELO GEOESPACIAL GEOQ Fernanda Gaspari, Fabio Montealegre Medina, Sebastián Besteiro y Mariano Velazquez y María Isabel Delgado	146
ESTIMACIÓN DE TURBIDEZ DE UNA LAGUNA MEDIANTE MUESTREOS DE CAMPO Y TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL NEA Víctor Gauto, Enid Utgés, Elsa Hervot, Daniela Tenev y Alejandro Farías	148
¿CÓMO RESPONDE EL OLIVAR SUPERINTENSIVO A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO? Luciana Gentili, Martin Tivani, Valerio Mastio, Flavio Capraro, Analuz Defazio, Cibeles Contreras, Mariela Torres, Damián Maestri y Pierluigi Pierantozzi	150
DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL COEFICIENTE DE CULTIVO DEL TOMATE PARA INDUSTRIA CON LISÍMETRO DE DRENAJE Agustín Geri, Enrique Muzi, Lucio Reinoso y Roberto Simón Martinez	152
ESTRATEGIA DE RIEGO EN SUELOS DE ESCASA RETENCIÓN HÍDRICA Claudio Giardina, José Morábito y Lidia Podestá	154
COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES EN ACUÍFEROS SOMEROS, PARTIDOS DE FLORENCIO VARELA Y BERAZATEGUI Joaquín Gil, María Marta Trovatto y Mónica Salvioli	156
FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA LAGUNA LAS BARRANCAS, MODELADO Y BALANCE HIDROLÓGICO Joaquín Gil, Leandro Rodríguez Capitulo y Enrique Fucks	158
EQUIFINALIDAD EN MODELOS DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA CUENCA DEL ARROYO DEL AZUL, ARGENTINA Aile Sellenne Golin, Luis Sebastián Vives y Erik Daniel Zimmermann	160
CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA, ARGENTINA Danielle Gomes da Silva Listo, Claudia Eleonor Natenzon y Fabrizio de Luiz Rosito Listo	162
ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA FORESTACIÓN SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE SENSORAMIENTO REMOTO Javier Gregorio, Elisabet Walker, Virginia Venturini y Jimena Alonso	164

<p>MODELO DE FLUJO Y DE TRANSPORTE UTILIZANDO $\delta^{18}\text{O}$ COMO TRAZADOR EN LA CUENCA DEL RIO QUEQUÉN GRANDE Sebastián I. Grondona, Orlando M. Quiroz Londoño, Daniel E. Martínez y Héctor E. Massone</p>	166
<p>DISEÑO DE SISTEMA PORTABLE PARA DISDRÓMETRO ÓPTICO Y SU UTILIZACIÓN EN EL MONITOREO IN SITU DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN Juan Pablo Guida, Pedro Ortolani, Román Martino, Pedro Ruiz Díaz, Érica Betiana Díaz, Matías Ezequiel Suarez, Joaquín Busignani y Andrés Rodríguez</p>	168
<p>CARACTERIZACIÓN DE HIDROMETEOROS CON DISDRÓMETRO EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA ENTRE 2019 Y 2023 Juan Pablo Guida, Melina Giselle Luna, Román Martino, Érica Betiana Díaz, Pedro Ortolani, Ricardo Ingaramo, Pedro Ruiz Díaz y Andrés Rodríguez</p>	170
<p>CALIDAD ALTIMÉTRICA DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN GENERADO CON IMÁGENES BANDA L DE SAOCOM Sofía B. Havrylenko, Aime Espindola y Pablo A. Mercuri</p>	172
<p>CAMBIOS DEL USO DEL SUELO EN EL GRAN LA PLATA Y SU INFLUENCIA EN EL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO Felipe Herrera Niño, Daiana Dell' Arciprete, Juan Francisco Zanandrea, Patricia Laurencena, Fabio Alejandro Montealegre Medina y Eduardo Kruse</p>	174
<p>FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO DEL RÍO DULCE EN DIFERENTES ESCENARIOS CLIMÁTICOS Jesús Armando Ibañez y Mabel Elizabeth Amarilla</p>	176
<p>APROXIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE CAMPOS DE PRECIPITACIONES EN EL NORESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA Yuly J. Infante López, Pablo G. Romanazzi y Eduardo F. Cassiraga</p>	178
<p>CAUDALES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS, TEMPORADA 20/21 DE LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO, CATAMARCA – TUCUMÁN, ARGENTINA Antonella Isuani, Sergio Georgieff, y María Soledad Bustos</p>	180
<p>RETROCESO DE GLACIARES Y CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA Rodolfo Iturraspe, Adriana Urciuolo y Diego Ramos</p>	182
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA RED PLUVIAL SEGÚN EL ENFOQUE DE SISTEMAS DE DESAGÜES SUSTENTABLES (SUDS) Guadalupe Jaca Pozzi y Enrique Angheben</p>	184
<p>OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO PAMPEANO, CIUDAD DE AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES Rodrigo E. Jaime y Adrián Silva Busso</p>	186
<p>PRONÓSTICO EN TIEMPO REAL DE INUNDACIONES REPENTINAS EN LA CUENCA SARANDÍ-SANTO DOMINGO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES Marina Lagos, Leandro D. Kazimierski y Mariano Re</p>	188
<p>APLICACIÓN DE MODELOS NO ESTACIONARIOS PARA EL ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CRECIDAS DE LA REGIÓN DE CUYO, ARGENTINA Carolina Lauro, Alberto I. J. Vich, Juan A. Rivera, Stella M. Moreiras y Emilce Vaccarino</p>	190
<p>MANEJO DEL RIEGO PRESURIZADO EN AJO MORADO INTA Víctor M. Lipinski, Débora Lavanderos, María Giuliana Estrella, Daniela Cónsoli, Matías Venier, Agustina Micheletti, Analía Valdes, Ana Paz Vignoni, Andrés Martínez y Gustavo Aliquó</p>	192
<p>COPRODUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA DINÁMICA DEL NIVEL FREÁTICO EN UNA CUENCA DE LLANURA DE LA LAGUNA LA PICASA Sebastián López, Horacio Videla Mensegue, Nicolás Guillén, Betsy Romero, Alejandra Macchiavello, José Corigliano, Javier Álvarez, Timo Kroon, Ab Veldhuizen, Pia Bonamico, Paola Blanco, Malcom Azcurra, Lucas Andreoni, Nicolás Bianchotti, Martín Gestoso, Robine Van Dooren, Luciano Perotti, Leticia Avedano, Analía Salafia, Herman Snel, Alejandra Canale, Jorge De Prada y Carlos Marcelo García</p>	194

CIENCIA PARTICIPATIVA PARA EL MAPEO DE AMENAZAS HÍDRICAS EN COMUNIDAD VULNERABLE DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA Sebastián López, José Manuel Díaz Lozada, Leandro Massó, Andrés Portigliatti, Paula Gaitán, Ingrid Strusberg, Ana Laura Elorza, Leandro Kazimierski, Mariano Re, Susana Vanoni y Carlos Marcelo García	196
MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. NUEVA ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DE LA SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICA HÍDRICA DE LA NACIÓN Carla Lupano y Yamila Berdun	198
DINÁMICA DE AGUAS SUBSUPERFICIALES EN EL PARTIDO DE GENERAL VILLEGAS Alejandra Macchiavello, Horacio Videla Mensegue, Rodrigo Lilia Manzione, Cristián Álvarez y Elke Noellemeyer	200
EVALUACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DEL CEREZO EN LOS ANTIGUOS, SANTA CRUZ Juan Santiago Arhancet y Fernando Ariel Manavella	202
RETROCESO ACELERADO DE LOS GLACIARES DE LA ENSENADA LARSEN B DURANTE LOS AÑOS 2022 Y 2023 Liliana S. Margonari y Sebastián Marinsek	204
EVALUACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDES Y GRISES BASADA EN MODELOS DE SIMULACIÓN ACOPLADOS 1D/2D PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES URBANAS Carlos Martínez, Arlex Sánchez y Zoran Vojinovic	206
DETERMINACIÓN DE CURVA H-Q MEDIANTE VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES A GRAN ESCALA (LSPIV), CASO RÍO COSQUÍN, CÓRDOBA Augusto E. Martos Aragón, Luca Lautaro Contreras, Agustina Rigatuso, Imanol Arellano, Juan M. De Guernica, Leandro Massó, Leticia Tarrab, Antoine Patalano, Carlos Marcelo García y Andrés Rodríguez	208
RIESGO ANTE TORRENCIALIDAD EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES A INICIOS DEL S. XXI Nelson Patricio Massachesi y Ricardo Castro-Díaz	210
LA SEQUÍA COMO FACTOR AMBIENTAL EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Nelson Patricio Massachesi	212
ANÁLISIS DE EXTENSIÓN DE AGUA SUPERFICIAL CON ENFOQUE EN EL ODS 6.6.1. ESTUDIO DE CASO: CUENCA ALTA DEL RÍO RECONQUISTA Virginia Mondelo, M. Gabriela Mazzucchelli y Fernanda J. Gaspari	214
INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA SATELITAL AL MONITOREO DE LA PRO- DUCCIÓN AGRÍCOLA EN LOS VALLES IRRIGADOS Y ÁREAS DE SECANO DEL NORESTE RIONEGRINO Ayelén Montenegro, Andrea Rodríguez, Ángel Muñoz, Lucía Mañueco, Romina Solorza, Luciano Romaldi y Álvaro Soldano	216
MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO EN EL DISTRITO DE RIEGO DE VILLA REGINA, PROVINCIA DE RÍO NEGRO Ayelén Montenegro, Darío Fernandez y Mauro Holzmann	218
IMPACTO DE DIFERENTES CONDICIONES HIDROLÓGICAS EN LA SUPERFICIE CUBIERTA POR AGUA EN UN TRAMO ESTRATÉGICO DEL RÍO NEUQUÉN Ayelén Montenegro	220
USO DE DRONES PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS CASO DE ESTUDIO: CUENCA MATANZA RIACHUELO Mayra Morale, Nicolás E. Ortiz y Pablo E. García	222
CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA CRISIS HÍDRICA OCURRIDA EN EL DPTO. GRAL. SAN MARTÍN (SALTA) Liliana Moraña, Florencia Alvarez Dalinger, Claudia I. Borja, Verónica Lozano y M. Mónica Salusso	224

RELACIÓN DE LAS BAJANTES Y LAS CRECIENTES DE LOS RÍOS PARANÁ Y PARAGUAY Y SU IMPACTO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS María José Müller, Rosana Mazzón y Silvia Rafaelli	226
PERSPECTIVA GLOBAL DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CAUDALES EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Omar V. Müller, Patrick McGuire, Pier Luigi Vidale y Ed Hawkins	228
DETERMINACIÓN DE HUMEDALES EN GRANDES EXTENSIONES MEDIANTE GEE Y ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO María F. Navarro, Carlos S. Navarro, Raúl Barrios, Noelia C. Calamari, Victorio Dieta, Guillermo García Martínez, María del Rosario Iturralde Elortegui, Ditmar B. Kurtz, Nicole J. Michard, Paula Paredes, Griselda I. Saucedo, Silvina Alday, Francisco Cianfagna, Matías H. Curcio, Andrea S. Enriquez, A. Lopez, Federico Miranda, Alejandro Pezzola, Fernando Umaña, Claudia Vidal, Cristina Winschel, Franco S. Albarracín, Fernando Alvarenga, Santiago Behr, María Victoria Cremona, Gregorio Gavier Pizarro, María Jesús Mosciaro, Ruth Perucca, María Gabriela Sepulcri, Víctor Utrilla, Juan Pablo Zamora Gomez, Enrique Livragui y Yanina Sica	230
FERTIRRIEGO POR SURCO ALTERNO PARA MAÍZ EN EL VALLE INFERIOR DE RIO NEGRO Evelyn Neffen, Hernán R. Zelmer, Enrique Muzi, Lucio G. Reinoso y Roberto S. Martinez	232
AVANCES EN EL MONITOREO DEL GLACIAR HIELO AZUL, RÍO NEGRO, ARGENTINA Martín Nini, Federico Schmidt, Nicolás Popoff, Marcos Budniewski, Hernán Soto, Santiago Lema, Leonel Bergagno y Fernando Bodoira	234
AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE JÁHAL EN SAN JUAN, ANTECEDENTES Y MONITOREO Irene Ortega, Fernanda Carelli y Romina Battistella	236
ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN DE ORIGEN SATELITAL Y MEDICIONES IN SITU, EN LA CUENCA DEL RÍO JESÚS MARÍA - RÍO PINTO, CÓRDOBA Lucía Paredes, Andrés Lighizzolo, Matías Suarez, Elena Lucía Sandalio, Andrés Rodríguez, Ricardo Ingaramo y Mariana Pagot	238
VARIABILIDAD HIDROLÓGICA DE HUMEDALES EN EL ÁREA DE LA PLANICIE COSTERA DE AJÓ María Paz Pasquale Pérez, Rosario Acosta, Elenora Carol y Lucía Santucci	240
DIEZ AÑOS MIDIENDO CAUDALES CON IMÁGENES EN ARGENTINA Antoine Patalano, Leandro Massó, Carlos Marcelo García y Andrés Rodríguez	242
CONTRIBUCIÓN DE LA GRAVIMETRÍA SATELITAL PARA EL ESTUDIO DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA CONTINENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO PARANÁ Ayelén Pereira, Cecilia Cornero, Ana C. Oliveira Cancoro de Matos y María C. Pacino	244
EVALUACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA EVAPO-TRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA ZONA DE RÍO CUARTO (CÓRDOBA) Rita Pereyra, Raúl Jesús Crespi y Marta Graciela Vinocur	246
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LA VITICULTURA EN LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA Laura Pérez Ventura y Gustavo Satlari	248
ADECUACIÓN DE CURVAS IDF A ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN EL A° ESTACAS, ENTRE RÍOS Ramiro J. Pighini, Emanuel Melgares y Ana B. Wingeyer	250
IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN EN LA REGIÓN DEL COMAHUE Gabriela Polla, Federico Horne, Javier Pavese, Sergio Stangaferro, Esteban Gomez, M. Lucia Mañueco y Ayelén Montenegro	252
APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT PARA LA SIMULACIÓN DEL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA SALÍ-DULCE. ARGENTINA Jorge Prieto Villarroja, Héctor Daniel Farias, Ramiro Saurral y Howard Van Meer	254
METODOLOGÍA PARA CÁLCULO DE CAUDAL ECOLÓGICO EN APROVECHAMIENTOS MULTIPROPÓSITO MEDIANTE HYDROBID E ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA Jorge Prieto Villarroja, Marcelo Borsellino, Edgardo Castellano, Alejandra Catacolí, José Salto y Nicolás Ruiz	256

CARACTERIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN VIÑEDOS REGADOS SUPERFICIALMENTE ASISTIDO POR IMÁGENES SATELITALES Carlos Puertas, Daiana Mateo, Diego Tozzi y Fabián Tozzi	258
MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL SUELO COMO DETERMINANTE DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN EL SUDESTE BONAERENSE Marino Puricelli y Maximiliano Eiza	260
CARTA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO PARA LAS ACCIONES DE PREVENCIÓN - CIUDAD DE CÓRDOBA - 2022/2023 Francisco Quintana Salvat, Ruben del Valle Menso, Osvaldo Luis Barbeito, Ana Laura Rydzewski, Sabrina Torti López	262
INTEGRACIÓN HYDROBID FLOOD CON MODELO EPA SWMM PARA SIMULACIONES DE DRENAJE URBANO EN LA CIUDAD DE SANTA FE Guido Quiroga, Mariana Morell, María Paula Gagliardi, Agustín Burne y Rafael Salvadores	264
REGIONALIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL ARROYO FELICIANO (ENTRE RÍOS, ARGENTINA) Roxana Guadalupe Ramírez, Marcelo Germán Wilson, Emmanuel Adrián Gabioud, Ramiro Joaquin Pighini y Natalia Verónica Van Opstal	266
APROVECHAMIENTO HÍDRICO - DEPARTAMENTO TINOGASTA. PROVINCIA DE CATAMARCA Teresa Reyna, Santiago Reyna, Fabián Fulginiti, María Lábaque, César Riha y María José Basbus	268
CORRELACIÓN ENTRE NÚCLEOS CONVECTIVOS DE TORMENTAS SEVERAS Y EVENTOS DE LLUVIA Y GRANIZO Andrea F. Rico, Anthony Crespo Bernal Ayala, Ricardo Ingaramo, Raúl A. Comes, Andrés Rodríguez y Lucía E. Arena	270
SEQUÍA HIDROLÓGICA RECIENTE EN LA CUENCA DEL PLATA: ¿UN VISTAZO AL FUTURO? Juan Antonio Rival y Malaëka Robo	272
ESTACIONES DE MONITOREO DE LAGOS EN CÓRDOBA, ARGENTINA: AVANCES EN EL DESARROLLO Andrés Rodríguez, Pedro Ruiz Díaz, Mauro G. Gómez, Carlos A. Vitulich, Santiago A. Rodriguez Gonzalez, Florencia E. Romero, Araceli Ferreyra, Micaela Juaneda Allende, Guido Marconi, Leandro N. Alem, Gastón Ojeda, Francisco Ciordia, Lihué Luna y Mateo Merino	274
RELEVAMIENTO HIDROAMBIENTAL GEORREFERENCIADO DE DETALLE CON VISTAS A LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Darío T. Rodríguez, Ariana G. Seufert, Gerardo A. Riccardi, J. J. Fernández y Fatima Schoninger	276
MONITOREO Y ANÁLISIS DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN VENADO TUERTO MEDIANTE UNA RED DE FREATÍMETROS Y HERRAMIENTAS GEOESPACIALES Rocío Rodríguez, María Celeste Gualde, Mónica Bricca, Samanta Del Soldato, María Soledad Gualde, Emiliano Bonifazi y Vilma Olivieri.....	278
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Catalina Romay, Guido Fernando Botta y Felipe Di Giacomo Hardoy	280
IMPACTO DE LA INSTALACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO Y PREVISIÓN DE NIVELES DE AGUA Martín Sabarots Gerbec, Santiago Guizzardi, Juan Bianchi, Ardían González, Mauro Fernández y Víctorio Dieta	282
MODELOS DE NIEVE DE BASE FÍSICA. RESULTADOS PRELIMINARES DE APLICACIÓN EN A CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO Ana Paula Salcedo, Richard Essery y Susana Haye	284
AVANCES PRELIMINARES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO WRF-HYDRO EN UNA CUENCA DE MONTAÑA DE CÓRDOBA Juan Sanchez, Matías Suárez, Facundo Alonso, Stephen Nesbitt, Pierina Faustini, Rocio Otero, Lucia Sandalio, Leandro Maturano y Andrés Rodríguez	286

ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA: MODELO WRF VS. SATÉLITE (GPM-NASA) Lucia Sandalio, Lucia Paredes, Rocio Otero, Juan Sanchez, Pierina Faustinielli, Leandro Maturano, Joaquín Busignani y Franco Dimari	288
COMPORTAMIENTO ESTIMADO DEL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO FURNAS DESPUÉS DE UN PERÍODO DE RECESIÓN Guilherme N. dos Santos, Rodrigo L. Manzione y Roberto E. Kirchheim	290
EFFECTO DE LA SEQUÍA EN LA DINÁMICA DE LAS LAGUNAS EN CORRIENTES Griselda I. Saucedo, Ditmar B. Kurtz, Félix I. Contreras y María Fabiana Navarro Rau	292
PREVENIR: PROYECTO DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES URBANAS Celeste Saulo, Takemasa Miyoshi, Arata Amemiya, Carlos Catalini, Daniela D'Amen, María Eugenia Dillon, Paula Etala, Yanina García Skabar, Carlos Marcelo García, Matías Mellaned, Leandro Kazimierski, Sebastián López, Shigenori Otsuka, Manuel Pulido, Mariano Re, Federico Robledo, Juan Ruiz, Paola Salio, Luciano Vidal y Elian Wolfram	294
DETERMINACIÓN DE REDES DE DRENAJES MEDIANTE SENSORES REMOTOS José Luis Seco, Federico Ibarra, A. Paula Micou y Eugenia Chiarito	296
ANUARIO DE INFORMACIÓN HIDRONIVOMETEOROLOGICA DE LA CORDILLERA DE MENDOZA Rodrigo Villareal, Héctor Segal y Rubén Villodas	298
EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE IMERG PARA ESTIMAR LLUVIAS DE DISEÑO EN ARGENTINA Joaquín S. Segura Ellis, Carlos Marcelo García, Carlos G. Catalini y Steve Nesbitt	300
AMENAZA POR CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS HIDROLÓGICOS DE LLANURA: APLICACIÓN A "LAS ENCADENADAS" SUR DE SANTA FE Magalí V. Soria, Pedro A. Basile y Gerardo A. Riccardi	302
UTILIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN TELEDETECTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA ARRAIGADA EN CAUCES SECUNDARIOS DEL SISTEMA PARANÁ Agustina Spais, Zuleica Marchetti y Virginia Venturini	304
APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS A HIDROLOGÍA EN CUENCAS DE LLANURA. CUENCA DEL ARROYO MONJE, SANTA FE Agustina Spais, Rosana Mazzón, Esteban Collins, Pablo del Prete, Carlos Maciel, Carlos Scioli, Jorge Collins y Mariela Charlón	306
UTILIZACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA LA CALIBRACIÓN Y APLICACIÓN DE VARIABLES EN MODELOS HIDROLÓGICOS Agustina Spais, Adolfo Villanueva y Gerardo Riccardi	308
MODIFICACIONES DE MAPAS DE AMENAZA EN EL CANAL URBANO PUEBLO ESTHER DEBIDO A LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE RECANALIZACIÓN Hernán Stenta, Carlos Scuderi, Gerardo Riccardi, Pedro Basile y Marina García	310
SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA APRHI CÓRDOBA César Suaya, Horacio Herrero, Erica Díaz, Tomás Agustín Moyano Reartes, Victoria Chiodi, Alejandro Aleksinkó, Agustín Cánovas, Marcelo Loza y Gino Mosconi	312
SISTEMATIZACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN LA REGIÓN NORESTE DE GENERAL PICO – LA PAMPA María Florencia Terré, Gustavo Francisco Peuser, Franco Leonel Gimenez, Dayana Brizuela, Germán Briñon y Osvaldo Guillermo Mena	314
BALANCE HIDROLÓGICO DE CUENCA DE JESÚS MARÍA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA Gisella Tiní, Andrés Zgrablich, Juan Pablo Guida, Juan Sánchez, Lucia Paredes y Andrés Rodríguez	316
EFFECTO COMBINADO DE TEMPERATURAS Y RIEGO DEFICITARIO INVERNAL SOBRE LA PRODUCCIÓN EN EL OLIVAR (OLEA EUROPAEA L.) Martín Tivani, Mariela Torres, María Pía Gomez, Valerio Mastio, Luciana Gentili, Cibeles Contreras, Damián Maestri y Pierluigi Pierantozzi	318

SISTEMATIZACIÓN DE PERFORACIONES REGISTRADAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA. ARGENTINA Pablo Toledo, Adriana Molina y Yanina Charras	320
LA IMPORTANCIA DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS DE AGUA SUBTERRÁNEA Zaira Jael Torres, Ariel Nicolás Machado, María del Valle Venencio y Dora Cecilia Sosa	322
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE RIEGO Y MEJORAS DE GESTIÓN HÍDRICA PARCELARIA EN LAS CUENCAS DEL RÍO TUNUYÁN Y MENDOZA Fabián Tozzi, Daiana Mateo, Carlos Puertas, Débora Lavanderos, Florencia Ferrari, Nicolás Croatto, María Giuliana Estrella, Carlos Angulo y José Agüero	324
SIMULACIÓN ACOPLADA DE PROCESOS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEOS Y USOS DEL SUELO: CUENCA DEL CARCARAÑÁ Franco Trivisonno, Martín Romagnoli, Javier Heredia y Margarita Portapila	326
METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LAS SEQUÍAS. CASO: CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ Leticia Vicario	328
SEQUIAS EN EL CENTRO-OESTE ARGENTINO Alberto I. J. Vich, Patricia M. López, Emilce Vaccarino y Carolina Lauro	330
AMPLIACIÓN DEL SAT-AZUL, TRAMO PARISH-CACHARÍ Ignacio Villanueva, Crysthian Sánchez y Georgina Cazenave	332
HIDROLOGÍA NEURONAL APLICADA AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL ARROYO AZUL Ignacio Villanueva y Georgina Cazenave	334
RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-RECURRENCIA PARA LA ARGENTINA EN BASE A DATOS DE PRECIPITACIÓN DERIVADOS DE SATÉLITE Juan F. Weber y Santiago A. Drab	336
PRECIPITACIONES DIARIAS DE DISEÑO PARA LA ARGENTINA OBTENIDAS A PARTIR DE DATOS DERIVADOS DE SATÉLITE Juan Francisco Weber, Pablo Tomás Stehli y Gabriel Alejandro Bogino Castillo	338
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ESTIMADA A PARTIR DE PRODUCTO SATELITAL MERGE Y MEDICIONES CONVENCIONALES EN LA CUENCA DE APOORTE AL LAGO DE SALTO GRANDE Federico Yoya, Juan Badagian, Gonzalo Sapriza, Andrés Graisaro y Guillermo Collazos	340
AVANCES EN EL ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ANCESTRALES Y TRADICIONALES DE REGADÍO EN LA PROVINCIA DE GRANADA (ESPAÑA) Y EL NOROESTE DE ARGENTINA Juan Pablo Zamora Gómez, Sergio Martos Rosillo y José María Martín Civantos	342
INFLUENCIA DE LAS ESCASAS PRECIPITACIONES EN LOS NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Juan Francisco Zanandrea, Felipe Herrera Niño, Sofía Scarano, Daiana Dell' Arciprete, Maximiliano Fabiano, Joaquín Gil, Patricia Laurencena y Santiago Perdomo	344
CUENCA DEL RÍO LOS PATOS – SALAR DEL HOMBRE MUERTO: ESTUDIO Y TOMA DE DECISIONES M. Florencia Zarauz Ruboni, Javier Camisasso, M. Soledad Brusa Y Brenda A. Roldán	346
LA BAJANTE DEL RÍO PARANÁ – CAUSAS E IMPACTOS Viviana Zucarelli y Rosana Hammerly	348

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA EXTENSIÓN DE HUMEDALES LAGUNARES A PARTIR DEL ÍNDICE NDWI

Acosta R.^{1,2}, Carol E.^{1,2}, Borzi G.^{1,2}, Leal P.^{1,2}, Alvarez M.P.³

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (UNLP), La Plata, Argentina

2. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET – UNLP), La Plata, Argentina

3. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (CENPAT – CONICET), Puerto Madryn, Argentina

racosta@cig.museo.unlp.edu.ar

Introducción

En el sudoeste de la Región Pampeana existen numerosos humedales lagunares asociados a cuencas endorreicas, los cuales presentan un comportamiento hidrológico que depende principalmente de las condiciones climáticas y de la descarga de agua subterránea (Dangavs, 2005). La hidrología de dichos humedales responde no solo a procesos locales, sino también a fenómenos globales, como por ejemplo el fenómeno ENSO (El Niño – Oscilación del Sur), que se relaciona con la variabilidad climática en América Latina (Piccolo et al., 2002; Bohn et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue utilizar el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) para analizar variaciones en la extensión areal de humedales lagunares en un sector de la Región Pampeana, aledaño a la localidad de Rivera, en el oeste de Buenos Aires (Fig. 1).



Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Metodología

La variabilidad climática de la región se estudió a partir del análisis de datos de precipitaciones y temperaturas procedentes de la estación Bordenave (37,84°S, 63,02°O), perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) mediante los cuales también se estimó la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite y Mater (1957). Asimismo, se efectuó un análisis del índice Estandarizado de Precipitación – Evapotranspiración (SPEI) a escala 12 meses durante el período 2000 – 2020. En base a estos estudios, fueron seleccionados 3 años como representativos de régimen hídrico en periodo normal, seco y húmedo.

Posteriormente, se calculó el NDWI utilizando el software QGIS 3.16.5 en imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ (Path/Row 227/086) calibradas radiométricamente, seleccionando una imagen representativa de cada periodo. Una vez calculado el índice, se procedió a realizar la binarización del mismo en cada imagen utilizando el umbral 0,1 para clasificar las áreas cubiertas por agua y cuantificarlas.

Resultados

En el periodo 2000-2020 la precipitación media anual es de 686 mm con extremos entre 410 y 1079 mm, mientras que la evapotranspiración media anual es de 749 mm, con mínimos de 660 mm y máximos de 800 mm. Por su parte, la temperatura media anual es de 14,5°C, con extremos entre 3,5 y 24,4°C. El análisis de la variación temporal en el SPEI para el mismo periodo (Fig. 2) permite identificar la existencia de periodos moderadamente húmedos a extremadamente húmedos (SPEI > 1) en donde la precipitación domina por sobre la evapotranspiración, y periodos secos a extremadamente secos (SPEI < -1), donde la evapotranspiración supera a la precipitación (Fig. 2).

En base a esto fue que se seleccionó el año 2002 como representativo de un periodo húmedo, dado que se alcanzan valores de SPEI cercanos a 2, y precipitaciones muy por encima del valor medio, las cuales superan ampliamente a la evapotranspiración. Por otro lado, el 2005 se seleccionó para un periodo normal, con valores de precipitación y evapotranspiración cercanos al valor medio, y valores de SPEI entre 0 y 1. Por último, debido a los bajos valores de SPEI (-3) asociados a escasas precipitaciones y alta evapotranspiración, se seleccionó el 2009 para representar a un periodo seco.



Figura 2.- SPEI a escala 12 meses, precipitación anual y evapotranspiración anual para el periodo 2000-2020.

El cálculo de NDWI en las imágenes Landsat para los años 2002, 2005 y 2009 muestra que en las áreas en las que los píxeles cuyo valor es $\geq 0,1$ hay presencia de agua, mientras que en aquellos en donde el valor es menor, no se registra la presencia de agua. No obstante, existen diferencias sustanciales entre las áreas cubiertas por agua para cada año analizado.

La binarización de las imágenes utilizando el valor de umbral de NDWI 0,1 muestra que en 2002 existen más sectores cubiertos por agua, y esto se refleja tanto en el tamaño de los humedales como en la cantidad de los mismos (Fig. 3 a), disminuyendo progresivamente para el 2005 (Fig. 3 b) y existiendo una diferencia contrastante con el 2009, en donde tanto el tamaño y como la cantidad de humedales es mínima (Fig. 3 c).

Las cuantificaciones realizadas muestran que en un año hidrológico normal (2005) el área de humedales cubierta por agua fue de 66,06 km², mientras que en el año húmedo (2002) el área fue de 83,66 km² y en el año seco (2009) fue de tan solo 39,46 km².

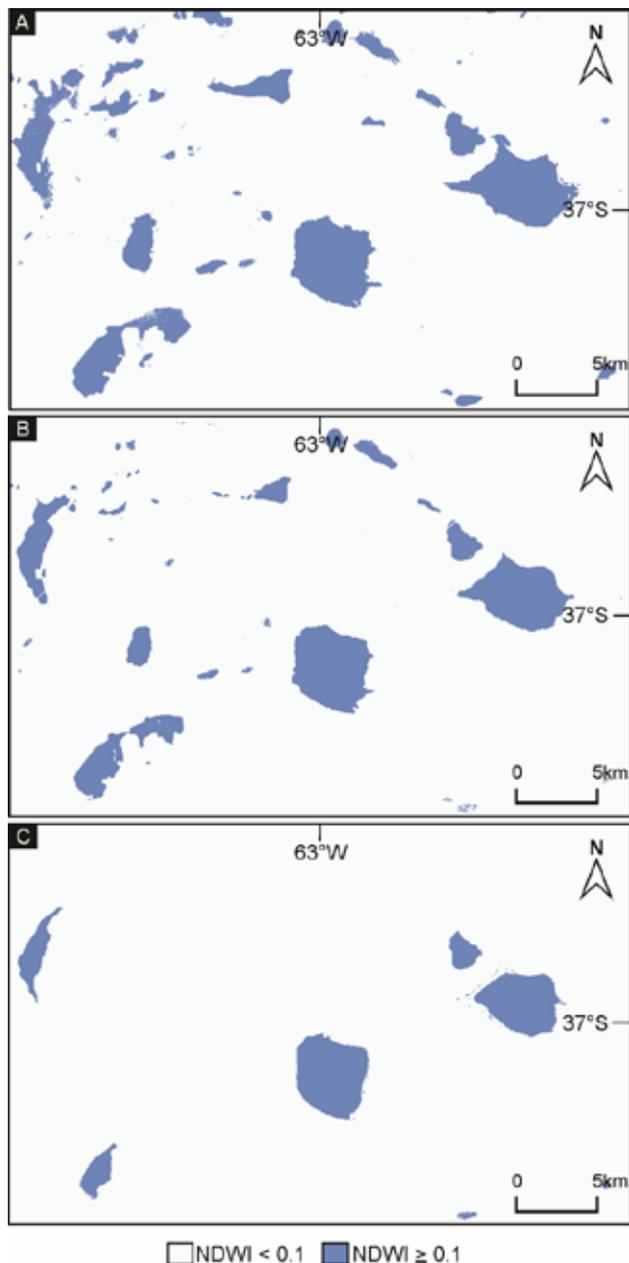


Figura 3.- Binarización del índice NDWI utilizando el umbral 0.1 para (a) 2002, (b) 2005 y (c) 2009.

Conclusiones

Los resultados obtenidos ponen en evidencia la fuerte dependencia de las condiciones climáticas que tienen los humedales estudiados y el impacto que puede tener en su desarrollo areal. Tanto el NDWI, como la clasificación y cuantificación de las áreas cubiertas por agua son herramientas importantes para observar y cuantificar el cambio que presentan los cuerpos de agua como consecuencia de la variabilidad en el régimen hídrico. Siendo la región estudiada un área afectada por las variaciones climáticas del fenómeno ENSO es de esperar que su funcionamiento hidrológico natural se caracterice por marcados cambios en la extensión de los humedales.

Referencias

- Bohn, V., Piccolo M. C., Perillo, G. M. E.** (2011). *Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Revista de Climatología, Vol. 11: 31-43.
- Dangavs, N. V.** (2005). *Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires*. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capítulo XIII: 219-236.
- Piccolo, M. C., Capelli, A., Campo, A.** (2002). *La sequía de 1995 en el sur de la región pampeana argentina*. Desastres Naturales en América Latina, Fondo de Cultura económica, pp. 189-206.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R.** (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Publication in Climatology, 10: 185-311.

APLICACIÓN DE MÚLTIPLES ÍNDICES DE AGUA AUTOMATIZADOS EN SIG PARA DETECTAR AGUAS SUPERFICIALES EN UN ENTORNO PAMPEANO ARGENTINO

Keyla Alencar da Silva¹, Erik Zimmermann², Carolina Parodi³ y Francisca Ruiz-Tagler Santander⁴

Académica en Universidad Tecnológica Metropolitana y becaria postdoctoral del CONICET, Chile-Argentina – keyla.dasilva@utem.cl¹

Académico en Universidad Nacional de Rosario e investigador del CONICET, Argentina - erikz@fceia.unr.edu.ar²

Académica en Universidad Tecnológica Metropolitana, Chile – cparodi@utem.cl³

Ingeniera en Geomensura de la Universidad Tecnológica Metropolitana, Chile - francisca.ruiztagler@utem.cl⁴

Introducción

La democratización de las herramientas de teledetección y los productos de sensores satelitales, con una creciente automatización de algoritmos e índices en plataformas de sistemas de información geográfica de código abierto, se ha convertido en un aspecto importante del desarrollo de la ciencia y la tecnología. Además, las descargas gratuitas de imágenes satelitales han hecho posible incluir medidas de monitoreo precisas y de bajo costo en la gestión de los recursos hídricos a nivel local. La teledetección es una herramienta útil para la gestión de los recursos naturales, como las masas de agua, que permite un seguimiento eficaz y rentable de los recursos hídricos utilizando datos precisos.

Una herramienta ampliamente utilizada en diversos tipos de estudios por cuenta de su versatilidad es la Calculadora Raster. Es una aplicación presente en distintos programas SIG, y que tiene la función de crea y ejecuta expresiones simples de álgebra de mapas con una interfaz similar a la de una calculadora y salida de tipo ráster. Muchos algoritmos que usando imágenes satelitales son ejecutados por ejecutando la calculadora ráster.

Con el objetivo de comprobar la funcionalidad y evaluar la calidad de los resultados presentados por la aplicación Moisture and Water Index (Qgis), este estudio pretende ejecutar las funciones de dicha aplicación para identificar aguas superficiales. Luego, los resultados obtenidos desde el plugin serán comparados con los resultados de la ejecución de los mismos índices usando la calculadora ráster. La zona de interés se encuentra inserida en la Cuenca del Arroyo del Azul, ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires. El área de comparación consistió en un rectángulo de 24 km en dirección SO-NE y 29 km en dirección NW-SE, comprendida principalmente en los tramos altos de la quebrada Azul (Zimmermann y Ricardi, 2000).

Área de estudio

El área de interés consistió en un rectángulo de 24 km en dirección SO-NE y 29 km en dirección NW-SE, comprendida principalmente en los tramos bajos de la cuenca del Azul. La tabla de discretización que compone este recorte se divide en cuadrados de 1 km de lado, 696 celdas (24 filas, 29 columnas) (Figura 1). Esta grilla fue utilizada para recortar las imágenes resultados de los cálculos del NDWI. El sitio de simulación está ubicado en una intrusión de aguas poco profundas (Zimmermann, 2022).

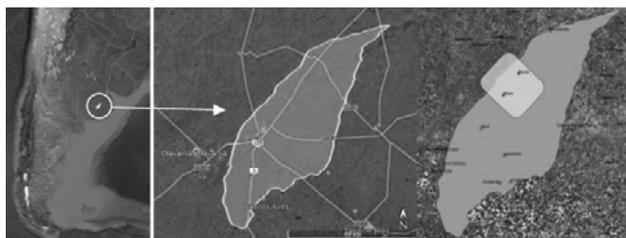


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica del Arroyo del Azul y área de interés para la simulación (provincia de Buenos Aires – Argentina).

Metodología

Los Índices de Agua de Diferencia Normalizada seleccionados para este estudio fueron los propuestos por Gao (1995), McFeeters (1996) y Xu (2006).

El método Gao (1995, 1996) utiliza las bandas de los canales infrarrojo de onda corta (SWIR) e infrarrojo cercano (NIR). Los potenciales valores obtenidos a partir del NDMI de Gao oscilan entre -1 y 1 cuyos valores describirán superficies de agua, vegetación con contenido de humedad y superficies de suelo desnudo húmedos. La ecuación 1 está basada en la relación entre sus diferencias y sumas:

$$\text{NDMI} = (\text{NIR}-\text{SWIR})/(\text{NIR}+\text{SWIR}) \quad (1)$$

La relación de bandas espectrales se establece entre la banda NIR- Near InfraRed (o infrarrojo cercano) y la banda SWIR-Short Wavelength InfraRed (infrarrojo de onda corta). El agua y/o contenido de humedad serán identificados por los píxeles que presentan valores positivos entre 0 y 1.

El método McFeeters, (1996) se basa en la sustitución de la banda SWIR por la banda visible del canal verde (Ecuación 2). Esta sustitución tiene como objetivo analizar e identificar cursos de agua, realizar monitoreo de áreas inundadas, entre otros cuerpos de agua (Brenner y Guasselli, 2015; Memon et al., 2015). En este caso, la relación de análisis de bandas multiespectrales será:

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN}-\text{NIR})/(\text{GREEN}+\text{NIR}) \quad (2)$$

La aplicación de la banda verde permite maximizar la reflectancia del agua al trabajar con longitudes de onda en esta franja espectral, también maximiza la reflectancia de la vegetación y minimiza la reflectancia de masas de agua gracias al NIR (Pereira et al., 2018).

El método propuesto por Xu (2006) presenta una adaptación sistemática análoga a la de McFeeters. En este caso, la relación entre bandas no contempla el manejo de la banda NIR sino la SWIR. Es más conocido como el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado o MNDWI (Ecuación 3).

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN}-\text{SWIR})/(\text{GREEN}+\text{SWIR}) \quad (3)$$

Los resultados del MNDWI podrán ser: 1. el agua tendrá valores positivos mayores que en la NDWI, ya que absorbe más luz SWIR que NIR; 2. La superficie urbanizada tendrá valores negativos; 3. El suelo expuesto y la vegetación seguirán teniendo valores negativos, ya que el suelo refleja más la luz SWIR que la NIR (Jensen 2004) y la vegetación refleja la luz SWIR aún más que la luz verde.

Realizada la selección de los índices a ser ejecutados, la metodología fue separada en dos etapas. La primera consistió en la ejecución de los cálculos de corrección atmosféricas usando la aplicación Semi-automatic Classification Plugin y de los índices usando la calculadora ráster (Qgis) (Figura 2).

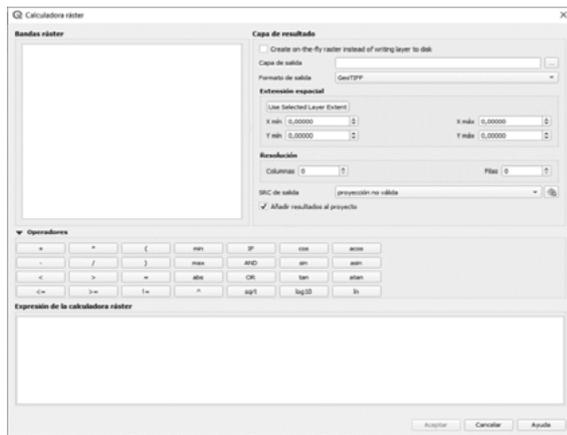


Figura 2. Aplicación Calculadora Ráster en Qgis 3.30.

La segunda etapa consistió en ejecutar los mismos cálculos de corrección e índices usando la aplicación Moisture and Water Index (Qgis) (Figura 3).

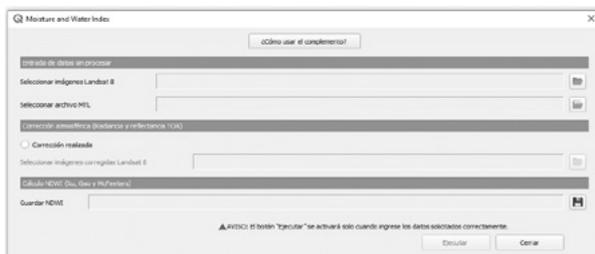


Figura 3. Aplicación Moisture and Water Index de Qgis 3.30.

En todos los procedimientos anteriormente descritos se utilizó la misma imagen satelital: Landsat 8 OLI, del día 01-03-2023.

Resultados

Durante la ejecución de los procedimientos descritos en la metodología y la obtención de los resultados, fue posible determinar que los tiempos de entrega de los productos son distintos, así como los resultados.

Las operaciones realizadas usando la calculadora ráster fueron ejecutadas en dos partes. Primero se realizó las correcciones atmosféricas usando la aplicación SCP (Semi-automatic Classification - Qgis). Luego las bandas de la imagen LandSat 8 fueron ingresadas a la Calculadora. Tardando en media entre 2 – 5 minutos realizar los cálculos correspondientes a cada método (Xu, Gao y McFeeters).

La aplicación Moisture and Water Index presentó ventajas precisamente en los tiempos de la entrega de los resultados. Al poseer integrado al plugin la opción de realizar las correcciones atmosféricas y tres diferentes métodos de índices normalizados de agua automatizados optimiza los tiempos de respuesta. La aplicación entrega los productos de salida en un promedio de 2-3 minutos.

Las ecuaciones de calibración radiométrica y corrección de la reflectancia no son las mismas usadas por la aplicación SCP y la aplicación Moisture and Water Index. Por lo tanto, los resultados presentados no serán exactamente los mismos.

No obstante, la diferencia presentada entre los resultados producidos por ambos procedimientos está dentro de los rangos esperados y establecidos entre los índices normalizados. No afectando así a la realización de los análisis estadísticos de correlación. A seguir se presenta los resultados de los índices de correlación de los resultados obtenido (Figura 4).

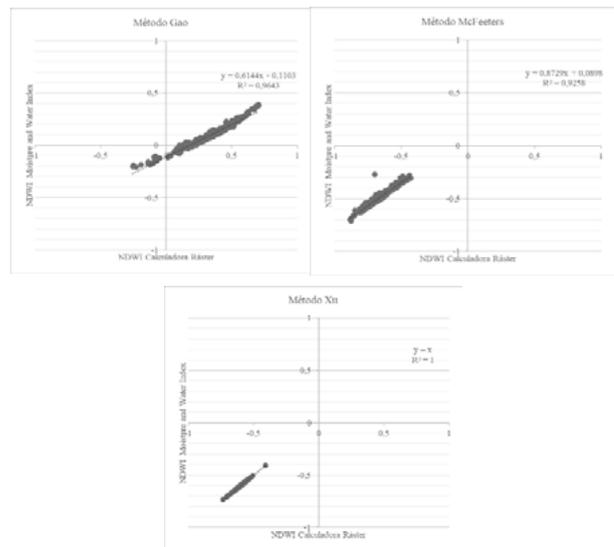


Figura 4. Resultados de los análisis estadísticos comparando ambos métodos aplicando índices de correlación.

Conclusiones

La aplicación Moisture and Water Index disponible para Download en Qgis 3.30 y versiones anteriores se ha presentado como una excelente alternativa para la ejecución de los índices normalizados de agua propuestos por Gao, Xu y McFeeter. La Calculadora ráster es una herramienta muy versátil para el procesamiento de imágenes satelitales, y no es objetivo de este estudio cuestionar la calidad de ejecución de esta. No obstante, el operador debe escribir cuidadosamente las ecuaciones de los distintos índices de agua normalizados para la obtención de los resultados correctos. En el caso de la aplicación Moisture and Water Index, estas ecuaciones están automatizadas, así como también las ecuaciones de correcciones atmosféricas en una sola ventana. Esto presenta una ventaja en la optimización de los tiempos de espera de los resultados. Donde el operador debe ingresar solamente las bandas 1 a 7, el metadato correspondiente a la imagen y determinar la carpeta de salida. Es una aplicación que es recomendada para la ejecución de series históricas de imágenes.

Referencias

Gao, B. C. (1995). Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. In *Imaging Spectrometry* (Vol. 2480, pp. 225-236). SPIE.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.

Zimmermann, E. (2022). Adaptación del método propuesto por Fao para evaluar la evapotranspiración real en el modelo de simulación hidrológica SHALL. *Cuadernos Del CURIHAM*, 28. <https://doi.org/10.35305/curiham.v28i.185>

Zimmermann E. y Riccardi, G. (2000) Modelo de simulación hidrológica superficial para áreas de llanura. *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba argentino.*

ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Almonacid Leandro R¹., Pessacg Natalia L.², Diaz Boris G.³ y Peri Pablo L.⁴.

¹ Convenio Municipalidad de Rio Gallegos-INTA CR Patagonia Sur; ² IPEEC CCT CONICET CENPAT; ³ INTA EEA Santa Cruz – Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA); ⁴ INTA-UNPA-CONICET⁴. Argentina
almonacid.leandro@inta.gob.ar¹, pessacg@cenpat-conicet.gob.ar², diaz.boris@inta.gob.ar³, peri.pablo@inta.gob.ar⁴.

Introducción

Las sequías son un fenómeno natural que se define como la escasez excepcional de precipitación que afecta a la disponibilidad de agua para satisfacer las demandas ambientales y/o a las actividades humanas (Wilhite *et al.*, 2014). Existen distintos tipos de sequías: (1) meteorológica, que representan un déficit de precipitación; (2) agrícola, que representa un déficit de humedad en el suelo; (3) hidrológica, que representa caudales insuficientes en términos de la oferta de agua superficial y subsuperficial y (4) socioeconómica, que representa un suministro insuficiente de agua para cubrir demandas de agua de uso humano (Fung *et al.*, 2020).

Para la caracterización y monitoreo de este fenómeno (Mishra y Singh, 2010), se utilizan diferentes indicadores. Uno de los más utilizados y recomendado por la WMO (Organización Meteorológica Mundial), (Hayes *et al.*, 2011, Fung *et al.*, 2022) es el SPI (Índice Estandarizado de Precipitación, Mckee *et al.*, 1993), el cual basa sus cálculos a partir solo de valores de precipitación, transformándolo en un índice de fácil aplicación (Fung *et al.*, 2022).

La provincia de Santa Cruz experimentó en las últimas décadas diversos eventos de sequía, con impactos variables en términos de extensión territorial, así como de severidad y duración. La principal limitante para su apropiado estudio es la baja densidad de estaciones meteorológicas con disponibilidad de datos confiables y series temporales extensas (Almonacid *et al.*, 2021). Para compensar esta limitante, existen bases de datos globales reticuladas con diferentes resoluciones temporales y espaciales, generadas a partir de datos observados, datos satelitales y modelos. En Santa Cruz fueron testeadas diferentes bases globales de datos reticuladas de precipitación, destacando CRU (Climatic Research Unit), (Harris *et al.*, 2020) como la que mejor representó la variabilidad espacio temporal de la precipitación regional (Almonacid *et al.*, 2021).

El objetivo del presente trabajo consiste en caracterizar los eventos de sequía meteorológica en la provincia de Santa Cruz a partir de datos CRU TS v.4.06, utilizando el índice SPI en diferentes periodos de referencia.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La provincia de Santa Cruz se encuentra en el extremo sur de la Argentina continental y se divide en 11 regiones climáticas, caracterizadas por distintos regímenes de precipitación y temperatura. Las zonas más secas y cálidas se distribuyen hacia el noreste de la provincia con una precipitación media anual (pma) que no supera los 180 mm año⁻¹ y una temperatura media anual (tma) cercana a los 12 °C, mientras que las más húmedas y frías se localizan hacia el sur y suroeste con una pma que oscila entre los 250-400 mm año⁻¹ y una tma inferior a 7,5 °C (Almonacid *et al.*, 2023).

Datos y Procesamiento

Se utilizó la base de datos de precipitación reticulada CRU TS v.4.06. Ésta dispone de datos mensuales generados a partir de observaciones in situ desde enero de 1901 hasta la actualidad, con

una resolución espacial de 0,5° (Harris *et al.*, 2020).

Para la caracterización de las sequías se utilizó el SPI con una escala temporal de 3 meses (SPI3). Se consideran los valores de SPI3 < -1 como condiciones de sequías y valores de SPI3 < -2 como condiciones de sequías extremas. El evento de sequía se definió como el período de meses continuo en el cual se cumple el criterio de sequía SPI3 < -1. Además, se calculó la frecuencia de eventos totales (FS) y eventos extremos totales (Fext) calculadas como la suma de la cantidad de eventos por década (ev/década); la duración media de los eventos (DS) calculada como el promedio de los meses que dura cada evento; y la severidad media (SS) de los eventos calculada como el valor medio de SPI3 para cada evento. Se consideraron dos periodos para el cálculo, un período pasado (1961-1990) y uno reciente (1991-2020). Los resultados se analizaron para cada una de las 11 regiones climáticas propuestas para la provincia de Santa Cruz por Almonacid *et al.* (2023).

Resultados y Discusión

La provincia de Santa Cruz presentó para ambos periodos de estudio entre 1,1 a 1,8 eventos totales de sequía por década, con una duración media entre 1-2 meses por evento. Al comparar ambos periodos se observó que las zonas con mayor cantidad de eventos variaron de un período a otro, así como también las zonas con eventos de mayor duración.

Dentro de las regiones climáticas, la ubicada en el extremo noreste de la provincia (región 1) presentó la mayor cantidad de eventos por década (Tabla 1, Figura 1), tanto para el período pasado como el presente. Siete de las 11 regiones climáticas de la provincia presentaron una mayor cantidad de eventos de sequía por década para el período más reciente, dejando en evidencia una región SW-NE con mayor cantidad de eventos totales de sequía en este período en comparación al período pasado (Figura 2a), con valores máximos de cambio de +0,5 ev/década; mientras que las regiones climáticas del sur de la provincia (regiones 5, 8 y 11) fueron las únicas que presentaron una menor cantidad de eventos de sequía por década para el período reciente (Tabla 1, Figura 1), donde la cantidad de eventos de sequía por década disminuyó en relación al período más antiguo, presentando hasta 0,5 ev/década menos (Figura 2a).

Tabla 1.- Características medias de las sequías para las regiones climáticas de Santa Cruz.

RC	FS	FS	Fext	Fext	DS	DS	SS	SS
	PA	PR	PA	PR	PA	PR	PA	PR
1	1.62	1.62	0.55	0.60	1.63	1.37	-4.39	-4.02
2	1.44	1.55	0.52	0.58	1.53	1.45	-4.77	-4.32
3	1.34	1.52	0.54	0.58	1.49	1.51	-5.03	-4.46
4	1.39	1.41	0.62	0.56	1.57	1.40	-4.93	-4.57
5	1.55	1.40	0.50	0.50	1.70	2.04	-4.55	-5.35
6	1.30	1.40	0.60	0.50	1.35	1.64	-4.89	-4.89
7	1.40	1.42	0.55	0.40	1.54	1.92	-4.82	-5.08
8	1.47	1.36	0.63	0.64	1.59	1.76	-4.69	-5.29
9	1.49	1.51	0.44	0.68	1.65	1.51	-4.70	-4.57

RC	FS	FS	Fext	Fext	DS	DS	SS	SS
	PA	PR	PA	PR	PA	PR	PA	PR
10	1.38	1.46	0.56	0.51	1.38	1.52	-4.70	-4.56
11	1.52	1.31	0.60	0.55	1.64	1.53	-4.65	-5.04

RC: Región climática; FS: frecuencia de eventos totales; Fext: frecuencia de eventos extremos; DS: duración media de los eventos; SS: severidad media de los eventos. PA: Periodo pasado; PR: periodo presente.

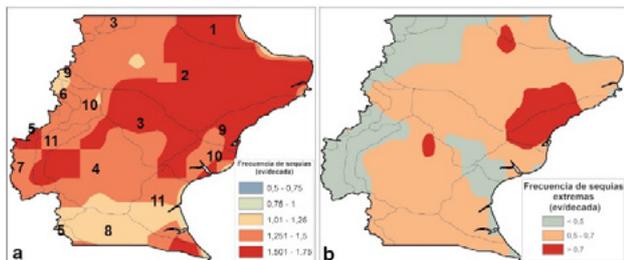


Figura 1.- Distribución espacial de los eventos totales de sequía (FS, a) y los eventos extremos de sequía (Fext, b) por década para el periodo reciente (1991-2020) en la provincia de Santa Cruz.

Con respecto a las sequías extremas (Fext), se pudo observar que la cantidad de eventos por década no varió entre ambos periodos para la mayor parte de la provincia (Figura 2b), sin embargo, si se presentaron diferencias en la región noreste de la misma, donde se observó una mayor cantidad de eventos de sequía extrema para el periodo presente, presentando hasta 0,5 eventos por década más que el periodo pasado (Figura 2b, Tabla 1).

La región oeste presentó una mayor duración media de los eventos de sequía en el periodo presente con una diferencia entre periodos de hasta +0,5 meses/evento. Para el resto de la provincia la duración media de los eventos de sequía resultó ser menor para el periodo presente (Figura 2c).

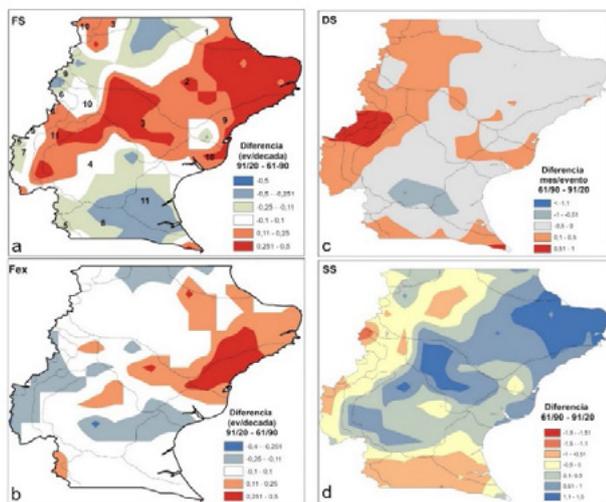


Figura 2.- Diferencias en indicadores de las sequías para dos periodos consecutivos de tres décadas: presente (1991-2020) y pasado (1961-1990) en la provincia de Santa Cruz. FS: Frecuencia de eventos totales; Fext: frecuencia de eventos extremos; DS: duración media de los eventos y SS: severidad media de los eventos.

Las regiones climáticas situadas en el oeste de la provincia (5 y 7) presentaron las mayores diferencias en la duración media de los eventos de sequía, con respecto al periodo pasado, con valores entre +0,34-0,38 meses/evento (Tabla 1). En forma opuesta a lo encontrado para la frecuencia de eventos, la región climática del extremo noreste de la provincia (región 1), fue la que mostró el mayor descenso en la duración media de los eventos con respecto al periodo pasado, dejando en evidencia que si bien la cantidad

de eventos no varió, si lo hizo la duración media de los mismos, siendo eventos más cortos (Tabla 1).

Las regiones climáticas del centro y noreste de la provincia, a pesar de ser aquellas con mayor frecuencia de eventos para el periodo reciente en relación al pasado, son las que presentaron menor severidad media de los eventos (Figura 2d, Tabla 1).

Conclusiones

El cálculo del índice SPI permitió analizar los patrones de cambio en la distribución de los eventos de sequía a lo largo de la provincia de Santa Cruz. Durante los últimos 60 años no se manifestaron grandes cambios en la frecuencia y duración de las sequías entre los periodos estudiados en la mayor parte de la provincia. Sin embargo, si se evidenciaron subregiones dentro de la provincia con un aumento en la cantidad de eventos totales y extremos de sequía como la región centro-noreste de la misma. Caso contrario ocurrió con las regiones ubicadas al sur de la provincia, donde los eventos por década disminuyeron con respecto al periodo pasado.

Resultado de interés conocer acerca de las características de las sequías y su potenciales impactos sobre los ecosistemas, la disponibilidad de agua y la productividad de los sistemas naturales; a fin de comprender como se presentaron estos eventos en el pasado; y que se espera hacia el futuro, para la adopción de estrategias de mitigación de estos efectos; más aún en regiones como el sur de Sudamérica donde se proyecta hacia el futuro el aumento en la cantidad de estos eventos, así como su duración y severidad.

Mediante el uso de estos indicadores y con el acceso a información actualizada de precipitación es posible monitorear este fenómeno y compararlo con un periodo de referencia, pudiendo permitir esto la identificación de regiones que puedan ser potencialmente impactadas por este fenómeno.

Referencias Bibliográficas

- Almonacid, L., Pessacq, N., Diaz, B., Bonfli, O. and P.L. Peri (2021). "Nueva Base de Datos Reticulada de Precipitación para la Provincia de Santa Cruz, Argentina". *Meteorológica* 64:27-54.
- Almonacid, L., Pessacq, N., Diaz, B., and P.L. Peri (2023). "Climate Regionalization of Santa Cruz province, Argentina". *Atmósfera* 37, 245-258.
- Fung, K.F., Huang, Y.F. and C.H. Koo (2020). "Assessing Drought Conditions Through Temporal Pattern, Spatial Characteristic and Operational Accuracy Indicated by SPI and SPEI: Case Analysis for Peninsular Malaysia". *Natural Hazards*, 103:2071-2101.
- Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P. and D. Lister (2020). "Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset". *Scientific Data* 7:109.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. and M. Widhalm (2011). "The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended". *Bulletin American Meteorological Society* 92(4):485-488.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and J. Kleist (2001). "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale". *Proceedings of the eighth conference on applied climatology*, Anaheim, California. American Meteorological Society, Boston, pp 179-184.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh (2010). "A Review of Drought Concepts". *Journal of Hydrology*, 391 (1-2): 202-2016.
- Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K. and R. Pulwarty (2014). "Managing Drought Risk in a Changing Climate: The Role of National Drought Policy". *Weather Clim Extremes* 3: 4-13.

EL RIEGO POR GOTEO EN EL ALTO VALLE DEL RIO NEGRO, UN COMPROMISO CON LA SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO

Alvar, Gabriel¹; Polla, Gabriela M.¹; Stangaferro, Sergio R.A.¹; Horne, Federico.¹

¹Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Cs. Agrarias, Departamento de Recursos Naturales, Ruta 151 km 12.5, (8303) Cinco Saltos, Río Negro, Argentina. Teléfono: 54 299-5815603. Correo electrónico: gabipolla@yahoo.com.ar

Introducción

La aplicación de herramientas tecnológicas modernas para mejorar la producción agropecuaria, no siempre da los resultados esperados, sobre todo si estas no han sido analizadas desde el punto de vista técnico-ambiental. Las condiciones de clima, suelo y agua ponen a los métodos de riego presurizados en compromiso con la sustentabilidad de los recursos naturales, pues en su implementación, es previsible una marcada tendencia a la salinización de tierras.

El establecimiento vitícola, donde se realizó el estudio, cuenta con un sistema de riego presurizado por goteo, donde son visibles signos de acumulación salina en los interfilares y síntomas de estrés hídrico en las plantas, que exigen buscar una metodología que ayude a entender los procesos que dan lugar en la zona de exploración radical, en relación con las condiciones climáticas y el manejo actual del agua para riego.

La mejora de la gestión del agua en un sistema de riego requiere la evaluación del desempeño del riego como punto de partida, los modelos de simulación son muy útiles para esta tarea.

En la agricultura moderna se ha incrementado el uso de modelos matemáticos que permiten caracterizar el movimiento del agua y el transporte de solutos en la zona no saturada, siendo necesario conocer las propiedades hidráulicas de los suelos, entre las que se encuentra la curva de retención de humedad (López-Cantefián *et al.*, 2010).

HYDRUS-1 (Simunek *et al.*, 2013), el modelo de simulación elegido para este trabajo, es un software de dominio público que simula el movimiento de agua, calor y solutos en una dimensión en un medio parcialmente saturado.

Uno de los objetivos de este trabajo es utilizar un modelo de simulación, con el fin de analizar si las precipitaciones son suficientes como lámina de lavado, y verificar si el sistema es sustentable a largo plazo.

Materiales y Métodos

El área de trabajo se encuentra ubicada a 3 km al Este de la localidad de Añelo, Provincia de Neuquén- Argentina, dentro de un establecimiento de producción de vid para vinificación (coordenadas geográficas: 38° 21'49.29" S; 68° 45'02.05" O).

Para realizar este trabajo se contó con información de 8 curvas de tensión-humedad, realizadas en el año 2005, producto de un estudio de suelos sobre el área.

Para obtener los 5 parámetros de la curva de retención que necesita el modelo HYDRUS-1, se utilizó el modelo RETC que permite estimar cada uno de ellos (van Genuchten, M.Th. *et al.*; 1991). Este procedimiento se realizó para los ocho sitios que poseían datos, utilizando los cuatro modelos disponibles en el programa. El criterio para la selección, del modelo de curva de retención que mejor ajusta, fue el cálculo de los coeficientes de determinación (R²) de cada uno. Los 5 parámetros determinados fueron contenido de agua residual (θ_r), contenido de agua de saturación (θ_s), α (es el valor inverso de entrada de aire), n (índice de distribución de tamaño de poros), y K_s (conductividad hidráulica saturada).

La distribución de raíces en el perfil se especifica en base a las observaciones realizadas en las calicatas de relevamiento. La

distribución en todos los casos fue 40, 30, 20 y 10 % de densidad radical, dichas densidades se distribuyeron a lo largo de profundidades de 0.20, 0.4, 0.6 y 0.8 metros respectivamente.

La evapotranspiración de referencia (ET_0) y la precipitación se obtuvieron de los datos proporcionados por el INTA-Alto Valle, periodo 2005-2006. A la precipitación se le sumo los aportes correspondientes al riego por goteo para cada situación.

El modelo, que se aplicará en este trabajo será el HYDRUS-1, este modelo permite describir y cuantificar las variaciones de humedad del perfil a lo largo del tiempo cuando interactúan componentes como la recarga por precipitación o riego, la evapotranspiración, la absorción de raíces, infiltración, aporte capilar desde lacapa freática, la presencia de sales, el tipo de suelo, entre lo más importantes. Utiliza la ecuación de Richards (Ecuación 1), se calcula discretizando espacialmente una "columna" del suelo, obteniéndose así la evolución de humedad, tensión, concentraciones y flujo en dicho espacio.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad [1]$$

Dónde; K es la conductividad hidráulica (LT^{-1}); z es la coordenada vertical (L), positiva hacia abajo; h es la altura de presión (L), función del contenido volumétrico de agua θ (L^3L^{-3}).

El modelo requiere definir condiciones de borde superior e inferior. En la parte superior se seleccionó "Atmospheric Boundary Condition with Surface Layer", el potencial de flujo de agua a través de la parte superior se controla por las condiciones externas, es decir involucra la dependencia entre el suelo y el exterior. La condición de borde inferior fue "Free Drainage", ya que no existe una capa freática que influya sobre el área. Las ecuaciones elegidas para la determinación de la curva de retención fue la de van Genuchten-Mualem (1980) sin histéresis.

En este trabajo, se estimó además la respuesta del rendimiento a la evapotranspiración de Doorenbos y Kassam (1979) (Ecuación 2):

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x} \right) = K_y * \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x} \right) \quad [2]$$

Donde:

K_y : factor de respuesta del rendimiento (adimensional). Y_a : rendimiento real. Y_x : máximo rendimiento de cultivo alcanzable en caso de la plena satisfacción de los requerimientos de agua de los cultivos. ET_a : evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar ($mm*d^{-1}$). ET_x : evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar ($mm*d^{-1}$)

El análisis de la productividad relativa permitirá determinar los rendimientos para distintos tipos de suelo, lámina de riego aplicada, intervalo de riego, salinidad del agua de riego, entre otros.

Una de las principales desventajas de los sistemas de riego por goteo, si la precipitación sobre la plantación es insuficiente para avar el suelo, son las altas concentraciones que se producen en la frontera del bulbo que podrían hacer redistribuir las sales y poner

en peligro el normal desarrollo del cultivo ya sea por una lluvia prolongada, salida de la operación de sistema de riego o brusca elevación de la capa freática

Analizar el efecto de las sales sobre el perfil es otra de las potencialidades del modelo. Para cumplir con este objetivo, con los datos relevados a campo se determinó, para un horizonte de 10 años, si el manejo de riego actual es sustentable en el tiempo. Para esto se ingresaron al modelo datos como: lámina de riego del gotero, evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, distribución de raíces y concentración salina del agua de riego, entre los datos más importantes. El periodo analizado fue de setiembre de 2005 a setiembre de 2006 (año testigo), repetido 10 veces, ya que se fijó que eran 10 años para el análisis. Se supuso, además, que las condiciones del año testigo eran representativas para la totalidad del periodo a los efectos de considerar un análisis a largo plazo.

La concentración de sales del agua de riego se asumió de 0.23 dS/m, similar a la que posee la fuente de abastecimiento (Río Neuquén), y sin concentración inicial de sales en el perfil de suelo, situación más conservadora en el análisis.

Con esta información se realizaron 3 simulaciones, cada una con suelos de distinta textura: arcillosa, franco y arenosa.

Mediciones recientes (2023), confirman la tendencia a la salinización, con concentraciones en los interlineos de hasta 40 dS/m.

Resultados

En relación a los modelos para determinar los parámetros de la curva de retención el de van Genuchten – Mualem es el que presentó mejor ajuste, en correspondencia con lo que indica la bibliografía (Ruiz *et al.*, 2006; López-Canteñs *et al.*, 2010), donde se indica que hay una mejor correlación entre las curvas de retención obtenidas experimentalmente y las estimadas empleando dicho modelo.

A partir del cociente entre la evapotranspiración real acumulada y la infiltración de todo el periodo (Septiembre 2005-marzo 2006) (Tabla 1), se determinó la eficiencias de aplicación en cada sitio estudiado, ambos datos se extraen del modelo HYDRUS-1.

Tabla 1: Eficiencia de aplicación

Sitio	ETP Real Acumulado [mm]	Infiltración [mm]	Eficiencia de Aplicación [%]
B2SUR	722	738	97.83
B2 CENTRO	445	738	60.30
A3	254	738	34.42

Posteriormente se estimaron los rendimientos relativos (RR)(Tabla2).

Tabla 2: Rendimientos (%)

Sitio	K_v	EVT Pot Acum (mm)	EVT Real Acum (mm)	RR (%)
Suelo arcilloso	0.85	741	141	31.17
Suelo arenoso	0.85	741	625	86.69
Suelo franco	0.85	741	741	100

En la Figura 1 se graficó la evolución de la concentración de sales a lo largo de los 10 años, los resultados indican en suelo arcilloso (1), se observa un valor máximo de 7 dS/m y con tendencia creciente sobre la zona de desarrollo radicular. En el caso del suelo franco (2), el valor asciende a 6.5 dS/m pero tiende a hacerse constante en el tiempo y para suelos arenosos (3), el máximo valor asciende a 4 dS/m, tendiendo en el tiempo a un valor constante.

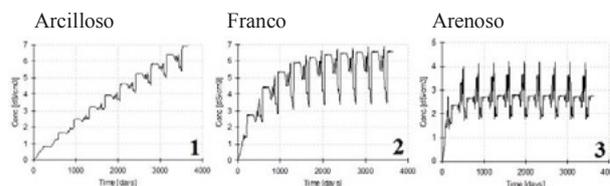


Figura 1: Evolución de la concentración de sales (10 años) en la zona de raíces en suelos arcilloso, franco y arenoso, respectivamente.

Conclusiones

- ✓ Al regar con una lámina diaria de riego que representa la media de los valores de evapotranspiración diarios para cada mes, es posible alcanzar buenos rendimientos del cultivo de vid en suelos de texturas medias (franco).
- ✓ En cuanto a los suelos de texturas más finas, que presentan una menor permeabilidad, es posible obtener mejores rendimientos si se suministra el volumen de riego a pulsos.
- ✓ Si se analiza el efecto de sales a largo plazo (10 años), en ninguno de los casos analizados (suelos arcilloso, franco o arenoso) es suficiente la precipitación que se produce en el área, para lavar las sales. Se necesita implementar un sistema de riego adicional (p.ej riego por aspersión) que permita el lavado de sales previo al inicio del periodo productivo (Figura 1).
- ✓ De los 3 suelos analizados (arenoso, franco y arcilloso) a largo plazo, el más desfavorable es el arcilloso dado que los valores máximos alcanzan 7 dS/m con una tendencia creciente.
- ✓ Si se presentan heterogeneidades en el suelo, no deben ser pasadas por alto al momento de realizar el diseño y plantear el manejo agronómico, ya que como se observó, existen diferencias en el flujo de agua y el movimiento de solutos de acuerdo a la textura.
- ✓ La aplicación y el uso indebido de las tecnologías, como lo es el riego por goteo, pueden traer aparejados inconvenientes que no garanticen la sustentabilidad a mediano y largo plazo

Referencias Bibliograficas

- López-Canteñs G., Herrera-Puebla J., Ostos-Santos A., Lizarraga-Mendiola L., Hernández-Avila J. (2010). Aplicación de modelos matemáticos para la obtención de la curva de retención de humedad del suelo. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6 (1): 44-50.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). FAO irrigation and drainage paper No. 33 "Yield response to water". FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Ruiz M. E., Medina, H., Herrera, J. (2006). Métodos empleados en Cuba para determinar las propiedades hidráulicas de suelos. *TERRA Latinoamericana* 24(3): 311-318.
- Simunek J., Sejna M., Saito H., Sakai M., and van Genuchten M. (2013). The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 4.17. *Department of Environmental Sciences, University of California Riverside*. Riverside California. 343 p.
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892-898.
- Van Genuchten M., Leij, F., Yates S. R. (1991). The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Salinity Laboratory, USDA, ARS, USA. 55 p

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO PARA SITUACIONES DE EXCESO Y DÉFICIT HÍDRICO EN UNA CUENCA SERRANA

Camila B. Anselmino^{ab1}, Evelin A. Gonzalez Fuentes^{ab2}, Lucía de Antueno^{ab} y Fernanda J. Gaspari^{ab}

^a Curso Manejo de Cuencas Hidrográficas, FCAyF, UNLP, ARGENTINA.

^b Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), UNLP, ARGENTINA.

¹camila.anselmio@agro.unlp.edu.ar ²evelin.gonzalez@agro.unlp.edu.ar

Resumen

El análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca permite cuantificar su dinámica ante eventos de precipitación y evidenciar situaciones de exceso o déficit hídrico. Este estudio se llevó a cabo en la Cuenca Alta del Arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires, que abarca una superficie de 331 km²; donde se realizan diferentes actividades agrícolas-ganaderas y turismo, que influyen en la respuesta hídrica de la cuenca. El objetivo general del trabajo fue analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca ante eventos extremos. Para analizar dicho comportamiento, se recurrió a modelos de simulación lluvia-escorrentía, como el software HEC-HMS, con el que se realizaron simulaciones que involucraron tormentas sucedidas en el año 2013, registradas en la estación meteorológica La Esperanza, ubicada en la zona de estudio. Se aplicó el método del Número de Curva, desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, para la transformación lluvia-caudal. El método requiere información sobre el uso del suelo y/o cobertura vegetal, textura edáfica (Grupo Hidrológico) y condición de humedad antecedente (CHA). Las modelaciones se realizaron para las CHA: suelo seco, medio y húmedo. Los eventos utilizados fueron: uno extremo de 149,4 mm/5 h (A), una tormenta media de 43,8 mm/5 h (B), y se determinaron tres tormentas teóricas, donde iniciara la respuesta hidrológica de la cuenca (C1 seco, C2 medio y C3 húmedo). En conclusión, el comportamiento hidrológico de la cuenca depende no solo de la intensidad de la tormenta, sino también de la condición de humedad antecedente del suelo, y en consecuencia del número de curva asignado a cada situación.

Introducción

El análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca permite cuantificar su dinámica ante eventos de precipitación y evidenciar situaciones de exceso y/o déficit hídrico.

La variabilidad en la respuesta a la escorrentía en una cuenca está dada por la interacción de distintos factores. Entre los mismos se pueden mencionar las diferencias en la distribución espacial de las tormentas y la intensidad pluvial (Ares et al., 2012).

El caso en estudio es la Cuenca Alta del Arroyo Napaleofú (CAAN) se encuentra al sudeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), entre los partidos de Tandil, Lobería y Balcarce; comprende una extensión de 331 km² y está definida por trece subcuencas.

El objetivo del trabajo fue analizar el comportamiento hidrológico de la CAAN para eventos extremos.

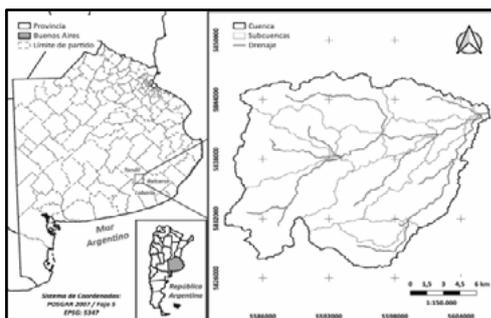


Figura 1. Ubicación de la CAAN.

Materiales y métodos

Para la modelización hidrológica se utilizó el software HEC-HMS versión 4.2.1, que es un sistema matemático de modelado diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software incluye procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas unitarios y enrutamiento hidrológico (CIH, 2017).

El escurrimiento superficial se determinó por medio de la implementación del método del Número de Curva (NC) en un módulo del HEC-HMC. El método NC es un procedimiento ampliamente utilizado para estimar el exceso/pérdida de precipitación que tiene en cuenta el uso de la tierra y los tipos de suelo. Los procedimientos de NC se derivaron empíricamente de estudios de pequeñas cuencas agrícolas (HEC-HMS, 2023). Dicho método requiere información sobre vegetación y uso del suelo, textura edáfica (porcentaje de arena, limo y arcilla) y de la condición de humedad antecedente del suelo (CHA), después de 5-10 días de ocurrida una precipitación (Gaspari et al., 2013). En función de ello, se asignaron valores de NC, de 0 a 100, considerando que los más altos indican que predomina el fenómeno de escorrentía por sobre la infiltración. Los NC asignados variaron en función de la CHA. Como situación de exceso (suelo húmedo) se utilizó la condición III, y como déficit (suelo seco) la condición I; siendo la condición media, II.

Por un lado, se seleccionaron dos tormentas reales, con duración de cinco horas, registradas en la estación meteorológica La Esperanza ubicada en la cuenca, las mismas fueron: A (43,8 mm) y B (149,4 mm). Ambas tormentas se modelaron para los NC asignados en las tres CHA y se lograron las seis respuestas hidrológicas modeladas con el programa HEC-HMS.

Por otro lado, con los valores de NC ya asignados a las distintas CHA, se buscó, por medio del método iterativo de modelación, la tormenta que presentara una respuesta hidrológica en cada una de las trece subcuencas. Para ello, se consideró como condición de control que en la cuenca se genere un caudal pico de al menos 40 m³/s. Las tormentas creadas fueron de 54 mm para la CHA I, 29 mm para la CHA II y de 12,6 mm para la CHA III utilizadas para la modelación con el HEC-HMS.

En la Figura 2, se observan las variaciones de los mm llovidos para las distintas tormentas (A, B, C1, C2 y C3), dividido en intervalos de 30 minutos durante el período de ocurrencia.

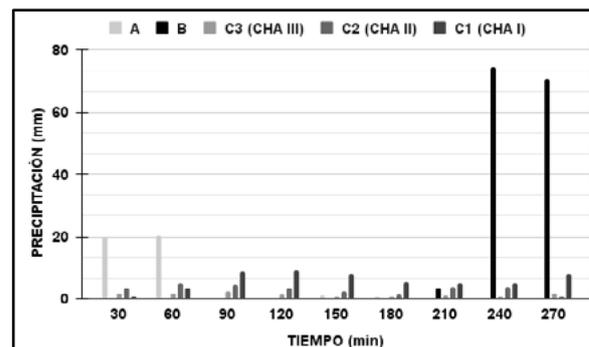


Figura 2. Comparación de las cinco tormentas modeladas.

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos de las modelaciones realizadas con HEC-HMS se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la modelación a la salida de la cuenca.

CHA	Tormenta	Caudal pico [m ³ /s]	Tiempo [hs]
I	A	9,1	7:00
	B	1007,1	7:30
	C1	41,2	9:00
II	A	151	5:00
	B	1886,9	7:00
	C2	41,7	8:30
III	A	507,7	4:00
	B	2731,8	7:00
	C3	40	8:00

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y observando la Tabla 1, se considera que la tormenta A para la CHA I, genera una respuesta hidrológica en el territorio estudiado, pero menor a las condiciones de control, por ello ha sido descartada.

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los hidrogramas totales generados en las tres CHA, obtenidos en la modelación. Para el caso de las tormentas C, se observa que el caudal erogado es similar en los 3 casos; mientras que varía en las tormentas A y B. Se observa, además, la respuesta de la cuenca a cada tormenta y el momento de ocurrencia del pico. Para el caso de la tormenta A, la ocurrencia del pico de caudal, varía dependiendo de CHA; como ser: en la condición seca ocurre luego de 7 horas de duración, en la condición media luego de 5 horas y en la condición húmeda, luego de 4 horas.

Se logró el objetivo del trabajo que fue analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca en situaciones extremas mediante la variación de la intensidad de la tormenta según el estado hídrico del suelo.

Como era de esperarse, el CHA es un factor que incide en forma directa sobre la velocidad de infiltración, ya que disminuye a medida que el contenido de agua en el suelo aumenta. Por ello, en la condición seca (I), el escurrimiento es menor en volumen y en caudal, debido a que en el suelo prevalece el fenómeno de infiltración por sobre la escorrentía (NC más bajos). Por otro lado, en la condición húmeda (III), al encontrarse el suelo saturado, predominará la escorrentía por sobre la infiltración (NC más altos).

Para tormenta A, el momento de ocurrencia del pico de caudal en el hidrograma, varía de forma proporcional a la intensidad de la tormenta. Sin embargo, para precipitaciones altas (B) el momento de ocurrencia del pico se mantiene constante, sin importar la condición hídrica de la cuenca al momento de iniciar la tormenta. En cuanto a las tormentas C, no es comparable el momento del pico ya que fueron tormentas creadas y no mantuvieron la curva de precipitación.

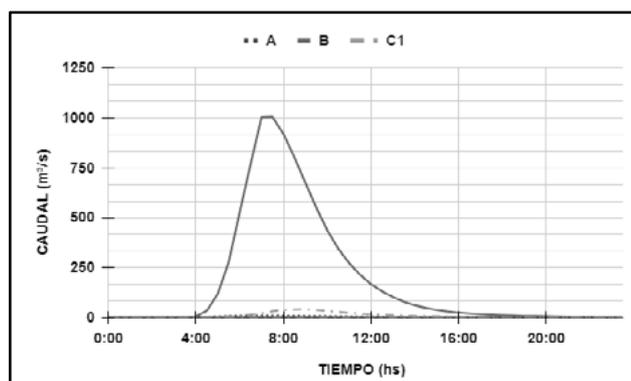


Figura 3. Hidrogramas totales de las tormentas para la condición seca.

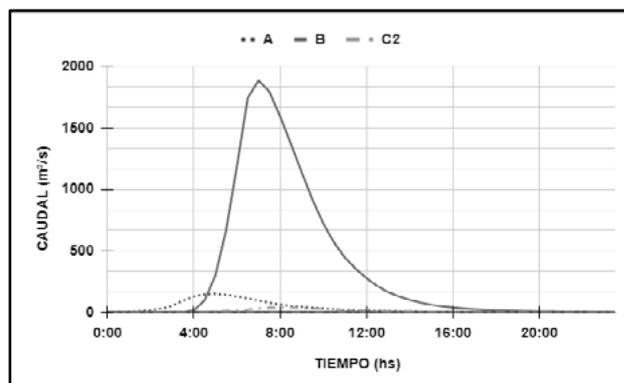


Figura 4. Hidrogramas totales de las tormentas para la condición media.

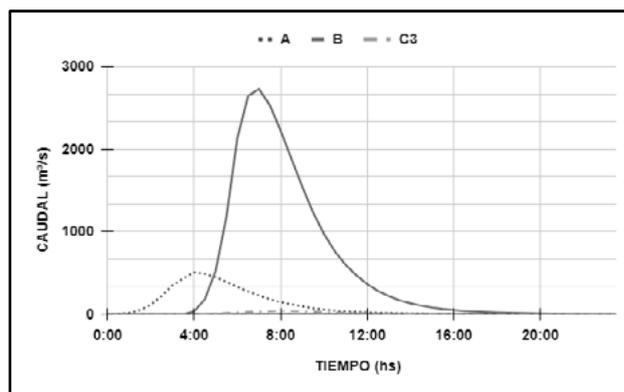


Figura 5. Hidrogramas totales de las tormentas para la condición húmeda.

Referencias Bibliográficas

- Ares, M. G.; Chagas, C.; Varni M. (2012). *Predicción de la escorrentía y estimación de la humedad antecedente en una cuenca aforada*. Ciencia del suelo versión On-line ISSN 1850-2067. 10 pp.
- CIH. Centro de Ingeniería Hidrológica. (2017). Página web: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>.
- Gaspari, F.J.; Rodríguez Vagaría, A. M.; Senisterra G. E.; Delgado M. I.; Besteiro S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Curso de manejo de cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 188 pp.
- HEC-HMS. (2023). *Tutorials and Guides. Applying the Initial and Constant Loss Method*. USACE Hydrologic Engineering Center Disponible en: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsguides/gis-tutorials-and-guides/importing-gridded-scs-curve-number-in-hec-hms>

MEDICIÓN DE CAUDALES EN CAMPO MEDIANTE EL USO DE INSTRUMENTAL DE DIFERENTE TECNOLOGÍA

V. Barbero ⁽¹⁾, P. Toscani ⁽²⁾, J. Aragón ⁽³⁾

Autoridad Del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA), La Plata, Argentina

⁽¹⁾ vbarbero@ada.gba.gov.ar

⁽²⁾ toscanipf@ada.gba.gov.ar

⁽³⁾ jaragon@ada.gba.gov.ar

Introducción

La Red Hidrométrica de la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires consiste en estaciones de medición a lo largo de ríos y arroyos. Estas estaciones miden variables como el caudal y la calidad del agua. Se utilizan diferentes equipos, incluyendo molinetes mecánicos y dispositivos acústicos como el Flowtracker 2 y el Acoustic Doppler Current Profiler. Se han realizado comparaciones entre estos equipos para evaluar ventajas y desventajas.

Equipos utilizados

El molinete mecánico (Figura 1) es un dispositivo utilizado para medir la velocidad de una corriente de agua. Funciona a través de paletas que giran según la velocidad del agua, y se utiliza una ecuación para calcular la velocidad. Se deben considerar factores como la inmersión del molinete, su posición y la velocidad de la corriente para obtener mediciones precisas. El molinete tiene ventajas como su simplicidad y capacidad para medir en diferentes corrientes, independientemente de la contaminación del agua. Sin embargo, tiene desventajas como el tiempo y esfuerzo requeridos en cauces grandes y profundos, así como la exposición al tráfico vehicular. Además, se deben realizar cálculos adicionales para obtener las velocidades y caudales.



Figura 1.- Molinete mecánico

El Flowtracker 2 (Figura 2) es un dispositivo diseñado para medir la velocidad del flujo del agua en ríos y corrientes cuando su profundidad es reducida, realizando aforos por vadeo. Funciona bajo el principio de emisión y recepción de ondas ultrasónicas, que se transmiten del transmisor al receptor a través del agua. La velocidad del flujo de agua se calcula midiendo el tiempo que tarda la onda ultrasónica en viajar entre los dos transductores, que se encuentran en posiciones opuestas.

Cuando se utiliza en campo, el FT2 se sumerge en el agua y se fija a un soporte estable. Luego se inclina para apuntar los transductores hacia la dirección del flujo del agua, lo que permite medir la velocidad en la dirección de la corriente. La ventaja de este dispositivo es que ofrece mediciones precisas y reproducibles de la velocidad del flujo del agua con resultados in situ sin necesidad de tareas de gabinete.

Sin embargo, una de las desventajas del FT2 es que la medición de la velocidad del flujo del agua puede ser influenciada por diferentes factores, como la turbulencia, la presencia de obstáculos en la corriente de agua y la estabilidad del cauce.



Figura 2.- Dispositivo Flowtracker 2

El ADCP S5 (Figura 3) es un instrumento utilizado para medir corrientes en cuerpos de agua, utilizando la técnica de perfilamiento Doppler. Emitiendo ondas acústicas de alta frecuencia hacia el fondo del río, mide la velocidad de retorno de estas ondas para determinar la velocidad y dirección de las partículas en movimiento en la columna de agua. Se monta en una embarcación y se desplaza en un patrón preestablecido para obtener mediciones detalladas de alta resolución espacial y temporal. Las desventajas del ADCP S5 incluyen la alta complejidad técnica y la necesidad de comunicación inalámbrica entre el dispositivo y el dispositivo de registro. Además, cuando el agua transporta mucho material particulado, las mediciones pueden no ser confiables. A pesar de las desventajas, el ADCP S5 ofrece una comprensión detallada de los patrones de circulación del cuerpo de agua y es una herramienta útil para medir corrientes.



Figura 3.- Equipo ADCP S5

Aplicación en campo y comparaciones

Se han realizado comparaciones entre diferentes equipos de medición utilizados para las tareas de aforo, específicamente en su aplicación en el campo. Estas comparaciones se basan en las condiciones físicas del entorno sin adentrarse en detalles sobre el comportamiento hidráulico.

Se busca realizar las mediciones con los tres equipos existentes de forma simultánea, pero esto dependerá de las condiciones del entorno, las características del cauce y la seguridad de los operarios. Además de comparar los dispositivos en cuanto a técnica y precisión, también se debe considerar la seguridad para determinar el equipo adecuado para cada caso.

El Flowtracker 2 es útil para cauces con tirantes máximos de hasta ochenta centímetros y velocidades lo suficientemente bajas para no requerir el uso de un molinete mecánico. Sin embargo, al ser un método de medición por vadeo, se debe considerar el tipo de suelo del lecho, ya que la seguridad y la turbiedad generada por el movimiento del agua pueden afectar los resultados.

Para cauces más profundos, se utiliza con mayor frecuencia el ADCP S5, que no requiere que los operarios ingresen al agua. Sin embargo, se debe tener en cuenta la logística necesaria para su aplicación, ya que el equipo debe calibrarse junto a la orilla del curso de agua en cada nuevo sitio de medición. Bajar el equipo a la orilla puede resultar complicado debido al ancho de la sección transversal, la presencia de estructuras y las velocidades superficiales altas.

El molinete mecánico se utiliza cuando los otros equipos no son adecuados. Aunque es menos tecnológico, menos preciso y requiere más esfuerzo físico, puede ser el único equipo utilizable en ciertas condiciones del entorno y características del cauce. Sin embargo, hay situaciones donde su uso no es seguro, como el aforo desde puentes con un gran tránsito vehicular.

En resumen, se consideran diferentes equipos de medición para tareas de aforo en función de las condiciones del entorno, las características del cauce y la seguridad de los operarios. Cada equipo tiene sus ventajas y desventajas, y la elección depende de la situación específica.

En cuanto a resultados se comprobó que los mismo no difieren en magnitudes considerables, según los aforos efectuados en distintos lugares con los tres (3) equipos mencionados.

Se presentarán como ejemplo mediciones realizada en el arroyo Azul, en el Canal 9 y en el río Arrecifes en noviembre de 2022; en el río Arrecifes en enero de 2023 y en el Río Negro en marzo de 2023.

En el caso del arroyo Azul la sección aforada se ubica a las orillas de la RNN 3 detrás del seminario Diocesano, presentando un ancho de aproximadamente 10 metros con un tirante máximo de 0.9 metros.

La sección de aforo del Canal 9 se ubica en el partido de Dolores sobre el camino fruticultura, contando al momento del aforo (enero 2023) con un ancho de 25 metros y un tirante máximo de 1,2 metros. Aquí se comparó aforo realizado con ADCP S5 y con molinete mecánico.

La sección de aforo del río Arrecifes, está ubicada en el balneario de dicha localidad, con un ancho de aproximadamente 40 metros y un tirante de 0.7 metros al momento del aforo. En esas condiciones se realizó una comparación con molinete mecánico y con ADCP S5 (noviembre de 2022).

Se volvió a medir en este sitio en el mes de enero de 2023, pero en esta ocasión el río presentaba un tirante de aproximadamente 0.3 metros, por consiguiente, se aforó con un molinete mecánico y con Flowtracker 2.

La sección de aforo del río Negro, ubicada en Carmen de Patagones-Viedma, posee 200 metros de ancho, contando con una profundidad en el momento de la medición de 14 metros, utilizándose el ADCP S5 y el Molinete mecánico para la tarea.

Lugar	Fecha	Equipo			Diferencia [%]
		ADCP S5	FT2	Molinete	
		Caudales [m³/s]			
arroyo Azul	nov-22	1.69	1.78	-	5
		1.69	-	1.61	4.7
		-	1.78	1.61	9.5
Canal 9	ene-23	12.55	-	12.71	1.2
río Arrecifes	nov-22	2.89	-	3.02	4.3
	ene-23	-	2.32	2.58	10
Río Negro	mar-23	980.7	-	1016.71	3.4

Tabla 1.- Resultados obtenidos

Se puede observar en el caso de la medición simultánea con ADCP y Molinete, que la diferencia de magnitud entre los resultados no supera el 5%. Cabe destacar que la diferencia no se vuelve significativa en arroyos poco caudalosos, tomando relevancia en casos de cauces caudalosos, como en el del Río Negro.

En la comparativa del Flowtracker 2 con el molinete mecánico, la diferencia de magnitud no es mayor al 10%, y tratándose de cursos de agua de poca envergadura, esto no representa un impacto significativo. En este caso puede considerarse que la diferencia se encuentra dentro de los márgenes de error razonables de los instrumentos de medición.

Conclusiones

En resumen, el Flowtracker 2 es útil para ríos poco profundos con caudales bajos, mientras que un ADCP es más avanzado y puede medir caudales con precisión en una gama más amplia de condiciones. El molinete mecánico tradicional sigue siendo un dispositivo fiable, pero requiere más trabajo físico en comparación con las otras opciones.

Si tratamos cuestiones relacionadas al entorno, existen casos en los que la utilización del Flowtracker y ADCP no son posibles, mientras que en esos casos el molinete es aplicable.

Con respecto a la precisión de la medición todos los equipos muestran resultados similares cuya diferencia se puede asociar a la sensibilidad de cada uno de ellos y a errores humanos.

Por último, se puede decir que todos los dispositivos son vitales para la institución en la determinación de caudales, donde cada uno prevalece sobre el otro en función del contexto en que se realiza la medición. Luego, sin importar la tecnología empleada se puede concluir que los resultados arrojados por las distintas tecnologías son adoptados como válidos para la gestión de los recursos hídricos.

Bibliografía

Guía de prácticas hidrológicas (2020) “Volumen I Hidrología – De la medición a la información hidrológica”, Organización Meteorológica Mundial (OMM), OMM-N°168, pp. 168-172.

Langmann, F (1956) “Los estudios hidrológicos en los Estados Unidos de Norte América”, Ministerio de Obras Públicas, Buenos Aires.

U.S. Geological Survey (2012) “Processing ADCP Discharge Measurements On-site and Performing ADCP Check Measurements” Office of surface water technical, Reston, Virginia.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA ASOCIADAS A LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DEL ARROYO COMALLO (RIO NEGRO, ARGENTINA)

Aramayo, Valeria¹; Cremona, M. Victoria¹; Enriquez, Andrea S.² y Nosetto, Marcelo D.³

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria Bariloche.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Bariloche - Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche (IFAB) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INTA-CONICET).

³Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL) - Universidad Nacional de San Luis - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNSL-CONICET).
Argentina.

E-mail: aramayo.valeria@inta.gov.ar

Introducción

La gestión integral de los recursos hídricos es fundamental para la adecuada planificación de su uso en poblaciones rurales y aguas abajo. Para ello, es necesario aumentar el conocimiento de la respuesta hidrológica a nivel de cuenca, aspecto poco estudiado en zonas áridas de Río Negro, Argentina. Dado que la escasez de agua es un problema reconocido en la región, que existe susceptibilidad a erosión hídrica y que en el contexto de cambio climático puede cambiar el régimen de precipitaciones, en este trabajo buscamos comprender: ¿qué parámetros de la morfometría de las cuencas nos permiten inferir su respuesta hidrológica? El objetivo fue evaluar la relación entre características geofísicas y caudales en arroyos de la norpatagonia árida.

Metodología

Área de estudio

Las nacientes del arroyo Comallo, ubicado 700km al oeste de la capital provincial. Aguas abajo del área de estudio se ubica la localidad de Comallo, con 1497 habitantes, según Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (2010), que se abastecen de este sistema. La cuenca alta del arroyo (41.02° Sur; 70.2° Oeste) tiene aproximadamente 2.000 km² de topografía quebrada, y altitudes entre 700 y 1990 m s.n.m. La precipitación anual media es de 224 mm y las temperaturas medias son de 16.4°C para enero y de 2.3°C para julio. El arroyo Comallo tiene pocos afluentes y marcadas variaciones de caudal. En la cabecera de la cuenca nacen tres arroyos: el arroyo Quintupanal, que nace en la ladera oeste del cerro Anecón Grande, el arroyo Anecón, que nace en la ladera oriental, y el arroyo del Corral que se une al río y luego desembocan en el Comallo (Figura 1).

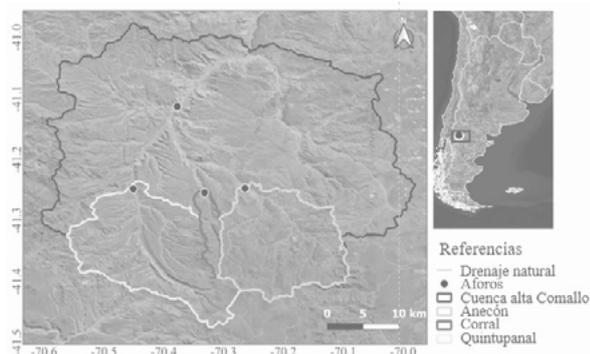


Figura 1. Área de estudio.

Mediciones de caudal

En los tres arroyos se midió el caudal con mediciones de la altura de agua (h) registrada con sensores dataloggers HOBO® en secciones regulares, durante 2018 y 2019. A su vez, se ajustó una curva de gasto (h/caudal) en base a la altura y la velocidad medida con flujómetro Global Water®, de cada curso de agua en 4 fechas. La verificación de ajuste entre valores observados y predichos se realizó para los tres arroyos en conjunto con buen ajuste para el modelo lineal ($R^2 = 0.98$, $n=12$). Una vez obtenidas las series de caudal, en mm/día, calculamos el promedio, máximos y mínimos, y luego descompusimos el caudal total entre caudal base y caudal pico mediante el filtro digital recursivo de la metodología de separación de flujos de Arnold y Allen (1999). Informamos los caudales específicos de cada serie, es decir, divididos por el área de cada sub-cuenca, y las proporciones de caudal máximo y pico respecto del caudal medio, para relativizarlos y hacerlos comparables entre arroyos.

Caracterización morfométrica

Las sub-cuencas se caracterizaron morfométricamente según parámetros obtenidos del procesamiento del modelo digital del terreno SRTM en el software QGIS. En base a la morfometría, se calcularon índices relacionados a la generación de escurrimiento: densidad de drenaje, frecuencia de cauces, compacidad, bifurcación, relación de longitud de cauces, coeficiente de torrencialidad, y coeficiente de almacenamiento hídrico (Horton 1945, Reyes Trujillo et al. 2010, Busnelli y Horta 2014).

Para comprender en qué medida se relacionan los valores de caudal medio (Q_m), máximo (Q_{max}) y pico (Q_p) con las medidas morfométricas detalladas en la sección anterior, se realizaron análisis de correlación para todos los parámetros, índices y la suma de cinco índices con Q_m , proporción Q_{max}/Q_m y proporción Q_p/Q_m . La significancia se evaluó de acuerdo a los valores del coeficiente de correlación de Pearson con $\alpha = 10\%$.

Resultados

Los caudales específicos para los años 2018 y 2019 en los tres arroyos fueron de 1 y 4 mm/año en Quintupanal, 4 y 8 mm/año en el Corral, y 20 y 19 mm/año en Anecón, respectivamente. Los máximos en ese periodo fueron de 0.49 mm/día en Quintupanal, 0.06 mm/día en el Corral, y 0.79 mm/día en Anecón. Por su parte la proporción del caudal pico/caudal medio representó el 30% en Quintupanal, el 14% en el Corral y 50% en Anecón.

Los parámetros morfométricos denotaron tamaños distintos entre sub-cuencas, con la sub-cuenca del Corral de menor

tamaño que las otras dos. La red de drenaje en esta sub-cuenca tiene una longitud de cauces entre 3 y 4 veces menor a Quintupanal y Anecón. Las sub-cuencas Anecón y Quintupanal fueron semejantes en cuanto a los parámetros morfométricos y no así para los índices. Los índices relacionados al potencial de erosión y la peligrosidad de crecidas como la frecuencia de cauces, el índice de compacidad y el coeficiente de torrencialidad, son mayores en la sub-cuenca Anecón que en las otras. Por su parte el coeficiente de almacenamiento hídrico, que representa el nivel de atenuación de crecidas, es menor en Anecón y mayor en el Corral (Tabla 1).

Las correlaciones significativas entre parámetros e índices con los caudales fueron: la longitud axial de la cuenca y la densidad de drenaje con la proporción Q_p/Q_m , y la densidad de drenaje con la proporción Q_{max}/Q_m . Otras correlaciones elevadas, pero no significativas (para $\alpha = 10\%$), se dieron entre la longitud del canal principal y Q_p/Q_m , y la relación de longitud de cauces y Q_p/Q_m . Los demás parámetros e índices no mostraron correlaciones significativas con los caudales (Tabla 1).

Discusión

La integración de las características físicas de las cuencas y de las mediciones de caudal in situ para esta región semiárida permitió distinguir parámetros e índices morfométricos relacionados a la posible respuesta hidrológica de las cuencas. La importancia de esta evaluación radica en la accesibilidad a la información satelital y su procesamiento que reducen costos y tiempo para el abordaje de cuencas en comparación con las mediciones a campo. En este trabajo encontramos que la longitud axial de la cuenca guarda relación con la proporción de caudal pico sobre el caudal medio. Lo mismo para los índices de densidad de drenaje y en menor medida para la relación de longitud de cauces. Esto implica que conocer la red de drenaje y sus dimensiones puede aproximarnos al comportamiento hidrológico en otras cuencas de regiones semiáridas y régimen de precipitaciones similar.

Por otra parte, cabe destacar que el número de cuencas medidas en este estudio es muy acotado y podría lograrse mejores ajustes ampliando la cantidad de casos. Ante la escasez de registros hidrológicos regionales, esta información permite avanzar con mayor seguridad en la comprensión de la posible respuesta hidrológica mediada por las características físicas de la cuenca. Los esfuerzos puestos en la comprensión de procesos hidrológicos tienen implicancias en la previsión de la disponibilidad de agua en la producción y el bienestar de las familias rurales.

Referencias

- Arnold, J. G. y Allen, P. M. (1999). "Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records". Journal of the American Water Resources Association, Vol 35, No. 2, pp. 411-424.
- Busnelli, J. y Horta, L. R. (2014). "Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial, Tucumán". Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol 71, No.1, pp. 11-20.
- Horton, R. E. (1945). "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology." Bulletin of the Geological Society of America, No.56, pp. 275-370.
- Reyes Trujillo, A., Barroso, F. U. y Carvajal Escobar, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Programa Editorial UNIVALLE.

	Sub-cuenca			r		
	ANECÓN	CORRAL	QUINTUPANAL	Q_{max}/Q_m	$Q_{máximo}/Q_m$	Q_{base}/Q_m
Parámetros morfométricos						
Área (km ²)	278	35	326	0.13	0.79	0.90
Perímetro (km)	82	38	96	0.05	0.83	0.93
Longitud total drenaje (km)	127	14	175	-0.01	0.87	0.95
Longitud del canal principal (km)	27	8	32	0.10	0.80	0.91
Desnivel (m)	1000	705	1020	0.23	0.72	0.85
Longitud axial (km)	22	15	27	-0.14	0.92	0.98*
Nº de cauces de orden 1	31	2	33	0.23	0.72	0.85
Nº de cauces – todos los órdenes	61	3	65	0.23	0.72	0.85
Pendiente de los cauces (%)	2.62	2.04	2.51	0.45	0.54	0.71
Índices morfométricos						
1) Densidad de drenaje (km/km ²)	0.46	0.40	0.54	-0.34	0.98*	0.99*
2) Frecuencia de cauces	0.22	0.09	0.20	0.41	0.57	0.74
3) Índice de compacidad	1.39	1.81	1.50	-0.52	-0.47	-0.65
4) Índice de bifurcación	4.79	2.00	3.40	0.72	0.23	0.43
5) Relación de longitud de los cauces	0.45	0.41	0.46	-0.01	0.87	0.95
6) Coef. de torrencialidad	0.11	0.06	0.10	0.45	0.54	0.71
7) Coef. de almacenamiento hídrico	0.09	0.21	0.14	-0.62	-0.36	-0.56

Tabla 1.- Características morfométricas y su correlación (r) con los caudales de las tres sub cuenca

ACTUALIZACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE CRECIDAS DEL RÍO SALADO EN RUTA PROV. N° 70 - SANTA FE

A. Arbuet, R. Pedraza, G. Ferreira, A. Spais, E. López, I. Cristina, E. Elizalde Carrillo

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) – UNL, Santa Fe, Argentina
E-mail: alearbuet@gmail.com.ar, ferreiragust@gmail.com, spaisagustina@gmail.com, emiliano.lopez@gmail.com, tato71.ic@gmail.com, estebanec@gmail.com

Introducción

El presente trabajo fue realizado por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral a solicitud del Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat (MISPyH) de la provincia de Santa Fe.

El objetivo fue realizar los modelos de pronóstico en tiempo real de alturas hidrométricas y caudales diarios, en base a la información hidrométrica registrada en secciones de interés en la cuenca inferior del río Salado, desde el 01/04/2006 hasta el 31/12/2020, en 3 estaciones de interés: RP70 (Recreo), RP62 (Emilia) y RP02 (San Justo).

La cuenca inferior del río Salado se desarrolla a partir de su ingreso en la provincia de Santa Fe, a la altura de la localidad de Tostado, hasta su desembocadura en el río Coronda en el paraje conocido como Cuatro Bocas.

Se la puede dividir en 2 grandes subcuencas, la del Río Salado propiamente y de la los Bajos Submeridionales, que aportan a través de río Calchaquí, como se observa en la Figura 1.

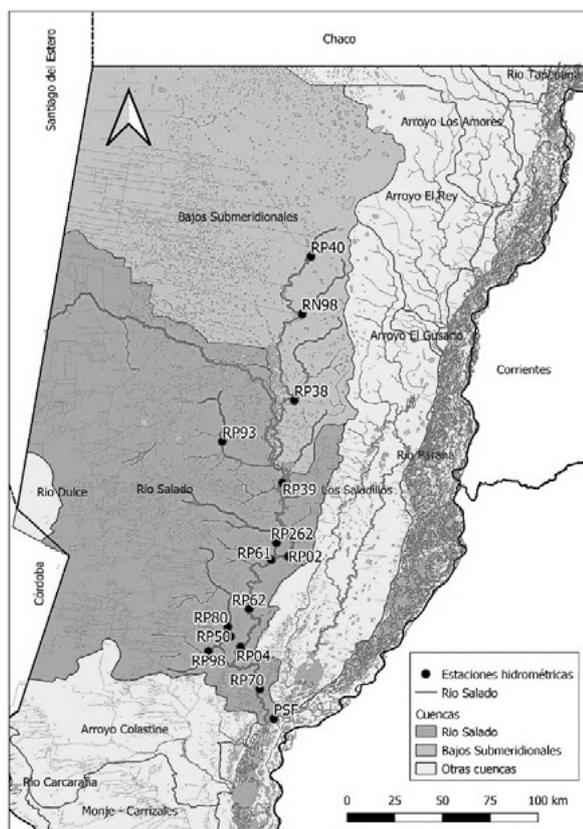


Figura 1.- Localización de las estaciones del tramo inferior del Río Salado- Santa Fe

Metodología

Se recopilaban los datos de alturas hidrométricas diarias correspondientes a las estaciones que se listan en la Tabla 1, para el período 01/01/2004 - 31/12/2020, de aforos realizados en las estaciones y los caudales medios diarios en la estación ubicada en la Ruta Prov. N°70.

Luego se analizó la consistencia de los datos de alturas hidrométricas diarias de cada estación en cuanto a su correspondencia espacio-temporal, por comparación de los limnigramas de cada estación con los correspondientes a estaciones vecinas, de aguas arriba y de aguas abajo y al control de las variaciones diarias según la situación hidrológica (crecida, estacionario o bajante). A partir de un análisis visual, se identificaron algunos períodos con datos inconsistentes, los que fueron corregidos.

Tabla 1.- Estaciones hidrométricas utilizadas para el pronóstico.

Nro.	Curso	Estación	Cant. datos
1	Río Salado	RP39 (Paso Las Piedras)	2662
2	Río Salado	RP02 (San Justo)	4842
3	Río Salado	RP61 (San Justo)	3450
4	Río Salado	RP62 (Emilia)	4531
5	Río Salado	RP04 (Manucho)	2047
6	Río Salado	RP70 (Recreo)	6073
7	Río Salado	RN11 (Santo Tomé)	5708
8	A° Golondrinas	RP40 (Fortín Olmos)	149
9	A° Golondrinas	RN98 (El Bonete)	1994
10	Río Calchaquí	RP38 (Calchaquí)	4021
11	A° Las Conchas	RP93-S (Aguará Grande)	2381
12	A° San Antonio	RP262-S (Petronila)	4026
13	A° Cululú	RP50-S (Cululú)	4922
14	A° Las Prusianas	RP68 (Grutly)	3597
15	Riacho Santa Fe	Puerto Santa Fe	6073

Las crecidas del río Salado en su tramo inferior se producen generalmente entre los meses de febrero y junio y son originadas por lluvias caídas sobre la cuenca inferior. El caudal máximo registrado en la Ruta Prov. N° 70 para el período 1954/55 – 2019/20, fue de casi 4000 m³/seg el 30/04/2003, cuando se inundó la ciudad de Santa Fe.

A partir de los datos de aforos recopilados para el presente estudio, se determinaron o actualizaron las curvas de descarga de 13 estaciones, no se trabajó en Puerto de Santa Fe y RN11 en Santo Tomé de la Tabla 1.

Los modelos de regresión múltiple son herramientas de pronóstico simplificadas, cuya precisión y confiabilidad depende básicamente de la cantidad y calidad de los datos hidrométricos utilizados en los ajustes.

Para el ajuste de modelos de crecidas, se utilizaron los datos de alturas hidrométricas y caudales diarios, calculados a partir de las curvas de descarga respectivas. El mismo se realizó en tres estaciones: la RP70 con plazos de pronóstico de 1 a 3 días y en RP62 y RP 2 para plazos de 1 y 2 días.

Estos modelos utilizan como variables independientes las alturas hidrométricas o los caudales al tiempo actual y tiempos previos en la misma sección de pronóstico y en secciones de aguas arriba y/o aguas abajo.

Por ejemplo para la estación en RP70 y el plazo de pronóstico (T) de 1 día la ecuación 1.

$$h_{t+1}^{RP70} = c_1 h_t^{RP70} + c_2 h_{t-1}^{RP70} + c_3 h_t^{RP62} + c_4 h_{t-1}^{RP62} + c_5 h_t^{RP50} + c_6 h_{t-1}^{RP50} + c_7 h_t^{RN11} + b \quad [1]$$

Es importante aclarar que el cálculo de la altura hidrométrica (o caudal) diaria en la sección de pronóstico se realiza únicamente los días en que existen datos en todas las estaciones-tiempo que participan en la ecuación. Si en uno de los términos dependientes no hay valor de la altura o caudal no se puede realizar el pronóstico.

Resultados

A partir de las ecuaciones de regresión ajustadas, se calcularon las alturas hidrométricas diarias y los caudales en las diferentes secciones analizadas, para distintos plazos de pronóstico y se los comparó con las alturas o los caudales observados.

Para evaluar la eficiencia de cada modelo se utilizaron los estadísticos de las ecuaciones 2 a 5.

$$Emed \pm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(h_i^c - h_i^o)| \quad [2]$$

$$E_{max} = \text{Máximo } |(h_i^c - h_i^o)| \quad [3]$$

$$Ef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\square_i^c - \square_i^o)^2}{\sum_{i=1}^n (\square_i^o - \bar{\square}_o)^2} \quad [4]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\square_i^c - \square_i^o)^2} \quad [5]$$

En tabla 2 se presentan los coeficientes correspondientes a cada estación y tiempo, obtenidos con el modelo de regresión, para la estación RP 70 para 1 día de plazo de pronóstico y considerando **total** la serie de datos o **diferenciado** para valores menores o mayores a 3 m de altura hidrométrica, que es cuando el cauce natural es desbordado.

Tabla 2.- Coeficientes para cada estación y tiempo de los modelos de regresión para diferentes series de alturas hidrométricas diarias en RP70.

Estación -tiempo	Coefic.	DIFERENCIADO		
		TOTAL m < RP70 t	0 < RP70 t < 3m	RP70 t > 3m
RP70 t	C1	1.17413	1.06906	1.25953
RP70 t-1	C2	-0.32751	-0.29045	-0.41831
RP62 t	C3	0.18694	0.17822	0.06077
RP62 t-1	C4	-0.08382	-0.04524	0.05184
RP50s t	C5	0.30954	0.47297	0.12781
RP50s t-1	C6	-0.24036	-0.34976	-0.06989
RN11 t	C7	0.04776	0.10691	0.01337
	b	-0.12892	-0.31441	0.01874

En la figura 2 se puede observar los hidrogramas observados y calculados, donde ajustan muy bien y no hay diferencias entre las series consideradas.

En la Tabla 3 se puede apreciar que no existe mayor diferencia entre los estadísticos cuando se considera la serie completa o la diferenciada.

Además, se desarrolló una interfaz visual generada especialmente para este trabajo, para ver los pronósticos de alturas del río Salado en las estaciones de analizadas, que es de

muy fácil utilización y se basa a una planilla de datos, formato *csv, previamente actualizada, para ser aplicada por el personal del MISPyH, como se observa en la figura 3.

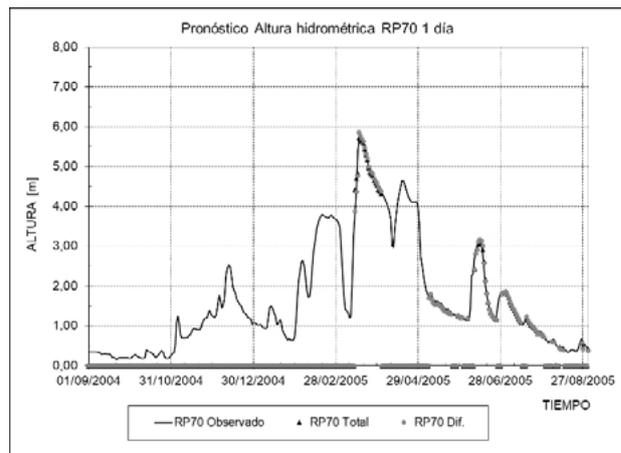


Figura 2.- Limnigramas observado y calculados con diferentes series en RP70, pronóstico 1 día.

Tabla 3.- Estadísticos del ajuste para valores de alturas hidrométricas en RP N°70.

Estadísticos	Pronóstico 1 día	
	Total	Diferenciado
Cant. datos (n) h > 3m	787	
h promedio [m]	4.10	
E med +- [m]	0.06	0.05
E máx [m]	0.79	0.72
Ef	0.974	0.981
RMSE [m]	0.11	0.09



Figura 3.- Pantalla principal del visualizador PySalado con datos cargados por el usuario.

Conclusiones

Los resultados indicaron que, en todos los casos, el incremento del plazo de pronóstico implicó un aumento de los errores generados entre los valores observados y calculados. Se lograron mejores ajustes tomando la serie de alturas hidrométricas de manera diferenciada, es decir, analizando situaciones inferiores y superiores a los 3m, altura umbral límite que genera el desborde del cauce principal, disminuyendo el RMSE de 0,11 a 0,09.

Se recomienda que los coeficientes de los modelos de regresión deben ser actualizados periódicamente, de manera similar a las curvas de descarga de las estaciones utilizadas, por ejemplo, cada 5 años o después de crecidas importantes.

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HYDROBID EN LA CUENCA ARROYO LOS PADRES-SANTA FE-ARGENTINA

A. Arbuet⁽¹⁾, R. Mazzon⁽²⁾, C. Scioli⁽¹⁾, J. Corrales⁽³⁾, M. Nalesso⁽⁴⁾, G. Pusineri⁽¹⁾, H. Bianchi⁽²⁾

(1) CHyGA Dr. R. Pedraza, I+D+i - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL), Santa Fe, Argentina.

(2) Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional del Litoral (INA- SCRL), Santa Fe, Argentina

(3) RTI Internacional, Washington, EEUU.

(4) Centro Soporte HydroBID, Washington, EEUU.

E-mail: alearbuet@gmail.com.ar, rosanamazon@yahoo.com.ar, sciolicarlos@gmail.com, jcorrales@rti.org, mauron@iadb.org, gracielaapusineri@yahoo.com.ar, inghbianchi@gmail.com

Introducción

El área central de la provincia de Santa Fe (Argentina) es una zona de llanuras, con pendientes muy bajas, donde el movimiento vertical del agua generalmente predomina sobre el horizontal. Con el objeto de analizar el impacto que genera el cambio de uso de suelo en el balance hídrico de la región se utilizó el modelo HydroBID (Fekadu Moreda et al., 2017), ver figura 1.

Este modelo utiliza como estructura de datos hidrológicos la Analytical Hydrographic Dataset (AHD) que contiene información de las cuencas y red de drenaje para Latino América y el Caribe, complementada con una base de datos de uso y tipo de suelos (Nalesso & Coli, 2017) .

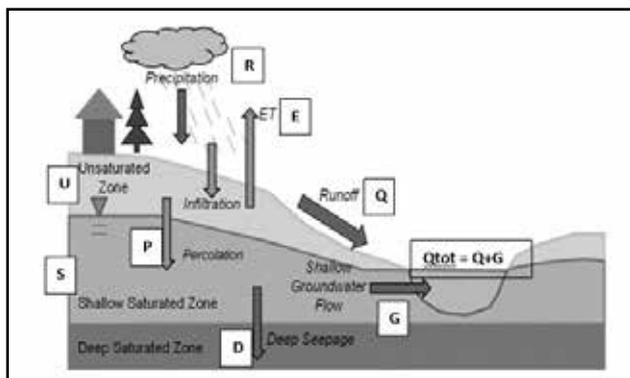


Figura 1.- Esquema de flujos y almacenamientos que considera el HydroBID

El HydroBID se implementó en la cuenca del A° Los Padres (660 km²), figura 2, con el objetivo de analizar el impacto que generan en el balance hídrico los cambios en el uso del suelo, considerando condiciones hidrometeorológicas históricas y con cambio climático.

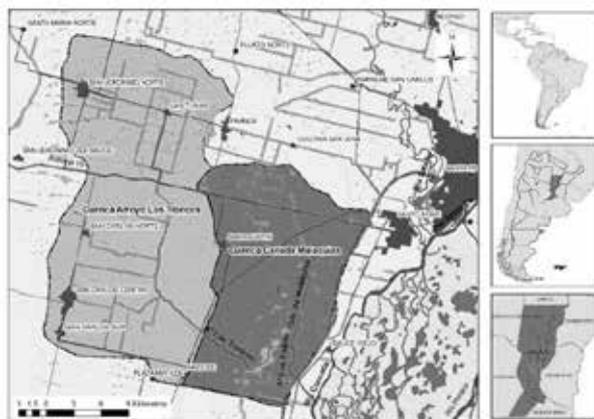


Figura 2.- Ubicación de la cuenca del A° Los Padres

La cuenca elegida para la implementación del modelo, es una **cuenca no aforada**, no se dispone de registro sistemático de caudales.

Por este motivo se adoptó para la calibración el criterio de **contrastar** los valores simulados por HydroBID con los obtenidos en el Plan Director de la Provincia de Santa Fe. Los mismos son el resultado de una simulación hidrológica realizada a nivel de planificación, con el modelo HEC-HMS, que se corrió con parámetros y condiciones de uso actual de suelo enriqueciendo los datos con relevamientos topográficos particulares en distintos puntos de control.

Metodología

La AHD es una base de datos espacialmente explícita de aguas superficiales, provee la conectividad del flujo aguas arriba/aguas abajo necesarias para implementar el modelo, y la data para mostrar los resultados en forma gráfica.

Esta base contiene los archivos de la delimitación de cuencas y cauces (formato shapefile) y la base de datos con la conectividad entre cuencas y los cauces (formato dbf), la cual se debió modificar para representar la realidad.

El modelo HydroBID requiere como datos de entrada series diarias de precipitación y temperatura media para cada subcuenca.

En este caso no existía una estación dentro de la cuenca, por lo que se seleccionaron tres estaciones confiables, dos cercanas y una a 50 km de la cuenca. La serie debió ser completada en los datos faltantes, siendo el periodo de estudio de 28 años (1989-2016).

Como la cuenca no está aforada, se evaluó la sensibilidad del modelo respecto al escenario original que tiene en la base de datos, considerando tres escenarios teóricos de uso del suelo (en toda el área de estudio un mismo tipo de uso del suelo):

- Escenario 1: Agricultura/Pastizales (CN 64)
- Escenario 2: Humedales (CN 70)
- Escenario 3: Tierras agrícolas seca y pastizales (CN 75)

Además, se incluyó en el análisis el cambio climático, de acuerdo con lo proyectado por KNMI, que prevé un aumento de la temperatura de 3°C y de precipitación del 10% en el periodo 2081-2100.

Resultados

Comparando los resultados de las simulaciones realizadas con HydroBID y con HEC-HMS, se observa que si bien los volúmenes calculados con ambos modelos son parecidos, los caudales máximos tienen una gran diferencia, especialmente en los días donde se registraron eventos extremos.

El HydroBID genera como resultados tablas con los valores diarios de cada parámetro del balance hidrológico. A partir de los valores diarios se calcularon los acumulados por mes y para cada año, para la **condición de uso del suelo original**.

A partir de los valores anuales para cada uno de los parámetros

del balance, obtenidos con la suma de los valores mensuales de toda la serie analizada, se elaboró la figura 3.

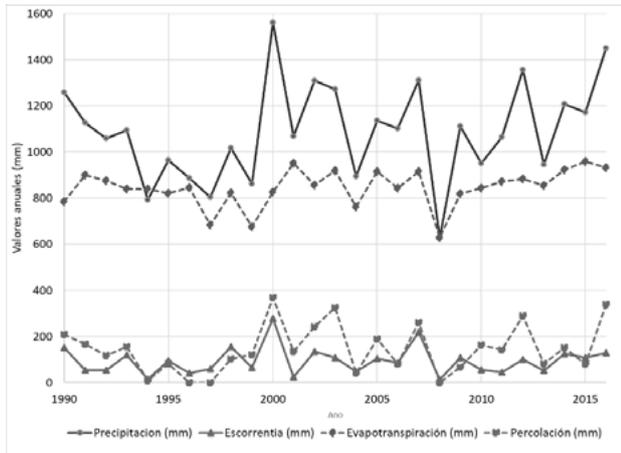


Figura 3.- Variación anual de precipitación, escorrentía, evaporación y percolación, resultado del HydroBID

Allí se observa que los valores de precipitación obtenidos en el balance anual varían entre un mínimo de 630 mm para el año 2008 hasta un máximo de 1562 mm para el año 2000.

En la evolución de la evapotranspiración anual se observan años donde se superan los valores de precipitación, como ocurrió en el 2008, año donde se verificó una gran sequía que generó pérdidas millonarias en la región.

El valor promedio calculado para toda la serie (844 mm) es muy similar a los valores registrados en la región (900 mm), siendo el 77% de la precipitación.

La escorrentía anual promedio es de 95 mm (8% de la precipitación), registrándose los máximos en los años 2000 y 2007, ocasión en que se registraron las mayores precipitaciones.

Con respecto a la percolación anual los valores varían entre 370 mm y 0 mm, con un promedio de 146 mm (13% de la precipitación).

Uno de los parámetros que el modelo da como resultado es la escorrentía acumulada (cm/año), para cada subcuenca.

En la Tabla 1 se listan los valores resultantes de las cuatro corridas realizadas para los distintos escenarios de uso (original y tres escenarios teóricos) y otra corrida considerando el uso de suelo original y el cambio climático (CC).

Tabla 1.- Variaciones de la escorrentía acumulada por escenario y subcuenca

Subcuenca	Original	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 3	CC
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
316367700	100	72	96	120	127
316398200	100	63	84	105	126
316367800	100	62	82	103	126
316394800	100	77	102	128	126
316401700	100	77	102	127	126
316394700	100	77	102	127	126
316414600	100	73	96	119	126
316398100	100	65	86	107	126
316421700	100	77	101	126	127

Analizando la variación de los valores promedios en la cuenca de dicha variable, entre el **escenario original** (CN 62.5 promedio

areal) y los teóricos se observa: en el **escenario 1** (Agricultura/Pastizales CN 56.3) una disminución del 28%, en el **escenario 2** (Humedales CN 61.6) una disminución del 5%, en el **escenario 3** (Tierras agrícolas seca y pastizales CN 66) un aumento del 18%. Por lo tanto, la situación de menores valores de escorrentía se ve en el escenario con Agricultura y Pastizales.

Para cada situación se generaron mapas temáticos. Uno de ellos es el mapa para comparar la situación original sin y con cambio climático (aumento de la temperatura de 3°C y de precipitación del 10%), con otra simbología, por ser muy diferentes los valores de escorrentía obtenidos, como se observa en la Figura 4.

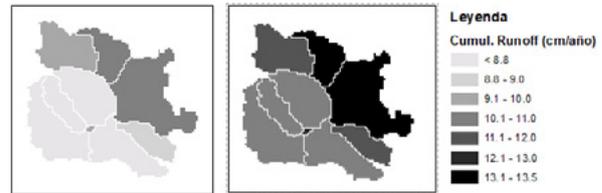


Figura 4- Mapas de escorrentía, con situación original sin y con cambio climático.

Conclusiones

La utilización de la AHD con la delimitación de cuencas y tramos de cauce y una base de datos asociada facilita el trabajo de preparar los datos para aplicar el modelo, pero en cuencas de llanura con intervención antrópica (canalizaciones y obras viales) y en la zona del valle de inundación del río Paraná, debe ser revisada antes de utilizarse, pues puede tener errores de conectividad y sentido de escurrimiento, debiendo ser modificada.

En los mapas generados con los valores de escorrentía superficial obtenidos para cada subcuenca, resultantes de las corridas realizadas para los 4 escenarios de uso del suelo, se puede observar que cuanto mayor es el valor del CN mayores son los valores de escurrimiento (runoff), variando entre 6.5 y 11 cm/año, mostrando cuales son las subcuencas con mayores valores.

El aumento de los valores de escorrentía considerando el escenario de cambio climático previsto para el período 2081-2100, es muy importante, llegando al 26%, siendo las subcuencas del norte las más afectadas, por tener los mayores valores de CN y precipitación, por lo tanto, sufrirían más las consecuencias que las subcuencas del sur.

Los resultados obtenidos con el modelo son fácilmente visualizables y manipulados mediante QGIS, donde es posible visualizar las variaciones a nivel de subcuenca, facilitando la identificación de las áreas donde se deben priorizar medidas de mitigación.

Referencias

Fekadu Moreda, F., Miralles-Wilhelm, F., Muñoz Castillo R. (2017). *Hydro-BID: Un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio*. Washington, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Nalesso, M. and Coli, P. (2017). *Guía paso a paso: Manual de Hydro-BID*. Obtenido de: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Gu%C3%ADa-paso-a-paso-Manual-de-Hydro-BID.pdf>

APROVECHAMIENTO EFICIENTE DEL AGUA EN MALLINES: GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y DIFUSIÓN DE HERRAMIENTAS

Juan Santiago Arhancet, Fernando Ariel Manavella, Liliana San Martino y Martín Ángel Andrés Roa

INTA AER Los Antiguos, EEA Santa Cruz, Argentina
Av. Tehuelches 556, Los Antiguos
Tel: (02963) 491252

E-mail: arhancet.juan@inta.gob.ar; manavella.fernando@inta.gob.ar; martino.liliana@inta.gob.ar; roa.martin@inta.gob.ar

Introducción

Los mallines son ambientes con vegetación asociada a la presencia de agua cerca de la superficie del suelo. En Patagonia, son conocidas las prácticas de intervención que tienen por objetivo mejorar y/o restaurar desde el punto de vista hidrológico la dinámica de estos ambientes mediante obras para distribuir de forma “homogénea” el agua de escurrimiento, evitando la formación de cárcavas, la pérdida de superficie irrigada y, por ende, la disminución de la superficie útil desde el punto de vista del aprovechamiento ganadero.

Desde la AER INTA Los Antiguos se trabaja asesorando a productores que buscan un mayor aprovechamiento del agua disponible en sus mallines. Para la presente experiencia, se plantean los siguientes objetivos:

- Realizar el seguimiento de la dinámica hídrica de un mallín intervenido con obras de redistribución del agua de escurrimiento, en el noroeste de la provincia de Santa Cruz.
- Evaluar el desempeño de la incorporación de herramientas simples de monitoreo, a fin de realizar un manejo eficiente del agua disponible.

En este resumen se describen resultados preliminares de esta experiencia, la cual se encuentra en etapas iniciales.

Materiales y métodos

Se está trabajando sobre un mallín correspondiente a un establecimiento ganadero ubicado sobre la margen norte del Lago Buenos Aires, en el noroeste de la provincia de Santa Cruz. El mismo tiene una superficie de 100 ha y su aporte principal de agua de escurrimiento superficial, son dos cursos que ingresan desde el sector noreste. El objetivo del productor es el aprovechamiento del mallín para invernada de ganado bovino.

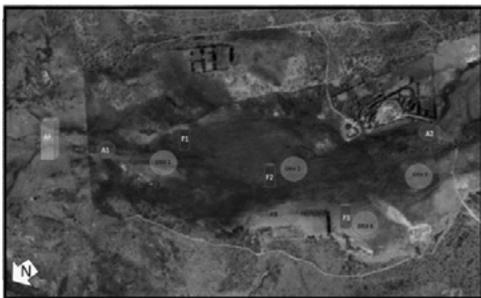


Figura 1.- Ubicación de: zona de instalación de aforadores (AF); sitios de muestreo de especies vegetales (sitios 1 a 4); sitios de toma de muestras de agua (A1 y A2); sitios de instalación de freáticos (F1 a 3).

En base a información aportada por el productor, relevamiento a partir de imágenes satelitales y visitas al establecimiento, se dividió el mallín en 4 sitios (Fig. 1):

- Sitio 1: parte alta, ubicada en el extremo noreste del mallín
- Sitio 2: zona central
- Sitio 3: parte baja, ubicada al sudoeste
- Sitio 4: junto a una laguna artificial/tajamar, en el sector noroeste del mallín.

El trabajo inició con la interpretación del análisis de suelo (pH, CE, RAS, CIC, N total, P disponible y K intercambiable), y toma de muestras de agua y vegetación a fin de caracterizar los diferentes sitios:

- Calidad de agua: se tomaron muestras para evaluar la calidad del agua superficial y subterránea (pH y CE).
- Vegetación: en diciembre 2022 se realizó el relevamiento de la vegetación en los 4 sitios para la determinación de la disponibilidad de forraje (kgMS/ha). Se realizaron 4 cortes con marcos de 0.1m² a una altura de 4,5cm, siguiendo el gradiente altitudinal. El material cosechado fue secado en estufa a 60°C hasta peso constante y pesado en balanza de precisión. Para determinar la composición florística se separó cada muestra en gramíneas, graminoides, leguminosas y dicotiledóneas.

En gabinete, se utilizaron Modelos Digitales de Elevación (MDE) obtenidos de la página del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>), procesados mediante el software Surfer13 para generar las curvas de nivel del área de interés.

A campo, para el seguimiento de la dinámica hídrica, se planteó la incorporación de freáticos de flotador (Requena, 2013) en tres sitios del mallín y aforadores de cresta ancha en el ingreso de los cursos de agua que abastecen el mismo. Las dimensiones de los aforadores se calcularon mediante el software WinFlume, en base a determinaciones previas de caudal con el método del Molinete, implementando un equipo de bajo costo desarrollado por técnicos de la EEA Balcarce y calibrado para tal fin (Dimuro y Barral, 2022).

De este modo, se planteó evaluar las fluctuaciones de profundidad freática y los valores de succión matriz asociados a dicha fluctuación en relación con el caudal de escurrimiento superficial ingresado al mallín.

Los parámetros ambientales que se monitorearán a campo son:

- Temperatura: se registrará la temperatura ambiental y del suelo a tres profundidades: 0-15cm, 15-30cm, 30-60cm.
- Precipitación: se llevará registro de las precipitaciones y su grado de aporte a las fluctuaciones del nivel freático y la humedad del perfil.
- Succión matriz: se realizará el monitoreo de la misma para generar las curvas de retención hídrica y relacionar la cantidad de agua que contiene el suelo y su estado energético.

Los tres parámetros serán relevados mediante la implementación de sensores conectados a datalogger Decagon EM 50.

Además, se determinará:

- Profundidad de la napa freática: se realizarán monitoreos mediante sonda de profundidad de pozo, en los freáticos instalados.
- Caracterización del perfil del suelo y análisis físicos (granulometría, porosidad total, densidad aparente, retención hídrica, capacidad de campo), Infiltración básica, Conductividad hidráulica.

Para la incorporación de los elementos de seguimiento por parte del productor, se buscará la existencia de relación entre las herramientas planteadas: Caudal ingresado-Nivel freático-Succión Matriz. De esta manera, se pretende aportar un elemento de decisión vinculado al uso del recurso hídrico, que integre una mirada sistémica junto al monitoreo de especies vegetales, regulación de carga animal, manejo de suelo y conocimiento de parámetros ambientales.

Resultados

El análisis de suelo (Tabla 1) presentó valores de pH mediana e netamente alcalinos. En 3 de los sitios, no se registraron problemas de salinidad, pero sí ligeros problemas de sodicidad. En el 4to sitio, el análisis indicó moderados problemas de salinidad (4,04 mS/cm) y fuertes problemas de sodicidad (RAS=29,6).

Tabla 1.- Resultados del análisis de suelos para los cuatro sitios del mallín considerados.

Muestra	pH	Salinidad (mS/cm)	Sodicidad (RAS)	MO (%)	N tot (%)	P disp. (ppm)	K interc. (meq/100g)
1	8,4	1,59	7,68	3,98	0,193	7,3	0,19
2	8,1	1,68	9,24	4,09	0,24	23,1	0,13
3	9	1,86	7,98	3,9	0,181	12,3	0,14
4	8,9	4,04	29,6	2,36	0,172	31,3	0,68

En cuanto al análisis del agua, las muestras obtenidas presentaron una CE promedio de 0,37 mS/cm y un pH promedio de 8,2.

La determinación de la disponibilidad de forraje en los sectores húmedos y subhúmedos del mallín permitió calcular un valor promedio de 8400 Kg MS/ha.

Los gramíneos (*Juncus* sp. y *Eleocharis* sp.) tuvieron dominancia en todas las muestras (entre 64,7 y 86,8%), seguidos por gramíneas (*Carex macloviana*, *Poa pratensis*, *Hordeum* sp.; entre 11,2 y 23,8%) y, en menor medida, dicotiledóneas (*Rumex* sp., *Taraxacum* sp., cardos, 0 a 10,2%) y leguminosas (trébol blanco, 0 a 1,3%).

El trabajo de generación de curvas de nivel permitió tener una idea muy general de las intervenciones a realizar, debido a que la escala disponible para la zona no es adecuada para este tipo de trabajo. Por este motivo se inició el vínculo interinstitucional en la búsqueda de imágenes que sean apropiadas (p.e. SAOCOM) para tal fin.

En relación a las herramientas de monitoreo consideradas para transferir al productor, se busca la implementación de elementos confiables, simples de interpretar y de bajo costo. El tipo de freatómetro utilizado, al ser de lectura directa y bajo mantenimiento, permite al productor llevar un registro de la fluctuación de la profundidad del agua del acuífero freático. A su vez, posibilita realizar un monitoreo implementando una sonda manual de profundidad de agua de bajo costo, desarrollada por la empresa I.E.A. SRL¹, para evaluar el desempeño del flotador o tomar medidas de mayor precisión y muestras para el análisis de la calidad de agua.

Finalmente, para la correcta instalación de los freatómetros y a modo de garantizar la homogeneidad de estos puntos de monitoreo, se adaptó maquinaria existente en este tipo de establecimientos (Fig. 2) con componentes de bajo costo.



Figura 2.- Izquierda: Hoyadora con extensión del eje; Centro: Freatómetro con base cementada; Derecha: medición de profundidad y toma de muestras para análisis de agua.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de las características químicas del suelo del mallín, las especies vegetales presentes y los parámetros básicos de calidad de agua evaluados, evidencian el potencial de mejoramiento, mediante obras de intervención para distribución del agua, en términos de la superficie útil para el aprovechamiento ganadero. El Sitio 4, presenta moderados problemas de salinidad y fuertes problemas de sodicidad, lo que pone de manifiesto la necesidad de acompañamiento técnico para el manejo agronómico de estas variables, pero no representan una limitante (por el porcentaje de superficie afectada) para el desarrollo de la actividad.

Se espera entonces, a partir de este trabajo que se encuentra en la etapa inicial de su proceso, aportar conocimientos sobre:

- La dinámica hídrica de un mallín intervenido para redistribución de agua.
- El desempeño de herramientas de simple interpretación y bajo costo, para el monitoreo del recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

- Boggio, F.; Cremona, M. V.; Aramayo, M.V.; Girardin, L.; Raffo, F.; Fariña, C.M.; Enriquez, A.S. (2019). "Guía para el curso: Restauración y mejoramiento de mallines mediante obras de redistribución del agua de escurrimiento". INTA CRPN. EEEA Bariloche. "Dr. Grenville Morris". <https://inta.gob.ar/documentos/restauracion-y-mejoramiento-de-mallines-mediante-obras-de-redistribucion-del-agua-de-escurrimiento>
- Dimuro, V.; Barral, P. (2022). *Manual para construir un molinete para el aforo de arroyos*. Ed. INTA. 16 pp. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/14070/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Dimuro_V_Manual_construir_molinete.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Enriquez, A.; Cremona, M. V. (2017) "Humedales patagónicos como reservorios de carbono. Una función poco reconocida en un mundo cambiante". Serie de Divulgación N°3. PRESENCIA N°67. INTA. Centro Regional Patagonia Norte.
- Horne, F. (2010). "Manejo hidrológico de mallines: aplicación al manejo sustentable del mallín Genoa". ITAMA, UN del Comahue. <https://itama.uncoma.edu.ar/wp-content/uploads/2022/11/Manejo-Hidrologico-de-Mallines.-Aplicacion-al-Manejo-sustentable-del-Mallin-GENOA.pdf>
- Requena, A. (2013). "Freatómetro con flotador. Construcción, instalación, operación y mantenimiento". INTA. Centro Regional Patagonia Norte. EEA Alto Valle.
- Utrilla, V.; Peri, P.L.; Billoni, S.; Rogel, B. y Andrade, M. (2014). "Caracterización y evaluación de indicadores de degradación en mallines del sur se Santa Cruz". III Encuentro de investigadores de la Patagonia Austral. Depto. Ciencias Exactas y Naturales de la UARG-UNPA.
- Agradecimientos**
Al productor Jalil Hamer (Ea. 10 Hermanos) y al Ing. Rec. Nat. Julio Mora (INTA AER Los Antiguos) por la toma de muestras para el análisis de suelos.

¹ I.E.A: Ingenieros Electrónicos Asociados – www.ieasrl.com.ar

MAPA DE RIESGO DE INUNDACIONES EN LA COSTA SUR DEL RÍO DE LA PLATA

María Victoria Arias^{1,2,3,5}; Jessica Eliana Quintana^{2,3,6}; Axel Waldemar Elseser^{2,3,4,7}; Sandra Olga Demichelis^{2,3,8}; María Eugenia García^{2,3,9}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Laboratorio Ambiental

² Lic. En Gestión Ambiental Urbana, Departamento de Desarrollo Productivo y Tecnológico, Universidad Nacional de Lanús. 29 de septiembre 3901, B1832 Remedios de Escalada, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

³ Instituto de Problemas Nacionales, Universidad Nacional de Lanús.

⁴ Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich (Comisión Nacional de Actividades Espaciales /Universidad Nacional de Córdoba). Ruta Provincial C45 Km 8, Falda del Cañete. Provincia de Córdoba, Argentina

⁵ Número de teléfono: +541166143586. Correo electrónico: arias.mvic@gmail.com

⁶ Número de teléfono: +541166143586. Correo electrónico: jesseqtn@gmail.com

⁷ Número de teléfono: +541166143586. Correo electrónico: axel.elseser@gmail.com

⁸ Número de teléfono: +541166143586. Correo electrónico: sandrademichelis@gmail.com

⁹ Número de teléfono: +541166143586. Correo electrónico: eugegarcia1959@gmail.com

Introducción

Los mapas de riesgo representan las condiciones de vulnerabilidad y las amenazas asociadas a un fenómeno en particular, con el fin de mostrar la distribución espacial de las áreas afectadas. Este tipo de herramientas permite a los tomadores de decisión dirigir políticas y medidas de mitigación y contención en aquellos lugares donde el riesgo es alto.

En la costa sur del río de La Plata pese a que las inundaciones son recurrentes no existen estimaciones oficiales que cuantifiquen el impacto del riesgo asociado a eventos de inundación, que permitan respaldar medidas de gestión.

Objetivo

Conocer y estimar la distribución geográfica del riesgo vinculado a inundaciones que afectan a los habitantes de la costa sur del Río de la Plata.

Área de estudio

El área de estudio es la franja costera sur al Río de la Plata, desde Quilmes hasta Punta Indio (Buenos Aires, Argentina) que se encuentra debajo de los 6 m.s.n.m.

Materiales y métodos

El mapa de riesgo se confeccionó a partir de datos de distintas fuentes de información, vinculando variables socio-sanitarias con variables ambientales y climáticas (Tabla 1 y 2).

La metodología se basó en la caracterización de radios censales a partir de información del INDEC, los cuales luego se rasterizaron para poder realizar el cálculo por pixel como unidad de análisis y poder combinar las capas de los radios censales con otras variables que no se encontraban en esa unidad.

Para el cálculo del riesgo se multiplicaron las Vulnerabilidades por las amenazas, siendo el Riesgo el producto.

Cada componente (amenaza y vulnerabilidad) se compone de distintos Índices; integrados por variables (Tabla 1 y 2). Para el cálculo del riesgo se realizó una ponderación para obtener como resultante de este proceso un valor de riesgo de valores entre 0 y 100, que permitiera establecer un ranking considerando que el valor más elevado lo obtienen aquellos cuya combinación de determinantes es la más crítica (DSyEA, ACUMAR, 2018).

Para la selección de las variables a tener en cuenta para las vulnerabilidades (Tabla 1) se tomaron como modelo las variables utilizadas por la metodología de ACUMAR, y para las amenazas (Tabla 2) se tomó parte de la metodología propuesta por Asbridge et al, (2021) para Sussex Inlet en Australia.

Tabla 1.- Vulnerabilidad: Índices, variables y fuentes utilizadas

Hábitat	Vivienda de tipo inconveniente (NBI 2).	REDATAM
	Material predominante de los pisos.	REDATAM - INDEC
	Calidad de materiales de la vivienda.	INDEC
	Condición Sanitaria (NBI 3)	REDATAM
Establecimientos públicos	Cobertura de establecimientos públicos de educación primaria	IGN
	Cálculo de cobertura de establecimientos públicos de salud	IGN
Educación y empleo	Inasistencia escolar (NBI 4).	Poblaciones
	Capacidad de subsistencia (NBI 5)	Poblaciones
Grupos etarios vulnerables	Niños menores de seis años.	Poblaciones
	Adultos mayores	REDATAM
Acceso a servicios	Red de agua	INDEC
	Conexión de agua dentro de la vivienda.	REDATAM
	Red de cloaca.	INDEC
	Hogares con desagüe a pozo sin cámara séptica, hoyo o excavación.	INDEC
	Red de gas.	INDEC
	Hogares cuyo combustible principal es leña o carbón.	INDEC

Tabla 2.- Amenazas: Índices, variables y fuentes utilizadas

Inundaciones	Promedio de NDXI por pixel	Landsat 5 y 8
	Cantidad de episodios según Desinventar	Desinventar
Cursos de agua	Distancia al curso de agua más cercano	IGN
	Distancia al RDLP	IGN
Características del territorio	Elevación del terreno según MDE Ar en m	MDE - IGN
	Depresión del suelo en m	MDE IGN
	Pendiente del terreno (%)	MDE - IGN
Usos de suelo	Tipo de cobertura de suelo: Urbano, cultivado, o vegetación	ESRI

Para los datos que se encontraron en formato shape, se descargaron, se recortaron según el área seleccionada y posteriormente se rasterizaron. Para aquellos datos que se encontraban en formato ráster, se aplicaron los procesos previos necesarios como cálculo de distancias, índices, reclasificación, etc. Luego con todos los datos en formato ráster, se realizó la reclasificación de todas las variables (tanto amenazas como vulnerabilidades). Para ello se definieron los intervalos de las clases y los valores a asignar, en función de los mínimos y máximos hallados en cada variable.

En todos los casos las clases se definieron según la lógica: mínimo \leq valor \leq máximo

Los valores mínimos y máximos fueron el resultado del análisis de los valores presentes en el ráster.

El valor asignado para cada clase fue definido en función de los valores que tomara la variable, estableciendo como límites 0 y 1.

Para la ponderación de las amenazas y las vulnerabilidades:

- Para Amenaza y Vulnerabilidad se establecieron índices, ponderando el peso de cada uno, siendo el valor máximo a tomar por cada componente 10 (Tabla 3).
- Dentro de cada índice se relativizó el peso de cada variable, estableciendo un factor de priorización por el cual era multiplicado el valor estandarizado, siendo 1 la sumatoria de ese factor por índice
- Para cada variable, dentro de los índices, se establecieron 5 clases siendo 0 y 1 los valores límite.

Tabla 3.- Ejemplo de Tablas

Componente	Índice	Factor
Vulnerabilidades	Condiciones de Hábitat	2,5
	Establecimientos Públicos	1,25
	Educación y Empleo	1,25
	Grupos Etarios Vulnerables	2,5
	Acceso a Servicios	2,5
Amenazas	Inundaciones	2,5
	Distancia cursos	1,8
	Geomorfología	4,8
	Cobertura del suelo	0,9

Finalmente se establecieron 5 categorías de riesgo, según los valores establecidos por ACUMAR (Tabla 4).

Resultados

Se obtuvieron mapas de vulnerabilidades (Figura 1), de amenazas (Figura 2) y de riesgo (Figura 3). En los mapas se pudo observar las áreas con mayores y menores vulnerabilidades y amenazas según la escala de grises.

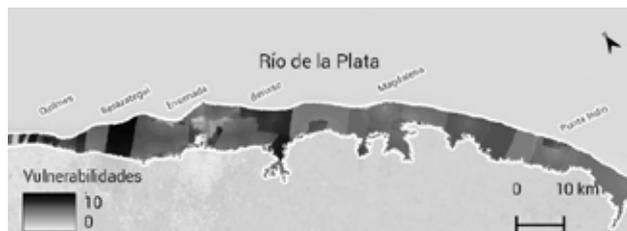


Figura 1.- Mapa de vulnerabilidades (en escala de grises).



Figura 2.- Mapa de amenazas (en escala de grises).

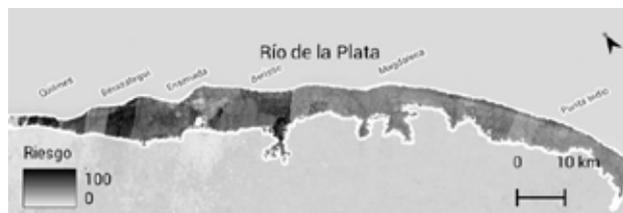


Figura 3.- Mapa de riesgo (en escala de grises).

Tabla 4.- Categorías de riesgo

Categoría	Valor	Área en Km ²	Área relativa
Muy alto	>30	84.9	10.6%
Alto	20-30	303.4	37.9%
Moderado	15-20	300.5	37.5%
Bajo	10--15	101.8	12.7%
Muy bajo	<10	10.6	1.3%

De toda el área analizada, los resultados arrojaron que la mayor parte se encuentra en la categoría de riesgo alto y moderado (tabla 4, Figura 3), concentrando los valores de riesgo alto y muy alto en los municipios de Quilmes, Berazategui, Ensenada y Berisso.

Conclusiones

La metodología utilizada resultó de utilidad para estimar y cuantificar del riesgo asociado a eventos de inundación en la costa sur del Río de la Plata

A su vez, gran parte de estos sitios, al día de hoy, se encuentran vacantes, por lo que debido a su alto riesgo urge la necesidad de adoptar medidas de mitigación no solo en aquellos sitios con población asentada, sino en aquellos sitios vacantes para prevenir a futuro daños asociados a eventos de inundación.

Referencias Bibliográficas

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., & Albornoz-Góngora, P. M. (2016). *Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas*. Tecnología y Ciencias del Agua, II (5), 33-55.
- Asbridge, E. F., Low Choy, D., Mackey, B., Serrao-Neumann, S., Taygfeld, P., & Rogers, K. (2021). *Coastal flood risk within a peri-urban area: SUSSEX Inlet district, SE Australia*. Natural Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04865-9>
- Dirección de Salud y Educación Ambiental (DSyEA), ACUMAR (2018) *Mapa de Riesgo Sanitario Ambiental de la Cuenca Matanza Riachuelo*. Disponible en <https://www.acumar.gov.ar/wp-content/uploads/2016/12/Metodolog%C3%ADa-MaRSA-DSyEA.pdf>
- Olcina Cantos, J., & Díez-Herrero, A. (2017). *Cartografía de inundaciones en España*. Estudios Geográficos, 78(282), 283-315. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201710>
- Pasucci, V., Carmona, F., & Rivas, R. (2017). *Identificación de zonas anegadas y no anegadas mediante técnicas de teledetección*. Revista Estudios Ambientales, 5(2), 51-78.
- Renda, E., Rozas Garay, M., Moscardini, O., & Torchia, N. P. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo* (Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD; Argentina: Ministerio de Seguridad de la Nación).

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARA DOTAR DE AGUA POTABLE A GRAL. PICO. ANTECEDENTES Y RESULTADOS

Carina Arroyo⁽¹⁾; Fernando Soto⁽¹⁾; Andrea Boeris⁽¹⁾ Bernardina Mangas Flores⁽¹⁾
y Ana Chapalcaz⁽¹⁾

¹ Administración Provincial del Agua (A.P.A.), Olascoaga 540, Santa Rosa. La Pampa. Tel: 02954-422958,
e-mail: karinaarroyo1980@hotmail

Introducción

En el noreste de la provincia de La Pampa, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento humano y para el desarrollo económico de la zona. Sin embargo, el progresivo incremento en la demanda se encuentra condicionado por la disponibilidad y la calidad de las aguas subterráneas. En el caso del agua para consumo humano la limitante principal es la presencia en exceso de elementos nocivos como flúor y arsénico.

En 1984 el Lic. Miglianelli para la Administración provincial del Agua (A.P.A.) delimitó un área con agua de buena calidad en cercanías de la localidad de Speluzzi, donde propuso efectuar 23 perforaciones de diferentes profundidades y distintos caudales posibles de extraer, dependiendo de la ubicación dentro del área delimitada. En su momento, no se realizó la obra y la situación quedó indefinida hasta que en el año 2003 APYSU - CORPICO (concesionaria del servicio de agua potable a Gral. Pico) en conjunto con la A.P.A. decidieron retomar el proyecto dando inicio a la ejecución de la traza del acueducto que debía transportar el agua desde las futuras perforaciones hasta Gral. Pico, pero nuevamente por razones económicas la obra nunca llegó a concretarse.

En la actualidad, como consecuencia de la continua demanda de agua para uso humano e industrial en la ciudad de Gral. Pico surgió nuevamente la necesidad de reactivar el anterior proyecto de explotar el área del acuífero de buena calidad en cercanías de Speluzzi.

Antecedentes

De la recopilación y análisis de antecedentes los más relevantes están reseñados en los siguientes trabajos:

- Miglianelli (1979) efectuó para la A.P.A. el estudio de fuente de la localidad de Vértiz.
- Miglianelli (1982) llevo a cabo el estudio de fuentes de la localidad de Speluzzi.
- Miglianelli (1984) realizó el trabajo “Estudio hidrogeológico especial del acuífero de Speluzzi” entre la localidad de Vértiz y Gral. Pico. El cual, tenía como fin profundizar los conocimientos hidrogeológicos alcanzados en los dos estudios antes mencionados, y poder ubicar nuevas captaciones para Gral. Pico.

Características del Área

El área de estudio se encuentra en el noreste de la provincia de la Pampa, entre la localidad de Vértiz y la ciudad de Gral. Pico, especialmente se circunscribe a la localidad de Speluzzi, comprende un área aproximada de 69 km² presentando una orientación predominante norte – sur, como se puede apreciar en la figura 1.

Las características geomorfológicas del área permiten incluirla en la “Subregión de las Planicies Medanosas” (Cano et al, 1980), o en la “Llanura Pampeana de Modelado Eólico Superimpuesto” (Calmels, 1996), cuyas geoformas responden a la acción de un proceso eólico, de acumulación y deflación, que depositó y modeló una cubierta arenosa de espesor variable.

La columna estratigráfica remata en una capa arenosa superficial de origen eólico, que podría asignarse al Holoceno y cuyo espesor es variable entre 15 metros (médanos) y 2 ó 3 metros (depressiones), Subyacen a ésta los sedimentos loésicos de la Fm. Cerro Azul (Linares et al., 1980), la cual está constituida en sus niveles superiores por arenas muy finas y limosas y hacia la base la granulometría se vuelve más limosa hasta limo-arcilloso.

Se trata de un acuífero multiunitario de comportamiento libre con drenaje diferido donde se diferencian dos secciones hidráulicamente conectadas debido a que no existen entre ellas niveles menos permeables que interrumpan o dificulten el flujo vertical (Mariño, 2003).

Sobre el área de estudio no se ha estimado la recarga del acuífero. Por ello, se consideraron las estimaciones efectuadas por Ceballo (2020) a través del método de fluctuaciones del nivel freático para las localidades de Intendente Alvear y Gral. Pico, donde obtuvo como resultado 70 y 67 mm anuales respectivamente.

Metodología

La metodología de trabajo se basó en: 1) Recopilación de la información previa relevada. 2) Nuevo censo de pozos cavados y/o perforaciones en la zona entre Vértiz y Gral. Pico para análisis físicos – químicos. 3) Ejecución de seis (6) perforaciones de exploración que alcanzaron entre los 21 y 42 metros de profundidad con el fin de poder obtener información sobre calidad y caudal a distintas profundidades de la parte superior del acuífero libre desarrollado en el área (Figura 1).

Resultados Obtenidos

El conocimiento hidroquímico de la zona se basa en el análisis físico – químico de 43 muestras extraídas de pozos cavados y/o perforaciones que no superan los 18 metros de profundidad en un área de 300 km² (Figura 1).

Las muestras que están dentro del área de trabajo son de buena calidad para consumo humano y el resto presentan un empeoramiento en la calidad, dado que aumentan principalmente los tenores de flúor.

Los pozos denominados A, C y E se situaron en los bordes del área de trabajo con el objetivo de confirmar los límites definidos oportunamente en 1984. Los denominados A y C no rindieron agua potable por presentar valores de flúor que exceden ampliamente el límite permitido para consumo humano.

Las perforaciones D y E rindieron agua potable en los niveles ensayados hasta la profundidad de 21 metros con valores de flúor de 1,31 y 1,36 mg/l respectivamente.

Las perforaciones de exploración B y F se ubicaron aproximadamente en los mismos sitios que los pozos exploratorios efectuados por el Lic. Miglianelli (1984) denominados N° 4 y 5 respectivamente, con el propósito de corroborar el rendimiento y la calidad del agua subterránea obtenida en los distintos niveles ensayados. Además, estas dos perforaciones se consideraron claves por estar ubicadas en la zona central del área de estudio.

En cuanto a la calidad para consumo humano, en la perforación B solo se obtuvo agua potable en el nivel superior (17,50 - 26,5 metros) con valores de flúor de 1,19 mg/l.

En el pozo exploratorio F se ensayaron 5 niveles, solo brindó agua potable el nivel superior (18 metros), en el resto se incrementó el tenor de flúor con la profundidad.

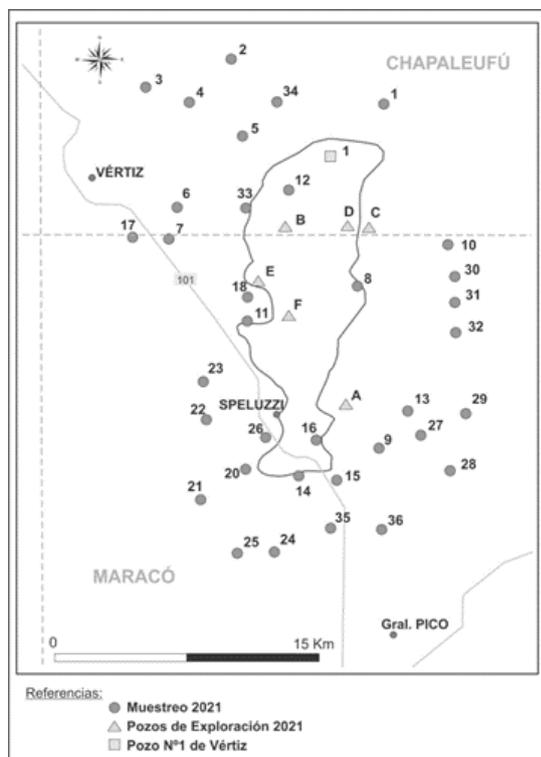


Figura 1. Mapa con la ubicación de los puntos muestreados, las perforaciones de exploración y la captación n°1 del SAP de Vértiz.

En cuanto al aprovechamiento del acuífero se puede decir que, si el área delimitada tiene una superficie de 6.900 Hm² y si, se supone un espesor de calidad de agua óptima promedio de 0,15 Hectómetros, se obtendría un volumen saturado de 1.035 Hm³. Sí, además se considera el coeficiente de almacenamiento en el orden de 2x10⁻³, valor promedio que resultó de lo estimado en este trabajo y en los antecedentes, se tendría una reserva de 2,07 Hm³.

Por último, cabe mencionar que resulta útil asumir un valor promedio de recarga de 68,5 mm/año, que surge de las

estimaciones efectuadas en Intendente Alvear y Gral. Pico por Ceballo (2020), lo que representaría para el área de estudio que tiene una superficie de 6900 Hm² un aporte de 4.692 Hm³/anuales.

Conclusiones

- La finalidad del trabajo fue actualizar y profundizar el conocimiento hidrogeológico de la zona de estudio con el fin de que en el futuro se pueda utilizar como complemento en el abastecimiento de agua a la ciudad de Gral. Pico.
- El área de estudio se halla asociado a un cordón arenomedanoso, que se extiende desde un poco más al sur de la localidad de Speluzzi hacia el norte, hasta más allá de la latitud de Vértiz por el este de esa población. Los límites son como los definió el Lic. Miglianelli (1984), comprendiendo una superficie de 69 km² y presentando una orientación norte - sur.
- La profundidad máxima de las futuras captaciones debe ser

entre 20 y 25 metros en el centro del área donde es mayor el espesor de la capa arenosa (zona de recarga) y disminuir hacia los bordes (zona de conducción). Dado que, la limitante principal es el ion fluoruro, el cual aumenta con la profundidad.

- La cantidad de perforaciones a realizar en el sector del acuífero Speluzzi – Vértiz con calidad de agua apta para consumo humano es de aproximadamente 40 con un caudal de 10 m³/h. Cabe recordar, que en el acuífero existen en explotación las 4 captaciones que abastecen a la localidad de Vértiz y las 4 perforaciones de abastecimiento a la población de Speluzzi.

Bibliografía

- Calmels, A.P., 1996.** *Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa.* Universidad Nacional de La Pampa, 110 p, Santa Rosa. La Pampa.
- Cano, E.G.; Casagrande, H.A.; Conti, B.; Fernandez, R.; Hevia, J. C.; Lea Plaza, D.; Maldonado Pinedo, H.; Martinez, M. A.; Montes y C. A. Peña Zubiate, 1980.** *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa-Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación.* INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam, 493 p. Santa Rosa. La Pampa.
- Ceballo, L., 2020.** *Caracterización Hidroquímica e Isotópica del Agua Subterránea en Sectores Medanosos del Noreste de la Provincia de La Pampa.* Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. 259 p. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba.
- Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C. O., 1980.** *Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas.* Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV: 87-146.
- Mariño, E.E., 2003.** *Sistema Hidrogeológico de un Acuífero Libre en Ambiente Medanoso en el Área General Pico-Dorila, Provincia de La Pampa.* Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 142 p. Universidad Nacional de Córdoba.
- Miglianelli, C., 1979.** *Estudio de Fuentes para la Localidad de Vértiz.* Administración Provincial del Agua. Informe inédito. 33 p. Santa Rosa. La Pampa.
- Miglianelli, C., 1982.** *Estudio de Fuentes para la Localidad de Speluzzi.* Administración Provincial del Agua. Informe inédito. 37 p. Santa Rosa. La Pampa.
- Miglianelli, C., 1984.** *Estudio Hidrogeológico Especial del Acuífero de Speluzzi.* Administración Provincial del Agua. Informe inédito. 45 p. Santa Rosa. La Pampa.

PROYECTO INTEGRAL MANEJO DE CUENCAS EN 1.670 HECTÁREAS CON INFLUENCIA EN RUTA PROVINCIAL 23 – PROVINCIA DE SALTA

Marcelo Daniel Arzelán⁽¹⁾, Silvana Alejandra Castrillo⁽²⁾
y Francisco Javier Ramos Vernieri⁽³⁾

Ing. Marcelo Arzelán y Asoc. SRL Bolívar 441 1^{er} Piso. Salta, Argentina. Tel 3876833806 email: arzelan@arzelan.com, argentino; (2) Universidad Nacional de Salta, argentina; (3) YSATI, argentino.

Introducción

El área de estudio se encuentra en el Valle de Lerma, Departamentos de Cerrillos y Rosario de Lerma, provincia de Salta, Argentina. Comprende alrededor de 5.146 ha.

El Valle de Lerma, es un valle abierto, ubicado a la salida del relieve montañoso, continuación topográfica de la Quebrada del Toro, que se ensancha y desarrolla en amplia llanura aluvial. Presenta una pendiente general del orden del 1 % con sentido NO-SE.

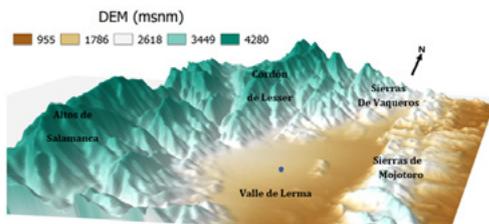


Figura 1.- Valle de Lerma. Relieve exagerado. Modelo Digital de elevación. NASA ASTER DEM (30 m de resolución).

Es un área compleja en donde las actividades productivas conviven con la alta presión de urbanización, sumado que se encuentra disectada por diversos escurrimientos superficiales, en dirección Oeste-Este los cuales tienen incidencia directa sobre la Ruta Provincial (RP)23 y consecuentemente en el Valle de Lerma. Por tratarse de un área densamente poblada, cuenta con una infraestructura vial desarrollada.

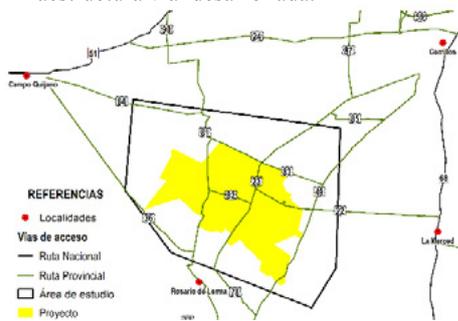


Figura 2.- Valle de Lerma. Infraestructura vial.

Se recorrieron todas las obras de drenaje actual de la RP23, que corta en sentido Norte-Sur a la cuenca de estudio. El drenaje de esta obra vial se configura con Alcantarillas y canales en la zona de cunetas. El sentido del escurrimiento de cunetas se divide en dos direcciones, una divisoria de agua a partir de la cual drena en dirección Nor-Este hacia la localidad de Cerrillos, mientras que hacia progresivas mayores la dirección del drenaje de cunetas es en dirección Sur-Oeste.

En el presente Proyecto se propuso trabajar en la ordenación y laminación de los escurrimientos superficiales que afecta el normal funcionamiento de las rutas provinciales y nacionales que permiten recorrer el Valle de Lerma, como la RP23.

Teniendo en cuenta que las represas de detención permiten el almacenamiento temporario del agua pluvial, la cual es liberada a una tasa regulada a través de estructuras de descarga, se propone la disposición de 7 represas, que en verano funcionarán como laminadoras y desde abril en adelante almacenarán agua para riego de cultivos de alto valor de la provincia. Además, se

plantean la construcción de 14 terrazas colectoras de agua y terrazas secundarias, como así también la implementación de medidas no estructurales. Las poblaciones vinculadas directamente al proyecto son Rosario de Lerma, Cerrillos y La Merced, aunque por la inserción zonal, tiene incidencia sobre todo el Valle de Lerma.

Participaron 15 técnicos y se trabajó con el Consejo Federal de Inversiones (CFI) en coordinación con la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia y la Dirección Provincial de Vialidad.

Objetivo

Trabajar en la ordenación y laminación de los escurrimientos superficiales del área de estudio mediante la implementación de medidas estructurales (terrazas y represas) y medidas no estructurales (medidas de manejo de los cultivos y sistematización de suelos para riego) para lograr atenuar el hidrograma de entrada de las unidades de escurrimiento y atrasar el pico de escurrimiento.

Metodología

La metodología y componentes del trabajo se mencionan a continuación:

- 1.- Recopilación de Antecedentes.
- 2.- Estudio de Vegetación y Ambiente.
- 3.- Relevamiento Planialtimétrico tomando datos RTK en modo estático y cinemático y GPS Geodésico de doble frecuencia RTK 220 canales.
- 4.- Separación en Microcuencas y Subáreas de Escurrimiento; Para poder identificar unidades hidrográficas a escala de microcuencas se descargaron 20 escenas correspondientes al Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la República Argentina (MDE-Ar).
- 5.- Geomorfología de las Microcuencas: Determinación de los Parámetros morfométricos: Superficie (km²), Perímetro (km), Longitud del cauce principal (km), Ancho promedio (km), Forma (Kc) Factor de forma (FF).
- 6.- Estudio Hidrológico/Hidráulico para la Situación sin Proyecto Para la determinación de las cuencas se utilizó como base el MDE-Ar, considerando diversos puntos de control coincidentes con las obras de drenaje (Alcantarillas) del sector y considerando principalmente el A° San Martín, Chocobar y trama Urbana de La Merced. A partir de la red de drenaje se definieron las microcuencas que luego se subdividieron en unidades hidrográficas menores de modo tal de considerar el esquema topológico del sistema lo más realista posible. Para la modelación hidrológica se utilizó el modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System).
- 7.- Diagnóstico de la Situación Actual de las Microcuencas.
- 8.- Anteproyecto. Propuesta de las Medidas para el Manejo de Cuencas.
- 9.- Estudio Hidrológico/Hidráulico Situación con Proyecto. En base al modelo hidrológico sin proyecto se generó un nuevo modelo hidrológico en HMS y un componente hidráulico de evaluación de los hidrogramas de entrada y salida del mismo. Para el diseño de los embalses de amortiguamiento de crecida se utilizó un tiempo de recurrencia (Tr) de 5 y 25 años.
- 10.- Estudio de Suelos y Agua Particulares de las Obras a Realizar.
- 11.- Licitatorios de las Obras Componentes del Proyecto Integral.
- 12.- Organización del Sistema de Información Geográfica del Proyecto Licitatorio de Manejo de Cuencas.

Resultados

A partir de la metodología planteada se obtuvieron los siguientes resultados más relevantes:

-Relevamiento planialtimétrico general del área de estudio, tomando datos RTK en modo estático y cinemático.



Figura 2.- Relevamiento planialtimétrico general del área de estudio.

-Límites de las microcuencas correspondiente al Área de estudio y la información referida a las geofomas de las mismas.

-Estudio hidrológico: El modelado hidrológico dio como resultado 28 subáreas de escurrimiento, calculadas a partir de las microcuencas.

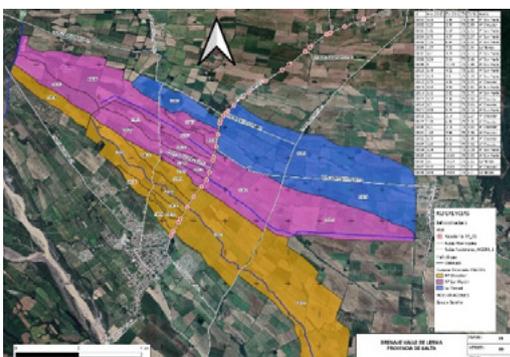


Figura 3.- Subáreas de escurrimiento, alcantarillas y cauces de Zona de Estudio.

a) Situación sin Proyecto: Modelo Hidrológico HEC-HMS Tr: 25 – Salidas.



Figura 4.- Hidrograma de Salida. Tr: 25 años. Situación sin proyecto

b) Situación con Proyecto: En base a la modelación se obtuvieron los parámetros de diseño de las 7 (siete) estructuras de regulación (represas).

- En base a la información lograda y al diagnóstico, se estableció la Propuesta de las Medidas para el Manejo de Cuen-cas se plantea la realización de 7 represas y 14 terrazas colecto-ras de agua. Lo anterior se complementará con terrazas secun-darias, cuya función será que el agua infiltre en el lugar y se genere menos escurrimiento. También se propone una estrategia de doble uso de las represas laminadoras de caudales pico de escurrimiento, primero amortiguando los altos caudales de escurrimiento que, por mal manejo, causan daño y luego almacenando agua que posibilitará incrementar el riego y la producción.

- Se caracterizaron los suelos sobre los que se construirán las represas correspondientes al Proyecto de Manejo de Escurri-mientos con influencia en la Ruta provincial N° 23, utilizando criterios Geotécnicos.

-Se elaboraron los Pliego de Bases y Condiciones para la Contratación de Obras Civiles y se establecieron los Términos de Referencia para la ejecución de los proyectos licitatorios.

-Se organizó la información (alfanumérica y georeferenciada), en una Base de Datos asociada a un Sistema de Infor-mación Geográfica (SIG).

-El Proyecto presentado, propició que la provincia de Salta, a través de la Secretaría de Recursos Hídricos, realice convenios con los productores donde se construyen represas en sus campos, comprometiéndolos a mantener abiertas las represas durante el verano para laminar el escurrimiento y que las cierren desde abril para almacenar agua de riego que utilizarán durante los meses de invierno y primavera.

Conclusiones

El estudio de vegetación, ambiente y el diagnóstico de la situación actual de las microcuencas permitió concluir que el drenaje general del área de estudio es en dirección Oeste-Este y que se emplaza sobre cono aluvial antropizado, en el cual la dinámica de gran cantidad de cauces menores fue modificada para su incorporación agrícola y urbana haciendo que los caudales se concentren en algunos cursos que además deben captar y conducir mayores caudales debido a la modificación del uso de suelo que incrementó los caudales escurridos por la reducción de las pérdidas al escurrimiento y la reducción de los tiempos de concentración. Estas acciones de cambio de uso de suelo (agrícola y urbano) generó que la dinámica hídrica se modificara y el incremento de caudales y las elevadas pendientes les confirieran a estos nuevos cursos un alto poder erosivo generando zanjones rectos con profundización media y ensanchamiento buscando una forma meándrica, tal como se observa en el A° San Martín y Chocobar.

No existe continuidad en los cauces aguas debajo de las alcantarillas lo que genera que el agua se canalice por las cunetas generando concentración de flujo y por consiguiente una erosión de las mismas.

La construcción y puesta en funcionamiento medidas estructurales y no estructurales atenúa el hidrograma de entrada de las unidades de escurrimiento y atrasa el pico de escurrimiento. También evitará erosión de suelos y se podrá disponer de agua para riego.

El estudio de suelos en los lugares de emplazamiento de las futuras represas concluye que son aptos para la construcción de dichas Obras.

Referencias

- Arias, M. Y A. R. Bianchi. 1996. *Estadísticas climatológicas de la Provincia de Salta. Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Gobierno de la Provincia de Salta – I.N.T.A, E.E.A. Salta. 189 págs.
- Bianchi, A. R. (1996). *Temperaturas medias estimadas para la región noroeste de Argentina.* S.A.G.P. y A. de la Nación - INTA, Centro Regional Salta-Jujuy. E.E.A. Salta. 14 págs.
- Bianchi, A. R. (1996). *Las precipitaciones en el Noroeste Argentino.* INTA. Centro Regional Salta-Jujuy. E.E.A. Salta
- Cabrera, A. L (1994). *Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería.* Primera reimpresión, tomo 2, fascículo 1. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires, 85 págs.
- Nadir, A. Y T. Chafatinos. (1990). *Los suelos del NOA (Salta y Jujuy), Tomos I y II.* Salta, Argentina
- Pontussi, E. P. (1993). *Geografía del noroeste argentino. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta.* Salta,
- U.S. Army Corps of Engineers. (2000). *HEC-HMS: Hydrologic Modeling System, User's Manual.* Hydrologic Engineering Center.

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO Y DE ALTA FRECUENCIA EN LAS ZONAS ÁRIDAS COSTERA DEL PERÚ

David Ricardo Ascencios Templo¹ y Esperanza Cecilia Rondón Espinoza²

¹Maestría en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Perú.

²Ministerio de la mujer y poblaciones vulnerables, Lima, Perú.

Teléfonos 999117045 – 998003266

Dirección: Edificio Las Orquídeas, Departamento 804, Res. San Felipe, Jesús María, Lima, Perú
dascencios@lamolina.edu.pe, erondon@mimp.com

El Perú presenta tres grandes regiones geográficas con diferentes climas y regímenes de precipitación. La costa peruana es árida con precipitaciones menores a 10 mm/año, con excepción de los años en que se presenta el Fenómeno del Niño, en el norte de la costa se presentan altas precipitaciones. En la sierra precipita entre 400 a 600 mm/año, concentrándose las lluvias en los meses de diciembre a marzo, permitiendo una cosecha por año. La selva alta presenta precipitaciones de alrededor de 1000 mm/año y en la selva baja se presenta precipitaciones de 2000 a 2500 mm/año. En la zona costera del Perú, la falta de precipitación y la disponibilidad de suelos poco retentivos y profundos, como los suelos arenosos y pedregosos con altas velocidades de infiltración, que se encuentran en los inter-valles, laderas de los cerros y lechos de aluviones, son incorporados en la agricultura para los cultivos de exportación, utilizando los sistemas de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) como el riego por goteo y microaspersión, que permiten la aplicación uniforme y eficiente del agua (Pino-Vargas y Ascencios, 2022), adicionalmente con una selección adecuada del sistema de bombeo, permite el uso eficiente de la energía.

El agua y la energía son los recursos de entrada en los sistemas de producción agraria; el uso eficiente de estos recursos es vital para la productividad y la competitividad en la agricultura, así como para la sustentabilidad ambiental (Ahmad y Khan, 2017). El agua y la energía son recursos finitos y escasos, por lo que es necesario reducir sus consumos y usarlos eficientemente. En los sistemas de riego presurizados se ha priorizado el uso eficiente del recurso hídrico; sin embargo, muy poca atención se ha dado al uso eficiente de la energía. La disponibilidad de agua es el principal factor limitante en la producción agrícola e incremento de las áreas verdes urbanas (AVU) y agrícolas, limitación que crece debido al cambio climático y la competencia entre los diferentes sectores de usuarios; en este sentido, los aspectos que deben considerarse en la planificación e instalación de áreas verdes urbanas, son los siguientes: Selección de plantas de bajo requerimiento hídrico, resistentes a la sequía y al estrés hídrico, propias o adaptadas al medio árido; especies y variedades de mayor eficiencia del uso del agua (EUA); aplicación de calendarios y dosis de riego orientados a incrementar la EUA como el riego deficitario controlado (Ascencios *et al*, 2019), y plantas estéticamente aceptadas por los usuarios. Es necesaria la selección de plantas de bajo requerimiento hídrico o utilizar el riego deficitario controlado, para obtener una calidad visual aceptable que permita el ahorro y mejora de la gestión del agua de las áreas verdes urbanas con diseños de alta distribución de uniformidad y eficiencia de riego.

En los sistemas de riego presurizados, el ahorro y uso eficiente de energía no solo dependerán del bajo requerimiento, sino también del proceso de planificación y diseño del sistema de riego; es decir, la selección del emisor y la presión de trabajo, la distribución y tamaño de los turnos y subunidades de riego, el diámetro de la red de las tuberías principales y subunidades de riego, los filtros automáticos del cabezal, la selección adecuada de la bomba, motor y variador de frecuencia. El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico utilizado para el control de los motores eléctricos; el propósito es variar la velocidad del

motor mediante la frecuencia y voltaje, permitiendo el ahorro de energía y costos energéticos.

La automatización y tele control permite, operar los sistemas de riego adecuadamente y aplicar el agua uniformemente, permitiendo realizar el uso eficiente de agua y energía, reduciendo la emisión de dióxido de carbono (CO₂) (Ascencios *et al*, 2020). El objetivo del estudio fue presentar algunos criterios para el diseño del RLAF en las áreas agrícolas y jardines de las zonas áridas costeras del Perú.

La metodología presenta la secuencia de diseño utilizada para los proyectos de riego: a) balances hídricos, b) capacidades de los reservorios a nivel de fondo y obras complementarias, c) diseño agronómico que comprende el requerimiento de agua de los cultivos y requerimiento de lavado, capacidad de retención del suelo, área mojada, selección del emisor, eficiencia de riego, tiempos y frecuencias de riego, distribución de turnos y subunidades d) criterios para el diseño hidráulico de la subunidad, red principal, cabezal, selección de bomba, motor y variador y eficiencia energética, y f) automatización de un sistema de RLAF.

Se presentan los principales criterios utilizados para el diseño del sistema de riego.

Balances hídricos mensual y en base al turno de riego, en el cálculo de la demanda se debe considerar, la evapotranspiración del cultivo y los requerimientos de lavado que dependen de la conductividad eléctrica expresada en mmhos/cm (CE) del agua y sensibilidad del cultivo a las sales.

$$E_f.r = L_n / L_b = CU * (1 - K) \quad [1]$$

E_f.r = Eficiencia de riego (aplicación).

L_n = Lámina neta,

L_b = Lámina bruta,

CU = Coeficiente de uniformidad.

K = Percolación profunda o requerimiento de lavado.

Los suelos de los intervalles son de naturaleza salina, CE es mayor a 20 mmhos/cm. La CE del agua subterránea son mayor a 1 mmhos/cm.

Reservorio de geomembranas, a nivel de fondo nos garantizan el uso oportuno del agua, si la distribución del agua por parte de la junta de usuarios es por turnos, cada 4 días en verano y cada 20 días en invierno. A la capacidad útil del reservorio se adiciona un porcentaje entre 30 a 50 %, para incrementar la autonomía del reservorio. El agua del acuífero es salina y se mezcla con aguas de río y otros pozos para mejorar la calidad del agua.

Diseño agronómico, que comprende el cálculo de la evapotranspiración del cultivo y requerimiento de lavado. La capacidad de retención del suelo disminuirá por la presencia de piedras entre 10 al 70 %, lo que incrementará la frecuencia de riego, requiriéndose fraccionar la lámina bruta diaria aplicar o utilizar el riego por pulsos, esto se presenta en las laderas medias y bajas de los cerros. Ver Figura 1.



Figura 1. Calicata en suelos arenosos y pedregosos en el cultivo de tara.

Selección del emisor, se debe considerar la calidad de agua, topografía, exponente del emisor, coeficiente de variabilidad del emisor, diámetros de paso (ancho, profundidad, largo del laberinto del gotero) y precio.

Espaciamiento de emisores, depende de las características del suelo especialmente de la textura, caudal y tiempo de riego, se realizan traslapes de 40 % para formar franjas continuas de humedad. Se realizan pruebas de campo y calicatas para verificar la presencia de suelos compactados (hardpan).

Porcentaje de área mojada, dependerá del tipo de cultivo, (árboles, cultivos en línea) del diámetro de humedecimiento del suelo producido por el emisor, número y disposición de los emisores. Entre 20 a 30 % del área mojada para la mayoría de árboles frutales es suficiente para el desarrollo radicular.

Coefficiente de uniformidad, el diseñador lo propone para las subunidades de riego, entre 90 a 95 %. Considerando la calidad constructiva del emisor, el número de emisores por planta y el factor hidráulico (perdidas por fricción lineal, singularidades y topografía).

$$Cu = (1 - (1.27 Cv) / n) (q \text{ min} / q \text{ m}) \quad [2]$$

Cu = Coeficiente de uniformidad de la subunidad.

Cv = Coeficiente de variabilidad del emisor.

n = Número de emisores por planta.

q min = Caudal mínimo

q m = Caudal promedio.

Variación de caudal permisible de 10 % en la subunidad, considerando solo el criterio hidráulico para una variación de caudales del 10 % en la subunidad de riego, corresponde una determinada variación de presión permisible (V.p.p) que depende del exponente del emisor (x) y la presión de trabajo del emisor (P.t.e). Para goteros de régimen turbulento con un exponente del gotero de $x = 0.5$, la V.p.p corresponde al 20 % de la P.t.e.

$$V.p.p = (0.1 / x) * P.t.e \quad [3]$$

Para goteros auto compensados, $x = 0$, la V.p.p es la diferencia de la máxima presión menos la presión mínima de auto compensación.

La eficiencia de riego esperada, depende del coeficiente de uniformidad, requerimiento de lavado o percolación profunda y calidad del agua, que son considerados en la fórmula [1], adicionalmente depende además de la operación, mantenimiento, automatización y telecontrol.

Los turnos de riego en el fundo, están formadas por una o más subunidades de riego; y pueden ser de igual o diferente tamaño. Las válvulas de las subunidades de riego generalmente se colocan en las cotas topográficas más altas dentro de la

subunidad en terrenos con alta pendiente.

Diseño hidráulico, de los siguientes componentes:

La subunidad, se plantea el CU y/o las variaciones de presiones o caudales permisibles. Se verifica la disposición y longitud de laterales y porta laterales asegurando que las pérdidas de las tuberías sean menores que la V.p.p. Se determina la presión y caudal para cada subunidad de riego aguas arriba y abajo del arco de riego.

Red de la matriz de riego, se seleccionan los diámetros considerando los siguientes criterios i) rango de velocidades de 0.6 a 3 m/s, ii) altura topográfica disponible, iii) criterios técnicos y económicos considerando los costos fijos anualizados y los costos variables anuales. (uso de algoritmos como el simplex que permite minimizar los costos totales de la función objetivo bajo un conjunto de restricciones hidráulicas y geométricas propias del proyecto). La ubicación de válvulas de aire (cinéticas, automáticas y combinadas) y válvulas de purga en red de riego y cabezal son necesarias.

Cabezal de control, se considera un sistema de filtrado, sistema de fertirrigación y un conjunto de válvulas y dispositivos para monitorear y medir la presión y caudal del sistema.

Sistema de filtrado, pueden ser hidrociclones, filtro de grava, anillos y/o malla. El número de mesh o micras de la malla, anillo o tamaño de la grava, depende del diámetro de paso del emisor, el filtro debe retener partículas mayores entre 1/10 a 1/5 del diámetro de paso del emisor.

Sistema de ferti irrigacion, pueden ser venturis, bombas o mesas de fertilización, empleando fertilizantes solubles.

Las válvulas, permiten el control o medición del agua o presión, las más utilizadas son: a) check, permite el flujo en un solo sentido, b) alivio, para evitar las sobre presiones, c) sostenedora de presión, permite mantener la presión mínima para el lavado automático de filtros, d) reductora de presión, ubicadas en los arcos de riego para reducir la presión en la entrada de la subunidad, e) volumétricas, mide los volúmenes o caudales utilizados, f) aire, permite extraer las bolsas de aire, incorporar grandes volúmenes de aire durante el drenaje de la red y extraer grandes volúmenes de aire para el llenado de la tubería, g) manómetros o transductores de presión para el monitoreo de la presión.

Selección de la bomba, motor y variador de frecuencia, se utilizan las ecuaciones de afinidad de la bomba para calcular las revoluciones por minuto (rpm) que debe girar la bomba por cada turno de acuerdo a su requerimiento de presión y caudal, que permitirá un ahorro energético y económico, además de disminuir la emisión de CO₂, mitigando el calentamiento global.

Referencias

Ahmad, A.; Khan, S (2017). Water and energy scarcity for agriculture: Is irrigation modernization the answer? Irrigation and Drainage 66(1): 34-44.

Ascencios, D., Meza, K., Lluen, J and Simon, G (2020). "Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino". Journal of High Andean Research, Vol. 22 N° 122(1): 95-105.

Ascencios, D., Montalvo, N., Meza, K and Cifuentes, A (2019). "Irrigation coefficients of turfgrass (Stenotaphrum secundatum) in arid conditions, under water stress using subsurface drip irrigation". Scientia Agropecuaria 10(2): 207 – 216.

Pino-Vargas, E., Ascencios, D (2022). "Sustainability of olive cultivation under a climatological approach in an arid region at the Atacama Desert ". Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 23(3): e2652.

PROPUESTAS Y ACCIONES PARA EL MONITOREO REGIONAL SATELITAL DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Atencio, Adrián G.¹; Bazán, Raquel²; Bonansea, Matías³; Bordet, Facundo⁴; Caso, Matías⁵; Collado, Ramiro¹; Drozd, Andrea⁴; Ferral, Anabella⁶; German, Alba⁶; Minotti, Priscilla⁷; Muchiut, Jonathan^{2,8}; Nemiña, Francisco⁶; Othaz Brida, Ayelén⁵; Pérez, Gonzalo⁹; Quaini, Karina¹⁰; Redlich, Micaela¹¹; Rodríguez, Andrés^{2,8}; Rodríguez, María I.¹²; Rossen, Ariana¹²; Ruibal Conti, Ana¹²; Ruiz, Marcia¹²; Ryzdewski, Ana¹²; Sánchez Valdivia, Ayelén⁹ & Shoijet, Verónica¹³

¹DGI Dpto Gral de Irrigación de la Pcia de Mza; ²UNC Univ. Nacional de Cba, FCEFyN Fac. de Cs Exactas, Físicas y Naturales; ³ICBIA Inst. de Cs de la Tierra Biodiversidad y Ambiente CONICET, UNRC Univ. Nacional de Río Cuarto; ⁴CTM - Comisión Técnica Mixta de Salto Grande; ⁵AIC Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro; ⁶CCTC CONICET Centro Científico Tecnológico Cba del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, IG Inst. de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich; ⁷UNSAM Univ. de San Martín, EHyS Escuela de Hábitat y Sustentabilidad 3iA Inst. de Investigación e Ingeniería Ambiental; ⁸IDIT Inst. de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología; ⁹GESAP Grupo de Ecología de Sistemas Acuáticos a Escala de Paisaje, INIBIOMA Inst. de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente CONICET, UNCo Univ. Nacional del Comahue; ¹⁰MAYDS Minist. de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación; ¹¹ACUMAR Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo; ¹²INA Inst. Nacional del Agua; ¹³CEPROCOR Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Cba. Argentina

E-mail andres.rodriguez@unc.edu.ar; mirodriguez@ina.gov.ar; raquel.bazan.@unc.edu.ar; mbonansea@ayv.unrc.edu.ar; mcaso@aic.gov.ar; aferral@conae.gov.ar; pminotti@unsam.edu.ar; gonzalopez@comahue-conicet.gov.ar; kquaini@ambiente.gov.ar; aatencio@irrigacion.gov.ar

Introducción

Las floraciones algales nocivas (FAN) asociadas a fuentes de agua de potabilización requieren ser monitoreadas frecuentemente. Para poder anticipar situaciones y desarrollar medidas de gestión acordes, el desarrollo de algoritmos que vinculan los muestreos puntuales de agua con información satelital se presentan como una solución apropiada para el seguimiento de las variables de calidad de agua y en Argentina se cuenta ya con experiencias exitosas (Bonansea, 2021; Dogliotti, 2021; Ferral, 2017; German, 2020, entre otros). El presente trabajo, desarrollado en el marco del proyecto PROSAT II¹, tiene como objetivo contribuir en la elaboración de herramientas aplicables a cuerpos de agua superficiales destinados a la provisión de agua para consumo humano, integrando la información de sensores satelitales activos y pasivos con datos de campo, con énfasis en el seguimiento de las floraciones algales. Se presentan resultados obtenidos para los cuerpos de agua analizados, producto del trabajo conjunto de equipos de distintas instituciones y coordinado por el INA.

Áreas de Estudio y Metodologías

Se seleccionaron y agruparon 10 cuerpos de agua en función de sus antecedentes de floraciones algales, existencia de programas de monitoreo, su uso como fuente de abastecimiento de agua para potabilización y ubicación geográfica: Grupo 1: Embalses San Roque, Salto Grande, Mtro Pistarini (Río III) y Lago Moreno. Grupo 2: Embalses El Carrizal, Ramos Mexía, Los Molinos y Lago Nahuel Huapi. Grupo 3: Lago Gutiérrez y Río de la Plata. La herramienta a desarrollar es una aplicación web que muestra mapas del estado de las variables de calidad de agua relevantes para el seguimiento de las FAN. El enfoque metodológico involucró tres componentes: 1) obtención de datos de campo de calidad de agua y de radiometría, 2) desarrollo de algoritmos para estimación de variables asociados a la calidad de agua en función de variables espectrales y 3) caracterización del soporte WEB-GIS para la disponibilidad y visualización de mapas de productos satelitales. Se realizaron además 7 talleres técnicos con el objeto de introducir a los diferentes equipos en el monitoreo e impacto de las FAN, procesamiento de imágenes y obtención de mapas temáticos de indicadores de calidad de agua. Se recopilaron los antecedentes

y bases de datos de calidad de agua de cada reservorio y se propusieron diseños de monitoreo esenciales (ME) para cada uno de ellos. Se consideraron 7 variables esenciales (VE): nivel del cuerpo de agua (m), concentración de clorofila-*a* (Cl-*a*, µg/L), temperatura superficial del agua (°C), transparencia del disco de Secchi (DS, m), turbidez (NTU), sólidos suspendidos (SS, mg/L) y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM, *colored dissolved organic matter*, m⁻¹). Las VE Cl-*a*, SS y CDOM fueron determinadas en laboratorio, el resto de las variables fueron medidas *in situ*. Los ME se realizaron preferentemente en fechas coincidentes con el paso de los satélites Landsat 8, Landsat 9 y/o Sentinel-2 A y B por el área de estudio. Al menos en una ocasión, en cada uno de los cuerpos de agua (excepto el Río de La Plata), se efectuaron mediciones con radiómetro de campo (ASD, Field Spectroradiometer 350-2500 nm de CONAE) con el fin de clasificar los diferentes cuerpos de agua según su comportamiento óptico, detectar pigmentos específicos de diferentes especies algales y elegir los algoritmos de correcciones atmosféricas que mejor se adecúen a cada caso de estudio. Durante el período marzo 2022-2023 se totalizaron 70 campañas con unas 2500 mediciones *in situ* y determinaciones de laboratorio, con mediciones radiométricas hechas por primera vez en las aguas de El Carrizal, Los Molinos, Ramos Mexía, Moreno y Gutiérrez. Se realizaron pruebas de concepto de mapeo de las VE a partir de algoritmos que relacionan las mediciones a campo con datos espectrales satelitales. Para algunos cuerpos de agua ya había algoritmos disponibles, por lo que se desarrollaron otros nuevos que fueron calibrados y validados, a fin de tener cubiertos todos los cuerpos de agua y VE. Se desarrolló código en lenguaje R para el procesamiento de imágenes satelitales, la aplicación de algoritmos y la generación de mapas temáticos de la dinámica espacio-temporal de las variables analizadas en toda la superficie de los cuerpos de agua. Para el desarrollo del soporte WEB-GIS, se relevaron necesidades y requerimientos de usuarios en relación a los productos a través de una encuesta a distintos organismos y la revisión de plataformas disponibles a nivel global. Se propusieron los diagramas de flujo para generar productos de VE derivados de los satélites Landsat 8, Sentinel-2 A y B, MODIS-TERRA, Sentinel-1 y SAOCOM A y B con sus protocolos de descarga, procesamiento de imágenes y producción de mapas temáticos.

Resultados y Conclusiones

Se presentan algunos de los resultados obtenidos de las actividades y tareas técnicas de cada componente.

¹ PROSAT II- ARG. Programa de Desarrollo de Tecnologías Satelitales-BID N° 4840/OC- "Desarrollo de sistema geoespacial para el monitoreo de la calidad de cuerpos de agua interiores destinados a potabilización".

Comparaciones de CDOM: En la Figura 1, se ordenan los distintos cuerpos de agua estudiados de mayor a menor en relación a los valores promedios de CDOM a 440 nm. Se observa una marcada diferencia en la concentración de CDOM que refleja la variabilidad intrínseca que caracteriza a los cuerpos de agua continentales.

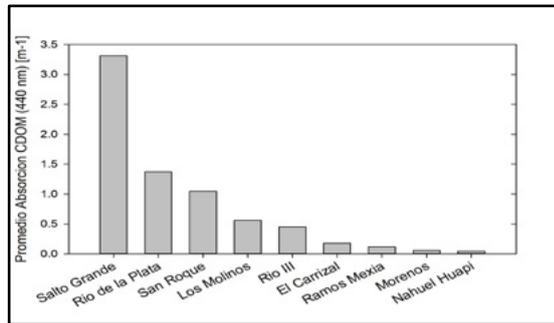


Figura 1.- Valores promedios de CDOM a 440 nm.

Caracterización espectral: La Figura 2 presenta los espectros de reflectancia en los puntos centrales obtenidos para 8 cuerpos de agua. Se observan patrones similares para los tres embalses de Córdoba y el Carrizal, con abundancia de fitoplancton y ocurrencia de cianobacterias (picos a 540, 714 y 820 nm). El embalse San Roque se distingue de los otros por su máxima reflectancia a 710 nm, típico de altas concentraciones de algas en superficie, mientras que Salto Grande presenta un perfil típico de aguas turbias, esperable para el invierno.

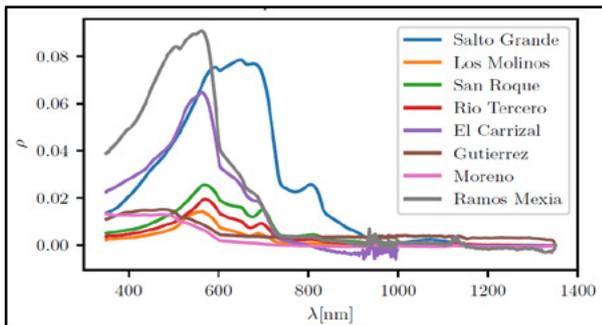


Figura 2. Espectros de reflectancia en los puntos centrales obtenidos en simultáneo con los ME y paso de algunos de los 4 satélites de interés.

Aplicación de algoritmos de variables de calidad del agua: Se recopilaron 18 algoritmos calibrados con imágenes ópticas y validados: Cl-a y temperatura: San Roque (5), Salto Grande (5), Río Tercero (5); CDOM y temperatura: Moreno (2); CDOM: Nahuel Huapi (1). Se propusieron nuevos algoritmos para los embalses Los Molinos (Cl-a) y El Carrizal (Cl-a), Río III (DS), y Ramos Mexía (temperatura y DS). La Figura 3 muestra la prueba de concepto para Cl-a en el embalse Los Molinos.

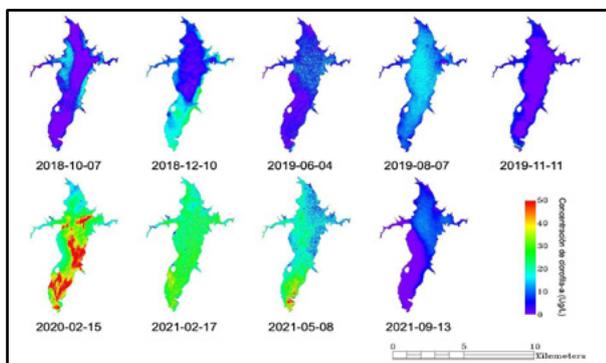


Figura 3.- Mapas de distribución de Cl-a en el embalse Los Molinos construidos a partir de una serie de imágenes Landsat 8.

Implementación de información SAR: La extracción de la superficie del cuerpo de agua a partir de imágenes SAR SAOCOM y Sentinel-1 demostró ser una buena alternativa para estimar y completar información en series de tiempo de nivel del agua, en embalses o lagos que presentan alta nubosidad para el uso de imágenes ópticas (Figura 4).

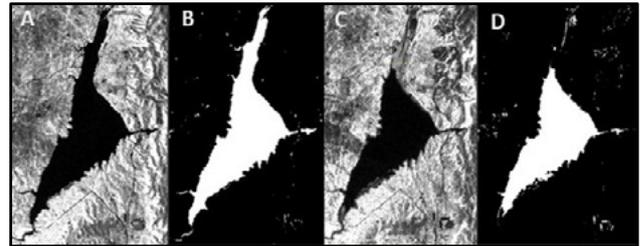


Figura 4.- Recorte de escena de imagen SAOCOM en banda HV del Embalse San Roque 1º/03/2022, aguas altas (A) y del 29/12/2020, aguas bajas (B). (C) y (D) máscaras binarias obtenidas en ambas condiciones en función del umbral (Intensidad Sigma HV \leq 0,05 | Intensidad Sigma HH \leq 0,17 \rightarrow AGUA).

Desarrollo de soporte WEB-GIS: Alrededor de 60 organismos respondieron la encuesta a potenciales usuarios de la herramienta, destacando un aumento de los eventos de floraciones algales, seguido de problemáticas por sedimentos y mortandad de peces. Muchos de los problemas identificados requieren la determinación de ciertas VE factibles de ser monitoreadas con imágenes satelitales ópticas.

Los flujos de información desarrollados en las pruebas de concepto serán fundamentales para la futura implementación operativa del WEB-GIS, cuya finalidad será poner a disposición mapas de productos satelitales referidos a la calidad del agua de los ambientes en estudio.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto constituyen un gran aporte con relación a la adquisición de datos de campo e información satelital. Se destaca, además, como un gran logro la coordinación y complementación técnica y operativa de más de 10 instituciones gubernamentales y centros de I+D cuyos profesionales abocados al proyecto conformaron un equipo integrado de trabajo, fortaleciendo las capacidades individuales en el área del desarrollo de algoritmos a medida y validación con datos de campo.

Referencias

- Bonanse, M., Bazán, R., German, A., Ferral, A., Beltramone, G., Cossavella A. and L. Pinotti (2021) "Assessing land use and land cover change in Los Molinos reservoir watershed and the effect on the reservoir water quality". *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103243.
- Dogliotti, A. I., Gossn, J. I., Gonzalez, C., Yema, L., Sanchez, M. L. and I. O'Farrell (2021) "Evaluation of multi- and hyper-spectral chl-a algorithms in the Río de la Plata turbid waters during a cyanobacteria bloom" *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 7442–7445.
- Ferral, A., Solis, V., Frery, A., Orueta, A., Bernasconi, I., Bresciano, J. and M. Scavuzzo (2017) "Spatio-temporal changes in water quality in an eutrophic lake with artificial aeration". *Journal of Water and Land Development*, 35(1), 27-40.
- German, A., Andreo, V., Tauro, C., Scavuzzo, M. and A. Ferral (2020) "A novel method based on time series satellite data analysis to detect algal blooms". *Ecological Informatics*, 59, 101131.

Agradecimientos

Al presidente del INA Dr J. C. Bertoni; a la CONAE Ing. M. Uriburu Quirno, Dr M. Scavuzzo, I. Tropper, P. Rivolta, J. Lezama, S. Heredia; APRHi Cba: P. O' Mill, M. Roqué, H. Calvimonte; Municipalidad de VCP: V. Martínez y L. Venturi; GESAP; DUAR; Patrulla del Río (Gob. Pcia Cba) y a la RIIGLO (Red de Intercambio de Información de los Gob. Locales de la zona costera del Río de la Plata).

APORTES DE DATOS SATELITALES PARA EL ESTUDIO HIDRO-MORFOLÓGICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO, ARGENTINA

^{1*}Aumassanne, Carolina; ²Salcedo, Ana Paula; ³Solorza, Romina; ³Teverovsky, Sofía; ³Machado, Federico; ³Soldano, Alvaro; ²Bonilla, Jorge; ^{4,5}Beget, María Eugenia; ⁴Oricchio, Patricio.

¹Agencia de Extensión Rural 25 de Mayo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 25 de Mayo, La Pampa, ARGENTINA

²Subgerencia Centro Regional Andino, Instituto Nacional del Agua, Mendoza, ARGENTINA

³Gerencia de Observación de la Tierra. Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Córdoba, ARGENTINA

⁴Instituto de Clima y Agua, CIRN. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ARGENTINA

⁵Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

E-mail: * aumassanne.carolina@inta.gob.ar

Introducción

Los datos satelitales ópticos y de radar brindan información de variables de la criósfera en distintas regiones del espectro electromagnético y en un continuo espacio-temporal. En las zonas montañosas de Argentina, se cuenta con antecedentes de estudios sobre la dinámica nival asistida por sensores remotos. Cogliati, *et al.* (2015) y Cara, *et al.* (2016) han realizado importantes aportes en el estudio de la dinámica nival con datos ópticos, en la alta cuenca del río Neuquén y la cuenca superior del río Mendoza, respectivamente. Por otro lado, la nieve de fusión ha sido estudiada en base a datos de radar (Salcedo y Cogliati 2014; Solorza *et al.* 2016; Teverovsky *et al.* 2018; Salcedo. *et al.* 2022). Aumassanne *et al.* 2019 y 2022) plantearon los primeros antecedentes de estudios multitemporales para la cuenca alta del río Colorado.

Con el firme objetivo de asistir a mejorar el manejo de agua en toda la cuenca del Río Colorado, se estableció un convenio interinstitucional INA-INTA-CONAE, utilizando el potencial de cada institución para desarrollar un sistema integrado de monitoreo de parámetros hidrometeorológicos. Este trabajo expone una parte de los alcances de este convenio.

El objetivo particular de este estudio, es conocer las condiciones de la nieve y el deshielo, generando series multianuales de superficie de nieve total y húmeda, a fin de analizar su relación con el caudal, e identificando el comienzo de la fusión. Asimismo, se investigan técnicas de estimación de Equivalente en Agua de Nieve, como variable predictor principal del caudal en cuencas de alta montaña.

Área de estudio

La cuenca alta del río Colorado está conformada por los ríos Barrancas y Grande, siendo este último el que aporta los mayores caudales por fusión nival. El área de estudio es la cuenca del río Grande con cierre en la estación de aforo La Gotera (35°52' 13.00"S; 69°53' 0.44"O). El área de estudio fue delimitada en función de la presencia de estaciones nivológicas y de caudales, abarcando un área de 5003,8 km², lo que representa el 48 % de la superficie de la cuenca del río Grande. En La Gotera, el caudal medio anual es de 96,5 m³.s⁻¹. Tiene un caudal promedio mensual de 53,9 m³.s⁻¹ en periodos de estiaje y un caudal máximo mensual de 302,91 m³.s⁻¹.

Datos utilizados y metodología

Para la obtención de **parámetros morfométricos**, se construyó un mosaico digital en base al MDE-Ar del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar>), que tiene 30 m de resolución espacial y una precisión vertical de aproximadamente 2 m. Se construyó un perfil longitudinal y dos perfiles transversales y se calcularon parámetros de forma, relieve y drenaje.

Para la obtención de **parámetros hidrométricos**, se estimaron 3 variables: cobertura de nieve total (CNT) según Salomonson y Appel (2004), cobertura de nieve húmeda (CNH) de acuerdo a Nagler y Rott (2000), Nagler *et al.* (2016) y equivalente en agua de nieve (EAN) según Guneriusen, *et al.* (2001) y Teverovsky *et al.* (2022). Se utilizaron datos satelitales de diversas fuentes y frecuencias (Tabla 1). Toda la información satelital fue sistematizada y procesada en Google Earth Engine (GEE), excepto los datos SAOCOM que fueron procesados en el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea.

Tabla 1.- Datos y sus características.

Variable estimada	Sensor	Resolución espacial [m]	Período [años]	Fuente
Cobertura Nieve Total (CNT)	MODIS Producto MOD10A2	500	2000-2022	https://code.earthengin.e.google.com/
	Sentinel 2A y 2B	20	2016-2022	https://code.earthengin.e.google.com/
Cobertura Nieve Húmeda (CNH)	Sentinel 1A y 1B	20	2014-2022	https://code.earthengin.e.google.com/
Equivalente en Agua de Nieve (EAN)	SAOCOM	10	2022	https://catalog.saocom.conae.gov.ar/

Respecto a la estimación del EAN, se aplicaron técnicas de Interferometría Diferencial (DinSAR) sobre imágenes radar SAOCOM en modo de adquisición StripMap, nivel de procesamiento L1A, polarización HH/VH, beam S4, a fin de obtener una diferencia de EAN entre dos periodos específicos. La metodología se testeó en la cuenca en estudio cuyos resultados fueron publicados en Solorza *et al.*, (2023).

En cuanto a **datos de campo**, se utilizaron los registros de EAN de la estación Valle Hermoso y Paso Pehuenche y de caudal de la estación de aforo La Gotera. Los datos fueron descargados del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de Nación (disponibles en <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/>). Se utilizaron datos diarios de ambas variables de la serie 2000-2021. Los datos de las estaciones sirvieron como validación de los resultados obtenidos mediante los procesamientos realizados con sensores remotos.

Resultados

Los principales parámetros de forma, relieve y drenaje estimados para el área de estudio son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2.- Parámetros morfométricos estimados.

Parámetros	Variables	Valor
De forma	Área de drenaje (km ²)	5003,8
	Perímetro (Km)	561
	Ancho promedio (Km)	38
	Longitud axial (Km)	164
	Coef. de compacidad de Gravelius	2,24
	Factor de forma	0,23
De relieve	Pendiente media (grados)	14,45
	Cota máxima y mínima (m.s.n.m)	4687-2592
De drenaje	Razón de elongación	0,49
	Longitud del curso pp (Km)	145
	Tiempo de concentración	4

De todo el período analizado, la superficie máxima cubierta por nieve fue de 4868,7 km² en agosto de 2002 y la mínima de 4,75 km² en enero de 2014. En promedio, la CNT fue de 3725 km² en los meses de invierno y de 281 km² en verano. Para el año 2022, se observa un marcado aumento de la CNT en la época invernal y un descenso de la misma al inicio de la temporada de fusión, en concordancia con un aumento en el caudal (Q) y una disminución de la CNH (Figura 1). Analizando las dos fuentes de información óptica, para la estimación de CNT, las mayores diferencias se obtuvieron en el período de fusión, a partir de agosto. Esta diferencia se debe a las resoluciones espaciales de ambas fuentes, ya que el producto MODIS resulta de un compuesto cada 8 días mientras que S2 arroja un valor absoluto diario.

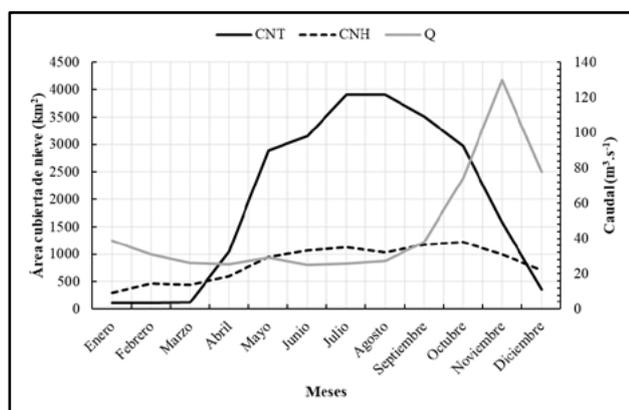


Figura 1.- Cobertura de nieve total (CNT) en base a MODIS y cobertura de nieve húmeda (CNH) a partir de Sentinel 1, en comparación con caudal de la estación La Gotera para el año 2022.

Consideraciones finales

Se construyó cartografía de superficie de CNT, CNH y se analizó espacial y temporalmente su relación con las características topográficas. Se determinó CNT a partir de sensores ópticos y CNH con datos SAR, y se presentó una metodología para el monitoreo de cobertura de nieve, avanzando en la estimación del EAN con datos SAOCOM. Se han probado metodologías tendientes a generar información de las condiciones de la nieve, que dan apoyo a los datos puntuales de estaciones de medición en alta montaña y aportan a la toma de decisiones y a la gestión del recurso agua abajo en un contexto crítico de escasez hídrica. La estimación de EAN mediante técnicas de DinSAR ofrece resultados prometedores. Se avanza en otras líneas de investigación para estimar EAN mediante modelos de nieve de base física. Se destaca el uso de grandes volúmenes de datos en la plataforma Google Earth

Engine, para el periodo 2000-2022. Se plantean como líneas de investigación para el año 2023: 1) el procesamiento de toda la información para las cuencas completas Grande y Barrancas y su validación con los datos de estaciones hidrológicas, además de relacionar los resultados obtenidos en este trabajo con datos de temperatura de superficie, de estaciones meteorológicas e información satelital, precipitación y otras variables hidrometeorológicas que permitan determinar la influencia estacional y las variaciones interanuales de la cobertura de nieve. 2) Proyecciones de escenarios de cambio climático y su incidencia sobre la temperatura y precipitación, la modelación hidrológica para la predicción de caudal en la cuenca alta del río Colorado, y el análisis de la relación oferta-demanda del agua considerando la disponibilidad del recurso en la alta cuenca. A partir de los resultados alcanzados y las líneas de investigación-extensión futuras que quedan pendientes, se destaca también la continuidad de los convenios de cooperación interinstitucionales para fortalecer vínculos y aportar capacidades a demandas territoriales concretas.

Referencias

- Aumassanne, C. M., Beget, M. E., Di Bella, C. M., Oricchio, P. y Gaspari, F. J. (2019). Cobertura de nieve en las cuencas de los ríos Grande y Barrancas (Argentina) y su relación con la morfometría. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*.
- Aumassanne, C. M.; Beget, M. E.; Oricchio, P.; Di Bella, C. M.; Gaspari, F. J.; Babinec, F. (2022). "Dinámica anual e interanual de la cobertura de nieve en la cuenca alta del Río Colorado (Argentina) y su relación con el caudal". *Revista Meteorológica*, 47(2).
- Cara, L., Masiokas, M., Viale, M., Villalba, R. (2016). Análisis de la cobertura nival de la cuenca superior del río Mendoza a partir de imágenes MODIS. *Revista Meteorológica*, 41, 21-36.
- Gneriussen, T., Hogda, K. A., Johnsen, H. and Lauknes, I. (2001) "InSAR for estimation of changes in snow water equivalent of dry snow," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, no. 10, pp. 2101-2108, Oct. 2001, doi: 10.1109/36.957273.
- Nagler, T & Rott, H. (2000). Retrieval of wet snow by means of multitemporal SAR data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 38, 754-765.
- Nagler, T; Rott, H; Ripper, E; Bippus, G and Hetzenecker, M. (2016) Advancements for snowmelt monitoring by means of Sentinel-1 SAR. *Remote Sensing* 8, no. 4: 348. <https://doi.org/10.3390/rs8040348>
- Salcedo, A.P. and Cogliati, M.G. (2014). Snow Cover Area Estimation Using Radar and Optical Satellite Information. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 514-523.
- Salcedo, A. P.; Aumassanne, C. M.; Solorza, R.; Teverovsky, S.; Haye, S.; Oricchio, P. (2022). "Uso integrado de datos satelitales para el monitoreo de parámetros hidrometeorológicos de la cuenca alta del río Colorado, Argentina". ICES-17. Mendoza, Argentina.
- Salomonson, V. y Appel, I. (2004). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of the Environment*. Vol. 89, Issue 3. 351-360.
- Solorza, R., Cogliati, M., Salcedo, A.P., Notarnicola, C. (2016). Estimación del Área Cubierta de Nieve con datos SAR en banda L en un sector cordillerano de la Patagonia Argentina. *Rev. La Asoc. Geol. Argentina*, vol. 73, pp. 421-429.
- Solorza, R.; Aumassanne, C.; Salcedo, A. P.; Teverovsky, S. (2023). Uso de datos satelitales de múltiples fuentes para la reconstrucción espacio-temporal de la cobertura de nieve en la cuenca alta del río Grande, Argentina. XXII Congreso Argentino de Tecnología Espacial. Mendoza, Argentina.
- Teverovsky, S., Notarnicola, C. (2018). Estimation of wet snow cover area with SAR imagery in the basin of Tupungato River, Mendoza, Argentina. Congreso Bienal Argencon IEEE 2022.
- Teverovsky, S.; Solorza, R.; Notarnicola, C.; Soldano, A. (2022). "Estimación del Equivalente en Agua de Nieve en base a técnicas de Interferometría Diferencial y datos de la constelación SAOCOM". Congreso Bienal Argencon IEEE 2022.

RELACIÓN ENTRE LA CURVA NÚMERO, LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL ARROYO SALADILLO- SUR DE SANTA FE

Bruno Barbagelata^(1,2) y Virginia Venturini^(2,3)

- (1) Barbagelata Ingeniería SA. Argentina - San Lorenzo 63 - Paraná (3100)
(2) Facultad de Ingeniería y Ciencia Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina - Ciudad Universitaria s/n – Santa Fe (3000). Teléfono 4575234 int 197
(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científico y Técnicas- Godoy Cruz 2290 (C1425FQB) CABA
E-mail: brunob@barbagelataingenieria.com / vventurini@fich.unl.edu.ar

Introducción

El modelo hidrológico de la Curva Número del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS-CN, por sus siglas en inglés) o simplemente CN, es una de los métodos más utilizados desde los años 80, para realizar la transformación lluvia-escurrimiento. El CN se hizo popular gracias a su simplicidad y capacidad para ajustarse a diferentes condiciones ambientales. El CN, ha sido una de las metodologías más elegidas y utilizadas entre muchos hidrólogos e ingenieros en todo el mundo. El método fue establecido originalmente por el Departamento de Agricultura de EE. UU. SCS (USDA-SCS) en 1954 como una herramienta de la agencia, para su uso interno. Desde entonces, el método CN ha sido incluido en una variedad de modelos hidrológicos, entre los que cabe mencionar HEC-1 y HEC-HMS, ambos desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU.; Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems (GLEAMS, Leonard et al. 1987); así como en el modelo Agricultural Non Point Source (AgNPS, Young et al. 1989) y sus modificaciones, y otros (Smith 1997; Lim et al. 2006). Una de las mayores críticas que recibe el método es la falta de un enfoque unificado para cuantificar la variabilidad del índice. En particular la cuantificación de la densidad de la vegetación (que define la cobertura/uso del suelo) y la humedad del suelo (HS), han sido una de sus debilidades (Woodward et al., 2003; Muche et al., 2019). En el mundo se trabajó para mejorar la determinación del CN con éxito (Gonzalez-Álvarez, 2014; Gabriels et al. en el 2021).

En Argentina se han realizado muchas aplicaciones de este método, aunque no todas han sido publicadas. Zimmermann et al. (2004) utilizaron un modelo basado en el CN para el saneamiento de áreas inundables del norte de Chañar Ladeado en Santa Fe. Scuderi y Stenta (2006) propone una metodología para asignar los valores de CN en la cuenca del Arroyo Ludueña, utilizando imágenes de la misión LandSat. Ares et al. (2012) discutieron la incidencia de la humedad antecedente en la estimación del escurrimiento, utilizando el método de CN en una cuenca agropecuaria de Tandil, provincia de Buenos Aires. Así, en este trabajo se propone encontrar una metodología para modificar el CN obtenido de tabla, incorporando la dinámica de la vegetación y la humedad en la cuenca del arroyo Saladillo en el sur de Santa Fe.

Área de Estudio y Metodología

El presente trabajo tiene como área de estudio la cuenca del A° Saladillo en la Provincia de Santa Fe. Se seleccionó un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para establecer una relación entre el uso de suelo de la cuenca, y el valor de CN. Así, se usó la plataforma Google Earth Engine, para calcular el NDVI con imágenes de la misión Sentinel 2 y realizar una clasificación no supervisada mediante un código en la plataforma GEE para vincular el uso del suelo con el índice de vegetación. De esta manera se obtienen las distintas clases,

utilizando como referencia el valor medio de NDVI de cada clase. Así, se asigna a cada clase un valor de CN predeterminado, según el uso y tipo de suelo estudiado, y establecer una ecuación entre los CN original y el NDVI. La variabilidad dentro de cada clase se obtiene usando el desvío estándar del NDVI.

El resultado de este proceso, es una tabla en donde para el valor promedio de cada clase establecida se asigna un valor de CN mediante la tabla patrón (Tabla 1) y los valores extremos del CN de cada clase, se asocian a más-menos el desvío estándar del NDVI.

Posteriormente se procedió a ajustar los valores de CN con la humedad del suelo (HS) de la cuenca en los momentos previos a las tormentas analizadas. El objetivo aquí fue encontrar una ecuación que permita variar el rango establecido por el método de CN y no solo en las 3 situaciones prefijadas que propone el método clásico Como se observa en la Figura 1, (Situación I, II y III del método de CN del NRCS). Esto se logra usando las imágenes de la misión SMAP disponible en plataforma GEE. Se utiliza la imagen de HS normalizada con los valores máximos y mínimos históricos de la cuenca.

Finalmente se realiza la modelación hidrológica con el modelo HEC-HMS usando el CN de tabla versus los CN corregidos por NDVI y HS. Los resultados se comparan los resultados para datos medidos en una sección de control a la salida de la cuenca.

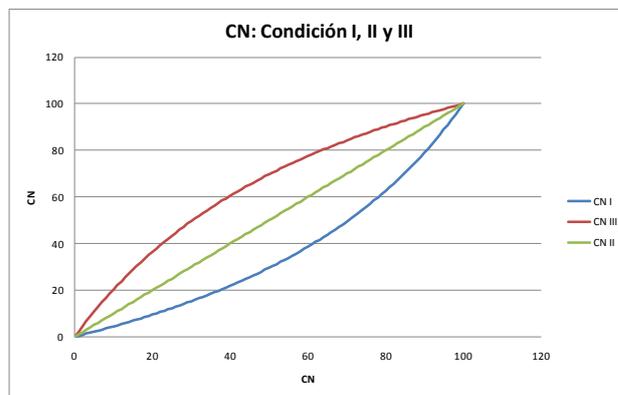


Figura 1.- Curvas de las condiciones de Humedad del CN del método original.

Resultados Preliminares

En este trabajo se presentan resultados preliminares que se obtuvieron de procesar cuatro fechas. La fórmula [1] vincula un valor de NDVI con un valor de CN. La misma se utiliza para calcular los CN pixel por pixel en el programa QGIS para luego corregirlos por la HS.

$$CN = -22.097 \cdot NDVI + 94.212 \quad [1]$$

En la Figura 2 se presenta la relación entre el CN original y el NDVI que da origen a la fórmula [1].

En la Figura 3 se observan los caudales obtenidos al realizar la la modelación de una tormenta con el CN obtenido por la

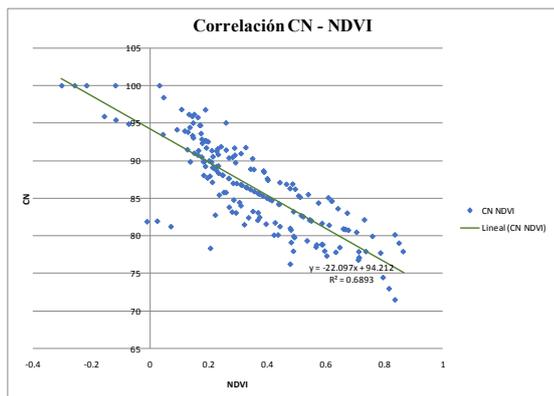


Figura 2.- Correlación entre el CN original y el NDVI

metodología descrita en contraste con el CN de tabla, manteniendo todo el resto de los parámetros constantes. En este caso se estudió una tormenta de marzo del 2017. El caudal pico es de 164 m³/s para la modelación con CN (Corregido) y de 241m³/s para la modelación con CN (Tabla). En la figura 4 se observa el caudal pico medido que fue de aproximadamente 180 m³/s.

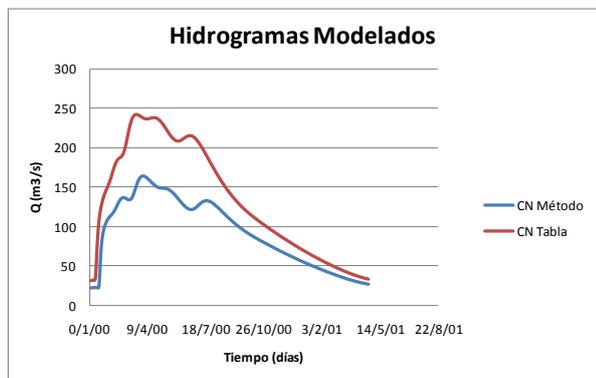


Figura 3.- Caudal modelado con CN (Corregido) en línea azul y obtenido con CN (Tabla) en líneas roja.

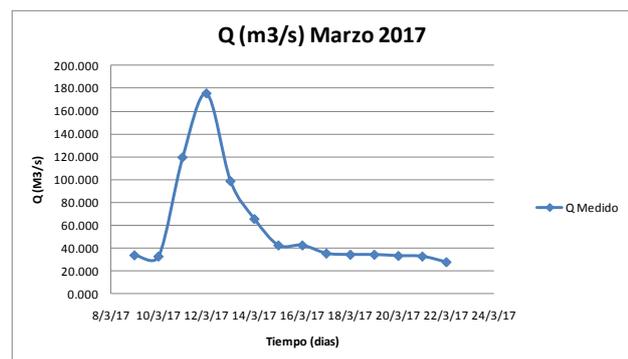


Figura 4.- Caudal Observado en la sección de salida de la cuenca

Conclusiones

En este trabajo se obtuvo una metodología para corregir el CN original de tabla que tiene en cuenta el uso del suelo y la humedad antecedente real de la cuenca. Esta metodología es simple de utilizar por cualquier usuario que disponga de una imagen de NDVI y datos de HS en la cuenca. Cabe destacar que estos resultados preliminares fueron obtenidos para un tipo de suelo (Tipo C) y debe verificarse para otros suelos. La

modelación de la tormenta muestra la sensibilidad del CN corregido; se obtiene un resultado satisfactorio, donde la reducción del CN corregido por HS logra aproximar mejor el caudal pico observado. Es importante destacar que el modelo de la cuenca aún está en proceso de calibración y que además el caudal observado se dedujo con una sección simplificada, por lo que se considera que los resultados son promisorios.

Tabla 1.- Tabla Patrón CN-NDVI (Clase de Suelo C)

CLASE	CN			NDVI		
	Min	Max	Prom	Min	Max	Prom
Agua	100	94	97	-0,50	0,00	-0,25
Suelo Desnudo	94	91	92,5	0,00	0,15	0,08
Ciudad	94	91	92,5	0,10	0,30	0,20
Barbecho	91	88	89,5	0,15	0,25	0,20
Cultivo inicial	88	86	87	0,25	0,35	0,30
Cultivo Regular	86	84	85	0,35	0,45	0,40
Cultivo bueno	84	82	83	0,45	0,55	0,50
Cultivo muy bueno	82	80	81	0,55	0,75	0,65
Cultivo excelente	80	78	79	0,75	0,95	0,85
Monte Regular	78	74	76	0,65	0,75	0,70
Monte Bueno	74	70	72	0,75	1,00	0,88

Referencias

- Ares, M. G., Varni, M., Chagas, C., and Entraigas, I. (2012). Calibración del número N de la curva de escurrimiento en una cuenca agropecuaria de 166 km² de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Agrociencia*, 46(6), 535-541.
- Gabriels, K., Willems, P., and Van Orshoven, J. (2021). Performance evaluation of spatially distributed, CN-based rainfall-runoff model configurations for implementation in spatial land use optimization analyses. *Journal of Hydrology*, 602, 126872.
- Gonzalez-Alvarez, A. (2014). *Development of a dynamic Natural Resources Conservation Service Curve Number (NRCS-CN) to account for the vegetation and soil moisture effect on hydrological processes* (Doctoral dissertation, The City College of New York).
- Leonard, R., Knisel, W. G., and Still, D. A. (1987). GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. *Transactions of the ASAE*, 30(5), 1403-1418.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Muthukrishnan, S., and Harbor, J. (2006). Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 42(3), 629-643.
- Muche, M. E., Hutchinson, S. L., Hutchinson, J. S., and Johnston, J. M. (2019). Phenology-adjusted dynamic curve number for improved hydrologic modeling. *Journal of environmental management*, 235, 403-413.
- Scuderi, C. M., & Stenta, H. (2006). Estimación del Número de Curva (CN) a partir de la interpretación de imágenes satelitales en la cuenca del A° Ludueña, Santa Fe, Argentina.
- Smith, P. N. (1997). Hydrologic data development system. *Transportation research record*, 1599 (1), 118-127.
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, Jr, A. T., Van Mullem, J. A., and Quan, Q. D. (2003). Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio. In *World water & environmental resources congress 2003* (pp. 1-10).
- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., and Singh, V. P. (1995). AGNPS: An agricultural nonpoint source model. In *Workshop on Computer Applications in Water Management* (Vol. 33).
- Zimmermann, E., Rentería, J. P., Stenta, H., and Riccardi, G. (2004). Uso de sistemas de Información geográfica e Imágenes Satelitales y su Aplicación en Hidrología. Caso de Estudio: Sector Norte de Chañar Ladeado (Santa Fe, Argentina). *Cuadernos del CURHAM*, 10, 85-95.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN DE SUPERFICIES DEPRIMIDAS - CUENCA DEL ARROYO MONJE, SANTA FE

G. Barrera⁽¹⁾, R. Mazzón⁽¹⁾, P. Del Prete⁽¹⁾, A. Spais⁽¹⁾, Y. Chicherit^(1,2)
C. Scioli⁽²⁾, J. Collins⁽²⁾, M. Charlón⁽²⁾

(1) Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional del Litoral (INA- SCRL), Santa Fe, Argentina.

(2) Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Habitat de la provincia de Santa Fe.

E-mail: barreragerardo.g@gmail.com, rmazzon@ina.gob.ar, delpretepablo@outlook.com, spaisagustina@gmail.com, yamichicherit@gmail.com, sciolicarlos@gmail.com, collinsjorge@gmail.com, marielascan@hotmail.com

Introducción

La cuenca del arroyo Monje se encuentra ubicada en el centro-sur de la provincia de Santa Fe, formando parte de la Región IV. Ocupa los departamentos San Martín, San Jerónimo, Belgrano e Iriondo.

El área de aporte es de aproximadamente 7132 km² siendo parte de la llanura pampeana. Se caracteriza por presentar un paisaje suavemente ondulado, con alternancia de lomas aplanadas y sectores deprimidos, donde se ubican lagunas y bajos anegables.

Está situada aproximadamente entre las coordenadas 31 ° 53' y 32° 50' de latitud sur y los 60° 53' y 60° 00' de longitud oeste, Figura 1.

Está altamente intervenida por la mano del hombre a través de rutas, caminos comunales y canales que resultan en un factor determinante en el comportamiento de los escurrimientos.

En términos generales, se puede observar que las rutas RP N°13, RN N°34, RP N°10 y RN N°11 se interponen a los sentidos generales de escurrimiento y las mismas se encuentran sobre elevadas topográficamente respecto de su entorno.

El presente trabajo está comprendido en el Estudio Integral Hidrológico Hidráulico de la Cuenca Del Arroyo Monje – Región IV y forma parte del convenio firmado entre Instituto Nacional del Agua (INA) y el Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat de Santa Fe.

Uno de los objetivos particulares del mencionado estudio consiste en conocer la capacidad hidráulica de conducción de la red de drenaje y la influencia de importantes sectores deprimidos, que se encuentran al oeste de la ruta Prov. N° 13 y que puedan retardar/retener el escurrimiento superficial, considerando eventos de precipitación de 2 y 5 años de recurrencia.

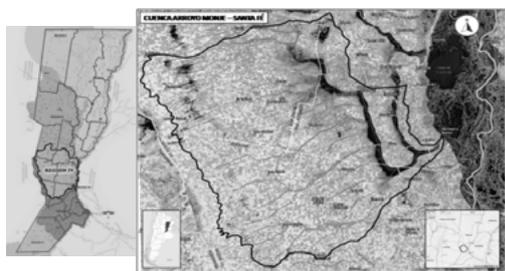


Figura 1.- Ubicación general de la cuenca arroyo Monje

Metodología

Sobre la base de la dinámica hídrica definida en el Plan Director de los Recursos Hídricos de la provincia de Santa Fe, Región IV, se desarrolló una revisión de la misma y se ajustaron los límites de las grandes subcuencas presentadas en la Figura 2.

Las divisorias entre subcuencas no responden siempre a límites geomorfológicos definidos. Existen superficies de muy baja pendiente donde se modifica la dirección del escurrimiento en función de la magnitud de las precipitaciones y/o a factores antrópicos, produciendo así, un efecto de transferencia de flujos entre las distintas subcuencas. Tabla 2.



Figura 2.- División subcuencas principales

A partir del análisis de imágenes de satélite, más precisamente, información de la misión Sentinel 2. Se generó una combinación de bandas (B11-B8-B3) que permitió identificar las zonas de acumulación superficial del agua del resto de la ocupación del suelo

La modelación hidrológica-hidrodinámica de la cuenca A° Monje se desarrolló utilizando los programas HEC-HMS y HEC-RAS.

Con el programa HEC-HMS (USACE) se simuló el proceso de transformación lluvia-escurrimiento de cada subcuenca que conforman el sistema de estudio, generando los hidrogramas para eventos de 2 y 5 años de recurrencia y cuatro días de duración. Las estaciones consideradas son Cañada de Gómez (INTA), Carlos Pellegrini (INTA), Las Rosas (INTA), Oliveros (INTA).

Con el programa HEC-RAS (USACE) se simuló la propagación del escurrimiento en el sistema de canales que conforman la red de drenaje principal/secundaria, considerando modelación hidráulica unidimensional. Para el caso de los sectores deprimidos se utilizó modelación hidráulica bidimensional.

El modelo se corrió bajo condiciones de flujo no permanentes, para dos escenarios.

- En el primer escenario (**ESC1-RAS**): Se realizó una modelación hidráulica unidimensional de la red de drenaje de canales principales y secundarios desde la ruta Prov. N°

13 hasta la desembocadura en el Río Coronda, totalizando 507 km modelados. Las zonas deprimidas aguas arriba de la ruta N° 13 se modelaron como áreas de aportes directos a los nodos ubicados en la mencionada ruta. Figura 3.



Figura 3.- Esquema Topológico (ESC1-RAS)

- En el segundo (ESC2-RAS): Se incorporaron los almacenamientos superficiales aguas arriba de la ruta N° 13 (Bajo 446 y bajo María Susana) simulados como zonas donde se acumula el agua - modelación hidráulica bidimensional - hasta cierto umbral de desborde. Los caudales generados por las áreas de aporte cercanas descargan hacia las zonas mencionadas. Figura 4 y Tabla 3.

Los umbrales de desborde están condicionados por las cotas de fondo de las alcantarillas existentes y que drenan los bajos hacia los secundarios.



Figura 4.- Esquema Topológico de la cuenca, con zonas de almacenamientos (ESC2-RAS).

Las curvas V- H de las zonas de almacenamiento se obtuvieron de datos generados a partir de los MDT (IGN y de estudios antecedentes).

Áreas deprimidas	Cota Mínima	Alcantarillas	Cota Fondo
Bajo 446	104.05 m	446	104.27 m
Bajo María Susana	100.3 m	446	104.92 m
		Bandurrias	102.824 m
		Biolatto	104.795 m
		Las Turbias	103.473 m

Tabla 3.- Características topográficas bajos y alcantarillas de desborde.

Resultados

A modo de ejemplo, se presenta el hidrograma resultado para los escenarios modelados, en un secundario existente, considerando una recurrencia de 2 años y en una sección de control ubicada en la ruta 13. Figura 5.

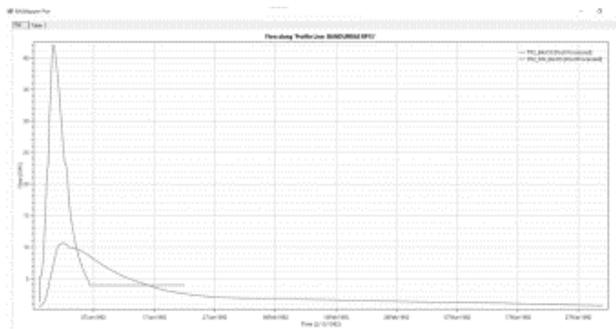


Figura 5.- Hidrogramas sec. Bandurrias.

También se presentan los perfiles donde visualiza el nivel máximo alcanzado, para cada escenario, cuando se produce el caudal pico del evento en la sección de control sobre ruta 13. Figura 6.

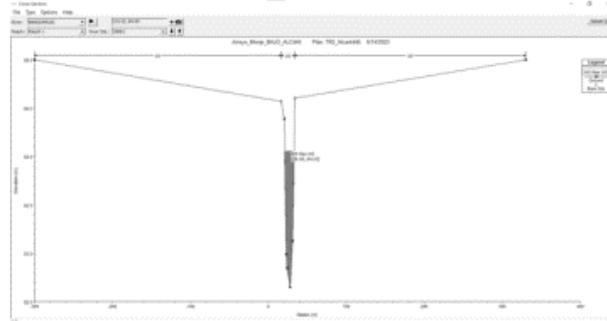
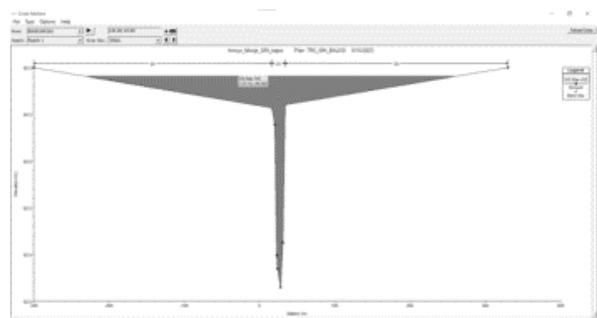


Figura 6.- Comparación pelo de agua de sección transversal en ruta 13 - sec. Bandurrias

En el canal Bandurrias, sección RP 13 vinculado al bajo “María Susana” presenta una disminución de caudales de 70%. Pasando 44 m³ a 12 m³ los caudales picos.

Conclusiones

Los resultados permiten realizar un análisis de la capacidad de regulación de superficies deprimidas que pueden retardar/retener el escurrimiento superficial en las cuencas de aporte y evaluar los tiempos de anegamientos para cada recurrencia simulada.

Estos resultados enriquecen los datos con que cuentan los tomadores de decisión al momento de planificar obras y gestionar durante las emergencias en el marco de una gestión integrada de manejo de excedentes superficiales.

Referencia Bibliográfica

Ven Te Chow (2000). Hidráulica de canales abiertos.

Hydrologic Engineering Center (2022). HEC-RAS. Hydrologic Engineering Center (army.mil)

ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL RIEGO POR PIVOTE CENTRAL EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES EN EL PERÍODO 1995-2020

1^{er}. Barrionuevo¹, 2^{do}. Waldman, Cynthia¹ y 3^{er}. Riera, Constanza²

¹ INTA – Instituto Clima y Agua, Argentina

² CONICET/ UBA – FFyL – IGEO, Argentina

E-mail: barrionuevo.nestor@inta.gob.ar, waldman.cynthia@inta.gob.ar, consriera@yahoo.com.ar

Introducción

En el informe de la FAO (2021) preveió un aumento demográfico que llegará a 9.400 millones de personas para el año 2050 que demandará un incremento de alimentos para la población. Utilizar los recursos naturales de manera sustentable para hacer frente al reto de alcanzar la seguridad alimentaria es un desafío que ha puesto en relieve la importancia de avance de la tecnología en el sector agropecuario.

Según el Censo Nacional Agropecuario (CNA) realizado en el año 2002 (INDEC, 2007), en la provincia de Buenos Aires fueron relevadas 89.661,8 hectáreas (ha) en riego por aspersión, mientras que en el CNA 2018 (INDEC, 2021) la superficie fue de 83.881,7 ha. Sin embargo, las áreas irrigadas en cultivos extensivos mediante este sistema se incrementaron en forma sostenida a partir de la década del noventa hasta la actualidad (Barrionuevo *et al.*, 2016). Este aumento se vio favorecido por el auge en la importación de tecnología para riego. A raíz de lo planteado anteriormente el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis espacio temporal de la evolución del área bajo riego mediante el sistema de pivote central en el período 1995-2020 y generar información geoespacial de base.

Metodología

En las últimas décadas el uso de los sensores remotos ha surgido como una herramienta efectiva para monitorear suelos irrigados, donde se tiene en cuenta la textura, estructura o disposición donde se separa el objeto geográfico que se quiere observar (Chuvienco, 2002). La identificación visual de la forma circular de los sistemas de riego por pivote central a partir de imágenes de mediana resolución espacial como las del satélite Landsat demostró ser un método factible (Ozdogan *et al.*, 2010) para su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Braga y Oliveira *et al.*, 2005). En este trabajo para realizar la interpretación y la generación de las capas temáticas en formato vector se utilizó QGIS.

Las imágenes que se utilizaron provienen del sensor Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Extended Thematic Mapper Plus) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). Estas fueron obtenidas del sitio del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Para el estudio se utilizaron las escenas correspondientes a los paths 223, 224, 225, 226, 227 y 228 y los rows 83, 84, 85, 86, 87 y 88 pertenecientes a los satélites Landsat sumando un total de veinticuatro escenas por año para cubrir la superficie de toda la provincia. Para el trabajo de investigación de relevamiento fueron procesadas en total 144 imágenes satelitales para el trabajo de investigación de relevamiento (figura 1).

Las imágenes seleccionadas se sometieron a un proceso de importación de bandas generando imágenes multiespectrales y luego se re proyectaron geoméricamente de Universal Transverse Mercator (UTM) en zona 20 norte a sur y a Datum WGS 84 con un programa de procesamiento de imágenes satelitales. Se confeccionó una cuadrícula (36 km x 36 km) en

QGIS, que se superpuso sobre cada imagen satelital que contenía la superficie total. Posteriormente, cada imagen fue barrida cuadro a cuadro para identificar los círculos de riego y digitalizarlos generando las capas de información en formato vectorial. Se calculó la superficie en hectáreas correspondiente a los círculos de riego digitalizados a nivel departamental y provincial (figura 2).

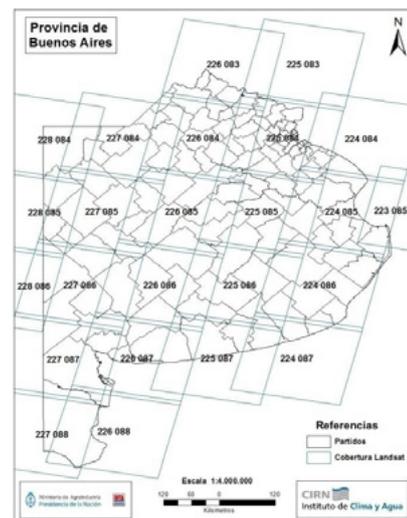


Figura 1.- Escenas del satélite Landsat.

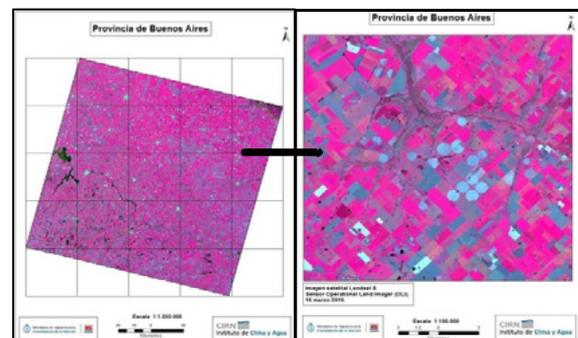


Figura 2.- Cuadrícula y círculos de riego sobre imagen satelital.

Resultados

Como resultado del estudio realizado se pudo observar que durante el período analizado (1995-2020) el riego por el sistema de pivote central en la provincia de Buenos Aires presentó un crecimiento continuo. En el primer año relevado se encontraron siete círculos cuya superficie fue de 515.79 ha. Mientras en el año 2015 se hallaron 2.305 círculos con una superficie total de 147.197,36 ha. En el año 2020 la superficie descendió a 142.734 ha. con respecto al año 2015 (figura 3).

En el año 1995 se observaron los primeros círculos de riego en partidos del norte de la provincia, que fueron expandiéndose en los siguientes años. Al año 2015 se pudieron determinar tres áreas bien definidas: noroeste, sudoeste y sudeste de la provincia (figura 4).

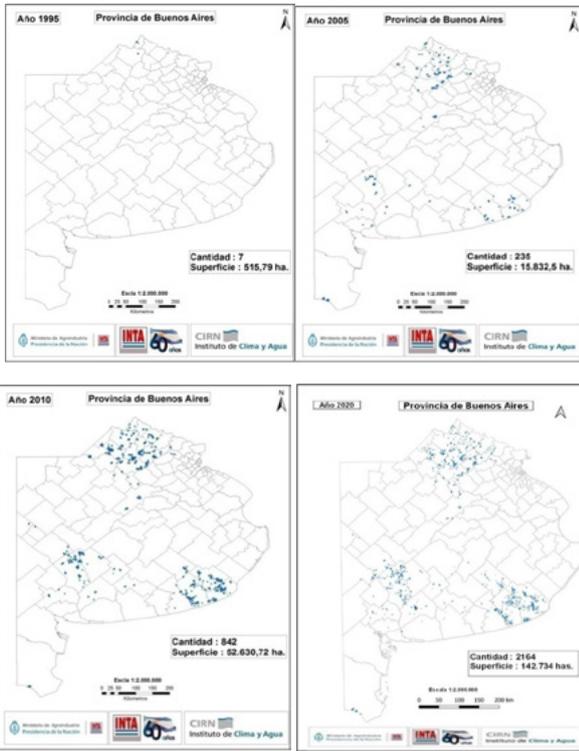


Figura 3.- Evolución de la cantidad y superficie de círculos de riego.

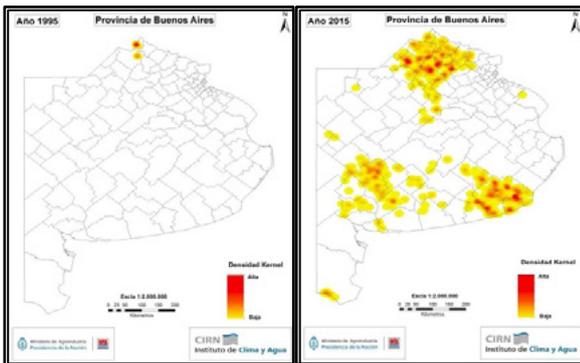


Figura 4.- Densidad de círculos de riego entre 1995-2015.

Al analizar la superficie ocupada por los círculos de riego en cada departamento se destacan los partidos de Salto, Rojas, Pergamino y Carmen de Areco en el norte de la provincia. En el sur en los partidos de Coronel Suárez, Lobería, General La Madrid, General Alvarado y Balcarce (figura 5).



Figura 5.- Superficie por departamentos con círculos de riego.

Se calculó la superficie del tamaño de los círculos de riego para cada período del relevamiento a nivel provincial, obteniendo los siguientes resultados en la tabla 1.

Tabla 1.- Superficies máximas, mínimas y promedio de los círculos de riego expresado en hectáreas.

Año	Superficie Mínima	Superficie Máxima	Promedio
1995	36,11	152,27	-
2000	8,31	229,7	59,76
2005	17,11	233,23	65,01
2010	15,6	307,37	62,57
2015	8,62	316,92	64,52
2020	8,87	343,86	65,95

En el año 1995 la superficie máxima de un círculo de riego fue de 152,27 ha. y fue incrementándose cada cinco años como se muestra en la tabla 1. En la figura 6 se puede observar el incremento de la superficie bajo riego en el período 1995-2020 salvo entre los años 2015-2020 que descendió salvo en algunos partidos del sur de la provincia (figura 5).

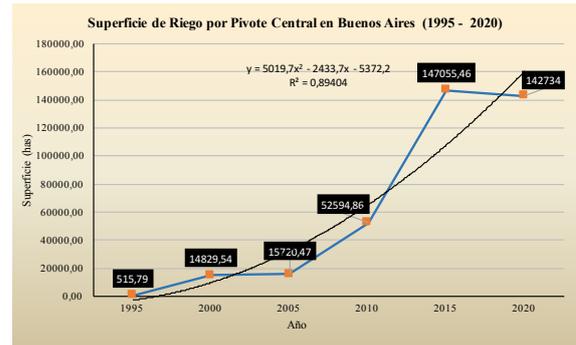


Figura 6. Superficie total de riego por pivote central entre 1995-2020.

Conclusiones

En los años del relevamiento se pudo observar un crecimiento del riego por pivote central en las zonas norte, sudoeste y sudeste de la provincia de Buenos Aires. Para el año 2015 en la zona norte se destacan los departamentos de Salto (10.433,51 ha); Rojas (9.860,71 ha); Pergamino (6.296,2 ha) y Carmen de Areco (5.573,59 ha). En el sur, los departamentos de Coronel Suárez (18.268,52 ha); Lobería (14.813,62 ha); Balcarce (11.261,01 ha), General La Madrid (5750,37 ha) y General Alvarado (8.360,39 ha). Se destaca Coronel Suárez como el departamento con mayor cantidad de superficie con riego por pivote central de la provincia de Buenos Aires desde el año 2015. Para el año 2020 hubo descenso en la superficie de riego por pivote central principalmente en el norte de la provincia, pero en el sur ésta se incrementó. En Cnel. Suárez se observó un aumento de la superficie a 21112,3 ha; Lobería a 17.283,3 ha y Balcarce 14.998,9 ha.

Referencias

- Barrionuevo, N., German, L. y Waldman, C., (2016). Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el período 1995-2015. *Sociedad Latinoamericana de Especialistas Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial –SELPER–*, Iguazú, Misiones, Argentina.
- Braga, A.; Oliveira, J. (2005). Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens. Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE. 849-856 pp.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Edit. Ariel Ciencia. España. Evans R. 2001. Center Pivot Irrigation. USDA. Agricultural Research Service.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2007). Resultado General del Censo Nacional Agropecuario 2002. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Buenos Aires.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2021). Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados definitivos. 1.a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado el 10 abril 2023. <https://cna2018.indec.gov.ar/>
- Ozdogan, M.; Yang, Y.; Allez, G.; Cervantes, C. (2010). Remote sensing of irrigated agriculture: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 2, 2274-2304.

IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE MONITOREO DE ACUÍFEROS EN LOS VALLES PRODUCTIVOS DE SAN JUAN, ARGENTINA.

Battistella, Romina; Ortega, Irene & Fernanda Carelli

Instituto Nacional del Agua- Centro Regional de Aguas Subterráneas
E-mail rbattistella@ina.gov.ar, iortega@ina.gov.ar, fcarelli@ina.gov.ar

Introducción

Para gestionar el recurso hídrico subterráneo es necesario conocerlo de forma exhaustiva. San Juan dispone de 2 fuentes superficiales principales para el desarrollo de sus actividades: el río San Juan (RSJ) y el río Jáchal (RJ), que descargan *naturalmente* sus aguas sobre los acuíferos y *artificialmente* sobre obras hidráulicas (diques) construidas a partir de la década del 80. Los acuíferos que subyacen los valles irrigados son la única reserva hídrica disponible con la que cuenta la provincia, además de ser la alternativa y refuerzo a la amplia red de riego existente. Frente a la histórica sequía que atraviesa la región, la Secretaría de Agua y Energía (SAE) del Gobierno de San Juan, solicitó al Instituto Nacional del Agua – Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA-CRAS) poner en marcha una metodología de trabajo que permita conocer y documentar la calidad del agua y los niveles estáticos de los acuíferos de los principales valles productivos: Valle de Tulum (VT), Valle de Ullum- Zonda (VUZ), ambos con el RSJ como fuente de recarga y Valle Jáchal y Huaco (VJH), con el RJ como fuente de recarga. El INA-CRAS concentra la mayor información de agua subterránea de la región. El propósito del presente trabajo fue obtener una red de monitoreo (RM) para poder realizar en los años futuros un seguimiento del estado general de los acuíferos, y así contar con información actualizada de manera permanente. Esto permite almacenar mediciones temporales y espaciales de niveles y calidad del agua subterránea, identificar puntos críticos de monitoreo, facilitar el análisis de las respuestas de dichas mediciones a las variaciones del clima y posibilitar la predicción de los efectos en la disponibilidad y calidad del recurso, la cual servirá de base para guiar en el futuro una gestión sustentable orientada a las necesidades humanas.

Metodología

Como antecedente de la presente actividad (Battistella, 2021; Ortega, 2022), se procedió a recopilar toda la información de pozos existentes, de VT, VUZ, VJH por ser los de mayor impacto debido a la cantidad de superficie cultivada en la Provincia. La metodología utilizada para el diseño de la RM se basó en recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) (EPA, 1992). De esta manera se examinó toda la información de los sitios de muestreo, parámetros a muestrear y métodos a utilizar. A partir de esto se seleccionaron distintas perforaciones bajo criterios descriptos en Battistella (2021).

Una vez georreferenciadas se procedió a hacer el análisis de niveles estáticos y de la hidroquímica para poder interpretar los resultados de los análisis obtenidos y así determinar cuáles serían las perforaciones más convenientes para ser incorporadas a la RM de manera que representen el estado general de cada acuífero.

Se tomaron muestras y niveles estáticos de agua subterránea durante la temporada previa al bombeo intensivo (primavera-verano 2021) y posteriormente se realizó un segundo monitoreo durante la temporada de reposo de los acuíferos, entre mayo y julio del 2022.

Los análisis efectuados en el Laboratorio de Hidroquímica del CRAS, se realizaron siguiendo las técnicas descriptas en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 1998) e incluyeron las siguientes determinaciones: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{+}),

Sodio (Na^{+}), Bicarbonato (HCO_3^{-}), Sulfato (SO_4^{-}), Cloruro (Cl^{-}), Fluoruro (F^{-}), Nitrato (NO_3^{-}) y Boro (B); expresándose la concentración de los diferentes iones determinados en mg/l (miligramos por litro).

Resultados

Durante el año 2021 y 2022, dentro del estudio se visitaron 690 perforaciones distribuidas en VUZ, VT y VJH. Se observaron las condiciones de funcionamiento de las mismas, midiéndose niveles estáticos y obteniéndose muestras de agua, como muestran las tablas 1 y 2.

Tabla 1.- Perforaciones visitadas y monitoreadas del VT y VUZ durante los años 2021 y 2022.

POZOS (totales)	Visitados		Niveles Estáticos		Hidro química	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
VT (403)	265	315	161	282	165	208
VUZ (46)	31	37	15	12	21	8

Tabla 2.- Perforaciones visitadas y monitoreadas del VJH durante los años 2021 y 2022.

POZOS 2021-2022 (totales)	Visitados	Niveles Estáticos	Hidro química
VJH (52)	42	34	17

La planificación de esta RM y el establecimiento de puntos críticos de control, se realizó en base a la interpretación de los resultados obtenidos en las campañas 2021 y 2022. De esta manera la elección de los puntos que forman parte de la red, se basa en un profundo estudio de los antecedentes, tales como la profundidad, la ubicación geográfica, la hidroquímica y las características hidroambientales de las perforaciones que permitió realizar una selección exhaustiva a partir de la totalidad de las perforaciones.

Así de las 46 perforaciones visitadas del VUZ, quedaron seleccionadas 26 que representaban profundidades donde las variaciones estacionales de los niveles estáticos no estiman afectar la toma de muestras. Algunas ubicadas en los bordes de cuenca y otras en la zona de mayor recarga para representar la totalidad de la calidad del valle (figura 1)

En el VT, fueron 403 los pozos visitados y han sido seleccionados 146 para la RM (figura 2). Este es el valle irrigado de mayor envergadura con más de 70.000 hectáreas cultivadas y donde la variabilidad en la estructura del subsuelo merece una selección meticulosa de los puntos a monitorear. Varios factores fueron tenidos en cuenta como el acuífero libre y confinado, las zonas de urbanización, industria y producción, los bordes de cuenca, las líneas de flujo de agua subterránea y las zonas de recarga y descarga del acuífero.

En el VJH, 52 pozos se visitaron pero existe gran cantidad de perforaciones inaccesibles, ya que históricamente la sustitución por el sistema de canales dejó relegado el bombeo de pozos. Se visitaron 42 perforaciones y las 42 han sido incorporadas a la red de monitoreo (figura 3), contemplando los factores descriptos anteriormente en el VUZ y el VT.

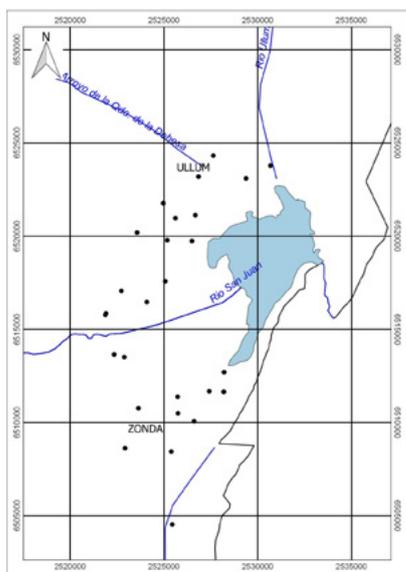


Figura 1.- Red de monitoreo Valle de Ullum-Zonda.

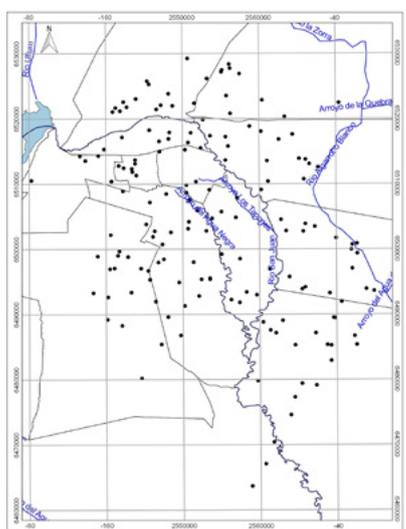


Figura 2.- Red de monitoreo Valle de Tulum.

Conclusiones y discusiones

Lo que destaca del establecimiento de las redes de monitoreo de agua subterránea es una política de vanguardia frente a la gestión integrada de los recursos hídricos. La articulación institucional entre el estado nacional y los gobiernos provinciales a través de la generación de proyectos conjuntos permite la maximización de los recursos, las capacidades profesionales, técnicas y principalmente económicas en la investigación aplicada bajo el contexto de crisis ambiental y económica. Este proyecto expone resultados que evidencian variaciones en la calidad y en la cantidad de agua subterránea de las zonas de estudio, por lo cual los mismos podrán emplearse para advertir sobre el impacto que la actividad antrópica genera en el recurso hídrico subterráneo y aportar criterios en la toma de decisiones sobre su gestión. Específicamente, a partir del monitoreo de la calidad del agua se obtiene una zonificación urbana y rural apuntando al ordenamiento territorial, de manera que la ubicación de barrios, industrias, plantas de tratamiento, entre otros, tengan una localización que impacte de la menor manera el recurso del cual dispone la población. A su vez, la producción agrícola dispone de mapas de aptitud de riego para facilitar las decisiones vinculadas a la elección de los cultivos por la sensibilidad de los mismos a los diferentes elementos presentes en el subsuelo.

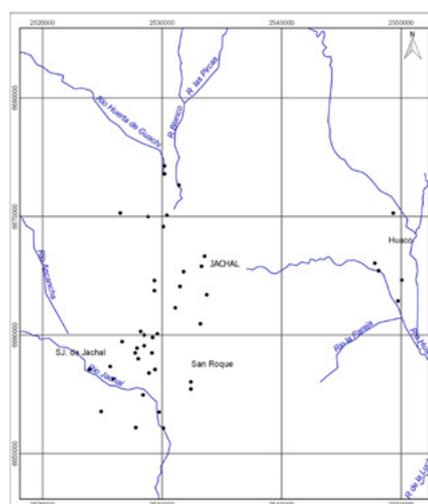


Figura 3.- Red de monitoreo Valle de Jáchal y Huaco.

El impacto de los agentes contaminantes es definitivo en la ubicación y profundidad de las plantas de abastecimiento de agua potable, así las RM permiten obtener zonas potencialmente sensibles o vulnerables y aplicar estrategias de mitigación o preservación de las mismas, además, permiten completar líneas de base que facilitan el seguimiento del impacto ambiental de las actividades humanas. El análisis de la evolución cualitativa del agua subterránea permitió evaluar el efecto de la red de cloacas y es una herramienta para la planificación del crecimiento de la misma identificando zonas de urgencia de construcción de obras sanitarias, en ciudades emergentes como San Juan. Por otra parte, la medición de los niveles estáticos es una herramienta imprescindible, ya que permite determinar la variación de almacenamiento que se produce año a año en los acuíferos, es decir el seguimiento del estado cuantitativo del acuífero, indispensable para organizar y planificar el riego y el consumo por parte de las diferentes actividades que se realizan en los valles productivos, priorizando el consumo humano. El conocimiento de las necesidades de los cultivos, admite conocer la demanda hídrica para gestionar a partir de la misma y no desde la errática oferta anual del recurso superficial. Un aspecto a destacar es que el conocimiento de los niveles estáticos y su variación facilitan la planificación de la recarga para la sostenibilidad del acuífero y a su vez conocer los volúmenes explotables de agua subterránea. En consideración del sostenido crecimiento demográfico y de las actividades asociadas al mismo, se recomienda contemplar anualmente el monitoreo de todas las variables hidroquímicas involucradas en la calidad de agua y realizar mediciones de los niveles estáticos en todos los valles productivos de la provincia y así disponer de la información periódica y continua a fin de tener un conocimiento acabado para gestionarlo de manera eficiente. Este control del recurso hídrico reviste especial importancia en los acuíferos del área de trabajo bajo el actual periodo de sequía; ya que los mismos asisten y/o reemplazan al recurso hídrico superficial en su aplicación para distintos usos.

Referencias

- Battistella, R. & P. Luna (2023)** Red de monitoreo de agua subterránea de los acuíferos de Tulum y Ullum-Zonda INA-CRAS, San Juan, Argentina. Informe Técnico 413 (IT-413)
- Battistella, R. (2021)** Plan de estudio y monitoreo de agua subterránea en los acuíferos de los valles de Tulum y Ullum-Zonda. Provincia de San Juan. INA-CRAS, Informe Técnico 403 (IT-403) Argentina.
- EPA, U. (1992)** Preparación de un Plan de Muestreo en Proyectos de la U.S. EPA Región 9
- Ortega, I; Cabrera, G. y F. Carelli (2021) y (2022)** Plan de estudio y monitoreo de agua subterránea de los valles de Jáchal y Huaco. Provincia de San Juan. INA-CRAS, Informe Técnico 405 (IT-405 e IT-408) Argentina.

DESEMPEÑO DEL RIEGO POR SUPERFICIE DE CEBOLLA (*ALLIUM CEPA* L.) EN EL VALLE BONAERENSE DEL RÍO COLORADO

Marcos Bongiovanni¹; Rolando Anze¹; Roberto Simón Martínez²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi, Ruta 3 km 794 (8142), Hilario Ascasubi, Villarino, provincia de Buenos Aires, Argentina.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior de Río Negro, Ruta Nac. N° 3 km 971 - Camino 4 IDEVI (8500), Viedma, Río Negro, Argentina.

E-mail: bongiovanni.marcos@inta.gob.ar

Introducción

Durante los últimos de 13 años el cambio climático ha tenido impacto en la acumulación de nieve en la Cordillera Argentina, disminuyendo los derrames del río Colorado e incrementando su salinidad. Así, en el valle bonaerense del río Colorado (VBRC) la superficie regada se redujo a la mitad (140.000 a 70.000 ha), no siendo la excepción para el cultivo de cebolla sembrado y regado en surco o melga, disminuyendo su superficie durante los últimos años a valores cercanos a 8.000 ha (Lucanera *et al.*, 2023) y migrando productores a los valles de Río Negro.

El riego por superficie o gravedad continúa siendo objeto de investigación en Argentina y en el mundo, potenciado por la evolución del precio de la energía (Pereira *et al.*, 2010). Diseñado y manejado correctamente puede ser muy eficiente y uniforme (Faci y Playán, 1994). Para definir cuantitativamente el desempeño del riego es necesario realizar ensayos de campo (Walker, 1989). Grassi (1998) y Schilardi *et al.*, (2015) mencionan y destacan la necesidad de ejecutar evaluaciones de a campo, como punto de partida para alcanzar el riego estratégico. No existe en el valle un estudio integral del riego de cebolla que califique su desempeño actual y potencial, proponiendo mejoras para el aumento de la eficiencia de riego.

Objetivo

Caracterizar el riego por superficie de cebolla en el VBRC, calificar su desempeño actual y potencial a través de indicadores y proponer alternativas de manejo a campo que aumenten la eficiencia de riego

Materiales y Métodos

El periodo de estudio coincidió con el ciclo de cultivo de cebolla de días largos: de septiembre de 2015 a febrero de 2016. En cada uno de los casos se contactó al operario del riego, a quien se puso al tanto de las características del estudio. Las evaluaciones se efectuaron mientras el riego se desarrollaba de manera habitual, sin alterar ni entorpecer la labor del regador (figura 1).



Figura 1.- Registro a campo de la fase de avance y receso.

Durante la evaluación a campo se tomó registro de: sistema de entrega de agua (turnado o caudal continuo), método de riego

(surco o melga), entrega del agua a la parcela (sifón o boquete), caudal de ingreso en compuerta, de manejo en acequia y entregado en parcela, tiempo de riego y volumen de agua aplicado, avance y receso, pendiente y dimensiones de la unidad de riego, surcos o melgas regadas de manera simultánea, perfil y perímetro mojado, infiltración del suelo y densidad aparente. También se tomaron muestras de agua y suelo que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelo y Agua de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Hilario Ascasubi, con las que se determinó humedad gravimétrica, conductividad eléctrica, pH, cationes solubles, carbono orgánico oxidable y textura por el método de Bouyoucos.

La información registrada permitió confeccionar una base de datos con la cual realizar el estudio de la eficiencia de riego según la metodología desarrollada por Chambouleyron y Morábito (1982), los indicadores de desempeño propuestos por Grassi (1998), Burt *et al.* (1997) y Morábito (2003) y los estándares de ASCE (1978), ASAE (2000). Para la obtención de los escenarios de optimización se utilizó el modelo matemático de simulación de riego WINSRFR 4.1.3 (Bautista, 2013) desarrollado en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). La fracción de agua sobre aplicada que garantiza un adecuado balance salino se calculó mediante la ecuación propuesta por Van der Molen (1983).

Resultados y Discusión

Se realizaron 30 evaluaciones de riego a campo abarcando homogéneamente la superficie del valle y el ciclo de cultivo, representando el riego de un total de 478 hectáreas de cebolla y un 4% del total de la superficie sembrada para la campaña correspondiente (Barbero *et al.*, 2016). A su vez, la muestra resultó satisfactoria en relación al número de regantes, la superficie irrigada por intendencia de riego (CORFO, 2018) y sembrada de cebolla para la campaña.

En cuanto a los indicadores de desempeño del riego, la Eficiencia de Conducción Interna (ECI) resultó del 85%, es decir, se registró en promedio una pérdida de agua del 15% en el tramo comprendido desde la toma o compuerta de la chacra hasta el lote a regar. Sin embargo, la tercera parte de los casos evaluados presentó pérdidas mayores y se sugiere el mantenimiento de las acequias, el análisis técnico económico del revestimiento o la utilización de mangas de polietileno para la conducción del agua.

La Uniformidad de Riego o Eficiencia de Distribución (EDI) promedio fue 86%, satisfactorio para riego por superficie. En aquellos casos con percolación en cabecera, se recomienda el aumento del caudal unitario mediante la reducción del frente de riego. Para la percolación al pie de riego se sugiere reducir el tiempo de aplicación o corte.

Con respecto a la eficiencia de aplicación (EAP), el valor promedio para el total de casos bajo estudio y ciclo del cultivo fue menor al 50%. Por otro lado, la EAP aumentó a medida que avanzan las etapas de cultivo. Esto se debe a al incremento de la lámina a reponer con el riego en estadios avanzados de cultivo, y en menor medida a lámina bruta aplicada, que en promedio fue 87 mm y no registró diferencias significativas entre etapas de cultivo.

Aun así, al tratarse de un cultivo hortícola con escasa exploración del perfil del suelo, el principal problema fue el exceso de agua percolada.

El caudal unitario promedio registrado en melga fue de $3,5 \text{ L s}^{-1}$ por metro de frente de riego, con un tiempo de aplicación de 94 min. Por su parte, en surcos, el caudal unitario fue de $0,54 \text{ L s}^{-1}$ por surco y el tiempo de aplicación del agua 370 min. De la optimización del riego con el modelo WINSRFR 4.1.3 se obtuvieron caudales unitarios óptimos para melgas cercanos a 5 L s^{-1} por metro de frente de riego y, en el caso de surcos, $0,8 \text{ L s}^{-1}$ por surco, por lo cual se recomienda aumentar el caudal unitario reduciendo el frente de riego.

Durante la primera etapa de cultivo (septiembre a noviembre) el factor de agotamiento (p) calculado por Allen (2000) y Grassi (1988) es mayor a la fracción de agua consumida (f_c) registrada a campo previo al riego (Figura 2). Esto significa que en ese periodo el cultivo de cebolla se riega antes del umbral de riego teórico. Sin embargo, estos umbrales no consideran la particularidad de los cultivos anuales de semilla y las condiciones locales en las que el agua ocupa otros usos racionales.

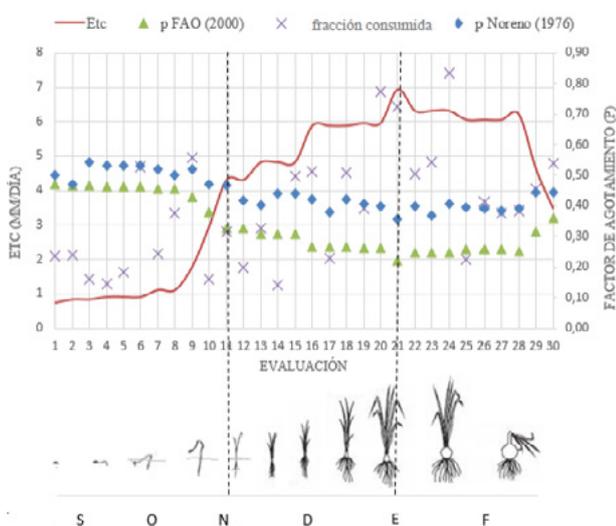


Figura 2.- fracción de agua consumida (f_c), factor de agotamiento (p) según FAO (Allen, 2000) y según Noreno (1976) mencionado por Grassi (1998) y evapotranspiración del cultivo (ETc).

En la figura 3 se observan dos gráficas obtenidas con el modelo WINSRFR 4.1.3 para un mismo caso de estudio. A la izquierda la situación registrada a campo el día del riego (regó 4 melgas a la vez) y a la derecha la simulación optimizada con el modelo de riego (regando con el mismo caudal 2 melgas a la vez y no 4). Así la lámina percolada (superficie contenida entre la lámina requerida - Dreq - y la línea azul o lámina infiltrada) se reduce significativamente duplicando el caudal unitario, obteniendo un aumento de la EAP de 40 % a 85 %, manteniendo satisfactoria la uniformidad de riego. Esto deja reflejado el impacto de una práctica de manejo en el desempeño del riego.

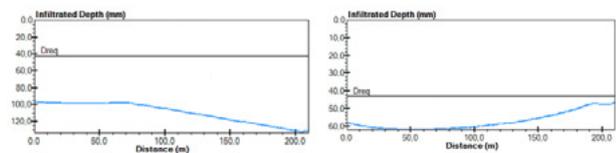


Figura 3.- Lámina infiltrada durante el tiempo de aplicación o corte de un caso bajo estudio a lo largo de la unidad de riego obtenida con el modelo de simulación de riego WINSRFR 4.1.3.

Así, en el 90% de los casos sería factible una mejora del desempeño del riego a través de variables de manejo a campo sin inversión en el método de riego, como la reducción del tiempo de

aplicación y el aumento del caudal unitario. De esta forma, bajo las condiciones del día del riego, la EAP promedio podría estar cercana al 65%. Si además se ajustara la oportunidad del riego (es decir cuándo se riega) y el caudal de manejo en acequia (mediante el turando, por ejemplo), sería posible alcanzar un valor de eficiencia de aplicación promedio para el riego del cultivo en la zona de hasta 75% (eficiencia de aplicación potencial), manteniendo la uniformidad del riego por encima del 80%.

La fracción de agua sobre aplicada durante el ciclo que garantice un adecuado balance salino y el máximo desarrollo del cultivo fue 458 mm. Considerando ese volumen de agua beneficioso, la eficiencia de riego parcelaria (IE) sería 55% y el Índice de Sagacidad (IS) 70%, ya que estos indicadores propuesto por Burt (1997) contemplan los usos racionalmente y benéficos del agua, como la fracción de lavado como el volumen destinado a favorecer la germinación de las semillas y establecimiento del cultivo.

Bibliografía

- Allen, R. G. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 27-41.
- ASAE, S. (2000). Evaluation of irrigation furrows. *America Society of Agri. Engineering EP419.1. EUA.*, 893-898 pp.
- ASCE, S. (1978). Describing irrigation efficiency and uniformity. *J. Irrigation And Drainage Engineering*, 104(1):35-41 pp.
- Barbero, A.; Lucanera, G.; Castellano, A. (2016). Estimación del Producto Bruto Agropecuario Regional. UNS, departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur.
- Bautista, E., Schlegel, J.L., and Strelkoff, T.S. (2013). WinSRFR 4.1.3 - User Manual. USDA-ARS Arid Land Agricultural Research Center. 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ, USA.
- Burt, C.M.; Clemmens, A.J.; Strelkoff, T.S.; Solomon, K.H.; Bliesner, R.D.; Hardy, L.A.; Howell, T.A.; and Eisenhauer, D.E. (1997). Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123:423-442
- Chambouleyron, J.L.; Morábito, J.A. (1982). Evaluación de riego en fincas. INCYTH-CRA. Mendoza. Argentina. 36 p.
- CORFO, R.C. (2018). Corporación de fomento del Valle Bonaerense del río Colorado. Registros de Aforos y conductividad. Pedro Luro, Buenos Aires.
- Fací, J.M.; Playán, E. (1994). Principios básicos del riego por superficie. MAPA. Hojas divulgadoras, n.º. 10-11/94. 32 pp.
- Grassi, C.J. (1998). Fundamentos del riego (N.º 631.587 G769f). Mérida, VE: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial.
- Lucanera, G.; Castellano, A.; Barbero, A. (2023). Banco de datos socioeconómicos de la zona de CORFO-Río Colorado. Estimación del producto bruto agropecuario regional (Campaña 2021/2022). UNS, Departamento de Economía.
- Morábito J. (2003). Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y Potencial. Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis de Maestría. 91 p.
- Noreno, A. (1976). Evaporación y transpiración. Serie Suelo y Clima SC - 13, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Pereira, L. S., de Juan, J. A., Picornell, M. R., & Tarjuelo, J. M. (2010). El riego y sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM. 296p.
- Schilardi, C., Rearte, E., Martín, L., & Morábito, J. (2015). Diagnóstico prospectivo del desempeño de métodos de riego en la provincia de Mendoza. Puntos de atención y estrategias de optimización. Conagua.
- Van del Molen, W.H. (1983) "Salt balance and leaching requirement". In "Drainage Principles and Applications: II Theories of field drainage and watershed runoff". Publication 16 - Vol. II. Pág. 59 - 100. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands.
- Walker, R. (1989). Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Irrigation and Drainage Paper N° 45. 85 p.

MODELOS DIGITALES DE CAUDALES EN SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

Bonilla, Jorge Fabián y Frau, Francisco Javier

Instituto Nacional del Agua, Argentina
E-mail: jbonilla@ina.gob.ar – fjfrau@ina.gob.ar

Introducción

El Servicio Meteorológico Nacional define al Sistema de Alerta Temprana (SAT), como una herramienta que pone a disposición información oportuna de una amenaza meteorológica, con el fin de ayudar a tomar medidas pertinentes ante un posible riesgo (SMN, 2020). Esta definición es extensible a la amenaza hidrológica dada por la respuesta de una cuenca ante un evento de tormenta intensa.

La posibilidad de que ocurran lluvias superiores a la de diseño es una alternativa que siempre está presente y es un factor de riesgo para cualquier obra que se realice.

Las intervenciones de origen antrópico pueden aumentar las cuencas de aporte, incrementar la permeabilidad, cambiar secciones de escurrimiento entre otros aspectos. Estos factores junto a la producción de tormentas intensas alteran los valores de caudales máximos, produciendo en ocasiones daños en grandes estructuras como ocurrió el 27 de febrero de 2021 con el colapso del puente vehicular sobre el Arroyo Los Pozos en la RN40, como se observa en la Figura 1 (Diario San Rafael, 2021).



Figura 1.- Puente colapsado sobre Arroyo Los Pozos RN40.

El monitoreo de las precipitaciones con el fin de identificar las que tenga potencial de generar grandes escurrimientos implica colocar instrumental, generalmente costoso, en diversos puntos del terreno.

Las tormentas convectivas de verano que ocurren en Mendoza, y en forma similar a otras regiones montañosas, tienen como característica que el núcleo es de pequeñas dimensiones y por lo tanto es necesario colocar mucho instrumental para cubrir una cuenca completa.

Objetivo

El objetivo de la investigación es buscar una alternativa de vigilancia que sea efectiva desde la perspectiva técnica y óptima desde el punto de vista económico.

Metodología

El trabajo que se presenta toma como base el concepto de Modelo Digital, entendido como una representación simplificada del terreno en formato de matriz y donde cada punto posee el valor del Caudal máximo del hidrograma de respuesta que se genera en la cuenca, cuando el núcleo de la lluvia se posiciona sobre el mismo.

La producción del mapa denominado Modelo Digital de Caudales (MDC) se realiza a partir múltiples modelaciones hidrológicas con una precipitación móvil (Figura 2).

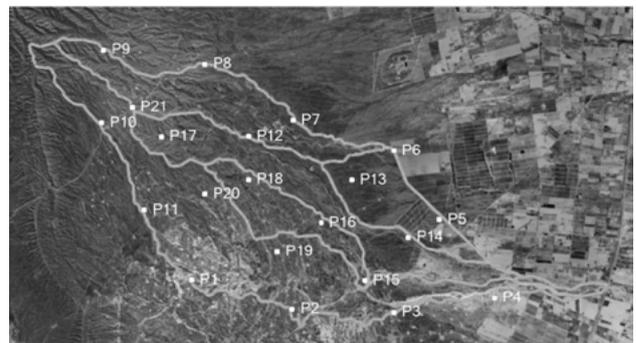


Figura 2.- Modelación en distintos puntos de la cuenca.

Se toma una tormenta de Tiempo de Recurrencia 100 años (diseño) y otra de 200 años (a vigilar), posicionada en cada uno de los puntos elegidos y asignando los caudales máximos a los respectivos puntos, se pueden interpolar los valores para lograr el MDC. En la Figura 3 superior se observa el resultado para TR 100 años y en la inferior para TR 200 años. Se han indicado los valores de caudales para la posición más desfavorable.

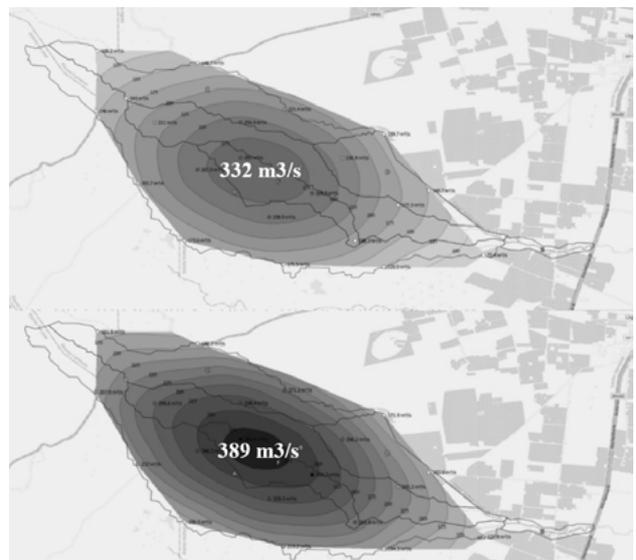


Figura 3.- Modelo Digital de Caudales para TR100 y 200 años.

Si se resalta en el MDC de TR 200 años (Figura 3 inferior), la curva de caudal correspondiente al máximo valor del MDC de 100 años, se determina el Área de Vigilancia (Figura 4).

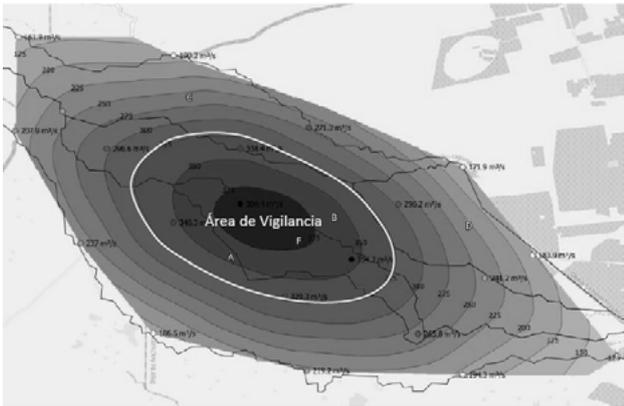


Figura 4.- Determinación del Área de Vigilancia.

La interpretación se logra con la simulación de que la tormenta de TR 200 años (que se vigila por ser superior a la de diseño de TR 100 años) y se ubica en un punto externo al área determinada, el MDC indica que el caudal producido es menor que el máximo para 100 años y no representa un potencial riesgo adicional.

Es decir, por más que sea una tormenta mayor a la de diseño, al tener el núcleo superior del punto más crítico, deja de considerarse una amenaza superior a la estimada. Caso contrario, cuando cae dentro del área de vigilancia produce caudales mayores a los previstos y aumenta el riesgo de colapso.

El estudio de las áreas de influencia de los pluviómetros, en función del modelo de tormentas utilizados (en este caso isoyetas elípticas) llevan a determinar un radio de detección (Figura 4).

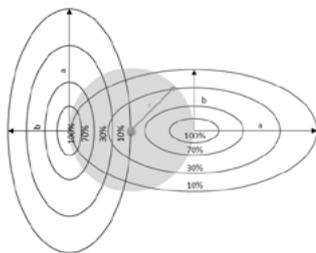


Figura 4.- Análisis del área de detección de un pluviómetro.

El análisis gráfico por superposición entre el área de vigilancia y el círculo de cobertura de los instrumentos ayudan a determinar la cantidad óptima de puntos de medición. En el caso del ejemplo se ve en la Figura 5 que 1 pluviómetro tiene un área de cobertura que excede el área de vigilancia y produciría alertas innecesarias.

La opción con dos estaciones mejora esta situación, mientras que 3 o más no aumentan la eficiencia de manera notoria, por lo que se determina que lo óptimo son dos puntos de medición.

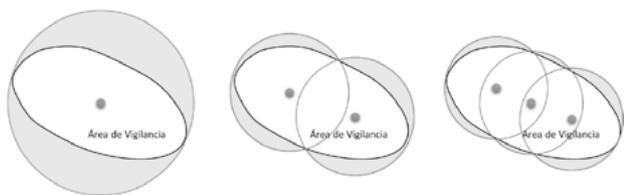


Figura 5.- Análisis de alternativas de cantidad de sensores.

La disposición final propuesta para el ejemplo se muestra en la Figura 6 y teniendo en cuenta que el área de vigilancia está georreferenciada, se puede determinar además la posición sugerida con las coordenadas respectivas.

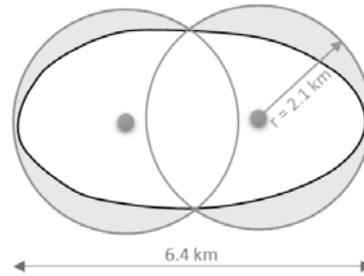


Figura 6.- Número y posición óptima de pluviómetros.

Resultados

El Sistema de Alerta Temprana obtenido, que se compone por los dos pluviómetros para medición de lluvias intensas en tiempo real y ubicado sobre una imagen satelital, junto con las cuencas, se muestra en la Figura 7.

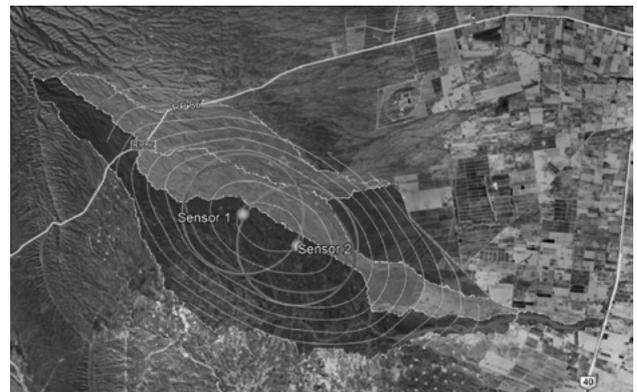


Figura 7.- Resultado del estudio y propuesta de ubicación de sensores.

Conclusiones

El Modelo Digital de Caudales permite identificar los puntos críticos donde puede caer una tormenta, delimitar el Área de Vigilancia y determinar la cantidad y los lugares óptimos para colocar el instrumental de medición.

El método desarrollado fue aplicado en la modelación hidrológica del nuevo puente sobre la RN40 realizada en el INA Subgerencia Centro Regional Andino, que colapsó en febrero de 2021 en la Provincia de Mendoza (Bonilla et al., 2021).

Referencias

Diario San Rafael (2021). "Ruta 40: demolerán el puente que colapsó". Publicación web: <https://diariosanrafael.com.ar/ruta-40-demoleran-el-puente-que-colapso/>.

Servicio Meteorológico Nacional (2020). "Sistema de Alerta Temprana SAT". Publicación en página web del SMN: <https://www.smn.gob.ar/noticias/sat-preguntas-frecuentes>. Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina.

Bonilla J.F., López P.M. y Frau F.J. (2021). IT 215-SCRA Sistema de Alerta Temprana Puente RN40 km 3250 – Arroyo Los Pozos – Luján de Cuyo – Mendoza. INA Subgerencia Centro Regional Andino, Mendoza, Argentina.

OBSERVATORIO HIDROLÓGICO NACIONAL

Juan Borús¹, Diana Chavasse³, Patricia López², Gustavo Almeida³, Jorge Bonilla², Adriana Mariani², Francisco Frau², Silvia Mérida⁴

¹: INA-SSlyAH, ²: INA-SCRA, ³: INA-SSH, ⁴: INA-SCRAS

Argentina

jborus@ina.gov.ar, dchavasse@ina.gov.ar, pmlopez@ina.gov.ar, galmeira@ina.gov.ar,
jbonilla@ina.gov.ar, amariani@ina.gov.ar, ffrau@ina.gov.ar, smerida@ina.gov.ar

Introducción

El Observatorio Hidrológico Nacional es un proyecto institucional concebido por la Presidencia del Instituto Nacional del Agua (INA) que cuenta con el aporte de los equipos de trabajo multidisciplinarios de varias de sus Subgerencias.

Tiene como principal objetivo informar regularmente las condiciones hidrológicas en cuencas de distintas regiones del país, utilizando como instrumento de divulgación la redacción de resúmenes periódicos que proporcionan información hidrológica útil y actualizada en distintos puntos de medición, constituyendo una herramienta fundamental para la gestión del agua, la toma de decisiones y la formulación de políticas hídricas sostenibles.

En este trabajo se presenta la evolución del proyecto y el producto obtenido para su difusión.

Desarrollo del Proyecto

El proyecto plateó el gran desafío de realizar un trabajo colaborativo remoto entre profesionales de Subgerencias del INA ubicadas en distintas regiones del país, de seleccionar la información apropiada para realizar los informes periódicos, de definir la metodología de análisis y de consensuar el formato para su divulgación.

Desde el primer informe, presentado en mayo 2022, se realizaron modificaciones sustantivas para independizar la presentación de los resultados del comienzo y fin de los años hidrológicos en las diferentes regiones del país y obtener un producto técnico comprensible para los decisores y usuarios de la información.

Actualmente, el proyecto está coordinado por el Centro Regional Andino y profesionales de las siguientes Subgerencias del INA colaboran de manera permanente en la elaboración de los informes: Servicios Hidrológicos, Centro Regional de Aguas Subterráneas, Centro Regional Andino y Sistemas de Información y Alerta Hidrológico.

Metodología y Resultados

El informe periódico incluye una descripción del marco climático en el país en los últimos meses y presenta la evolución de los caudales, en una ventana anual hasta el mes informado, en las regiones Patagonia, Cuyo y cuenca Del Plata.

El marco climático describe las zonas con excesos/déficits de precipitación en nuestro país y extremo sur de Sudamérica, los forzantes climáticos de gran escala y las previsiones de precipitaciones y temperatura para el trimestre siguiente a fin de facilitar la evaluación del impacto de estas variables en la situación ambiental, agropecuaria y económica.

Se utilizan como fuentes de información los datos proporcionados por distintos organismos e instituciones (Servicio Meteorológico Nacional, Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Clima y Agua, Dirección de Meteorología

de Chile, Observatorio de Nieve de los Andes y Chile, la Bolsa de Comercio de Rosario y Bolsa de Cereales).

A modo de ejemplo la Figura 1 muestra las estaciones con excesos/déficits de precipitación en el país durante el trimestre enero-marzo 2023, según el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI).

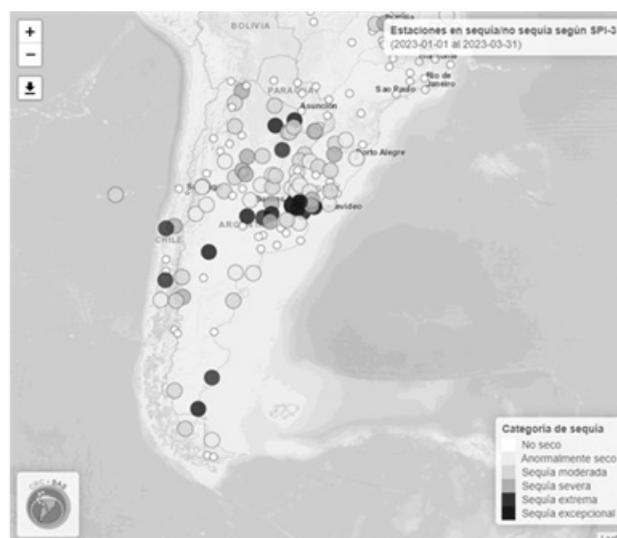


Figura 1.- Estaciones con excesos/déficits de precipitaciones SPI-3 trimestre enero-marzo 2023.

La cuenca del Plata es analizada sobre la base del monitoreo permanente de su Sistema de Alerta Hidrológico en operación desde 1983. Las principales fuentes de información son Prefectura Naval Argentina, Servicio Meteorológico Nacional, a las que se suman numerosos organismos nacionales y regionales.

El Sistema debe darle el valor agregado a la información de base, de manera de lograr una síntesis adecuada a los requerimientos del amplio espectro de usuarios del recurso hídrico.

La información sobre la evolución de caudales, para las regiones Patagonia y Cuyo, emplea registros diarios de niveles hidrométricos y caudales tanto histórica como en tiempo real, proveniente del Banco de datos de la Red Hidrológica Nacional (Sistema Nacional de Información Hídrica) de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica del Ministerio de Obras Públicas de la Nación. En la estación km 101 del río San Juan se utilizan registros proporcionados por el Departamento de Hidráulica del Gobierno de la Provincia de San Juan.

Los resultados se presentan en dos formatos, mapas e hidrogramas según los resúmenes del National Hydrological Monitoring Programme del Reino Unido.

Los mapas presentan, en los sitios de medición de las diferentes cuencas, círculos con los porcentajes del caudal medio del mes informado respecto al valor medio histórico de ese mes y se utiliza una paleta de colores, basadas en la clasificación de los caudales medios mensuales en el período de registro, para

indicar excedencias desde caudales excepcionalmente bajos a excepcionalmente altos (Fig.2).

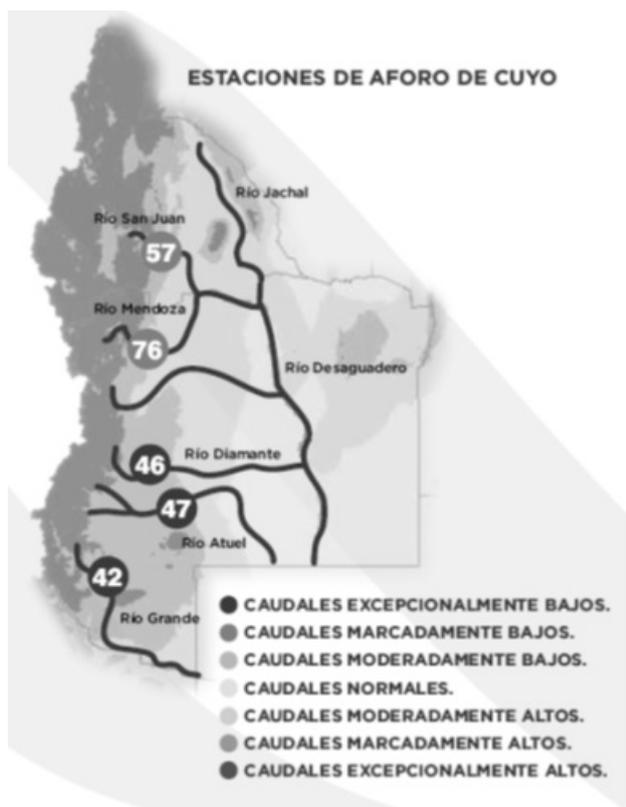


Figura 2.- Porcentaje caudal medio del mes informado respecto al valor medio histórico de ese mes región Cuyo.

Los hidrogramas muestran caudales medios diarios máximos, mínimos y promedios históricos junto con los caudales medios diarios de los últimos 365 días. Los caudales ubicados en las zonas sombreadas, corresponden a valores fuera del rango de las mediciones históricas. La línea de puntos representa los caudales promedios históricos y la continua los del último año.

De esta forma se muestra la evolución de los caudales diarios en una ventana de un año permitiendo visualizar su situación respecto a los valores históricos. En las Figura 3 y 4 se muestran ejemplos de algunos de los hidrogramas del informe de marzo 2023.

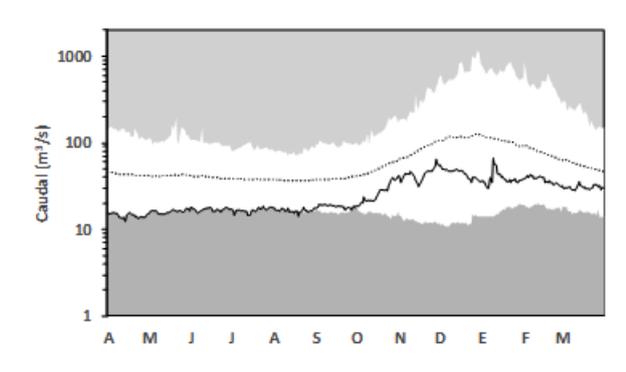


Figura 3.- Hidrogramas río San Juan en km 101 (2022-2023).

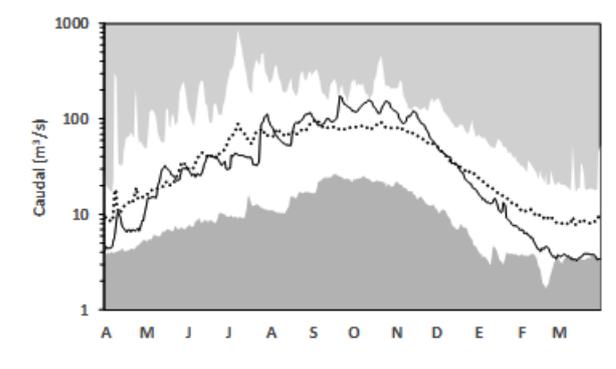


Figura 4.- Hidrogramas río Chubut en Los Altares (2022-2023).

Comentarios Finales

Este proyecto institucional, concebido por la Presidencia del INA, pretende estar en constante evolución a fin de alcanzar el objetivo fijado de informar regularmente las condiciones hidrológicas en cuencas de distintas regiones del país.

La comprensión del estado actual de los recursos hídricos es esencial para advertir sobre las condiciones hidrológicas cambiantes y fijar directrices para la gestión del agua, la toma de decisiones y la formulación de políticas hídricas sostenibles.

Esperamos que el proyecto crezca incorporando el aporte de más Subgerencias para extender el análisis de cuencas a más regiones del país.

Referencias

- Bolsa de Cereales.** (s.f.). <https://www.bolsadecereales.com/>.
- Bolsa de Comercio de Rosario.** (s.f.). <https://www.bcr.com.ar>.
- Dirección de Meteorología de Chile.** (s.f.). <http://www.meteochile.gob.cl/>.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Clima y Agua.** (s.f.). <https://inta.gob.ar/instdclimayagua>.
- National Hydrological Monitoring Programme (NHMP).** (s.f.). <https://uk-scape.ceh.ac.uk/our-science/projects/NHMP>.
- Observatorio de Nieve de los Andes y Chile.** (s.f.). <https://observatorioandino.com/nieve/>.
- Servicio Meteorológico Nacional.** (s.f.). <https://www.smn.gob.ar/>.
- Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA-SRC SAS).** (s.f.). <https://sissa.crc-sas.org/>.
- Sistema Nacional de Información Hídrica.** (s.f.). <https://snih.hidricosargentina.gob.ar/Filtros.aspx>.

CAUDALES DE DISEÑO EN CUENCAS DE LA PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA

M. Cecilia Botelli¹, Nicolás Federico Guillén^{1, 2}, Matías Eder^{1, 2}

¹Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería (I. E. I. Ing.) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta, Campo Castañares, Salta, República Argentina.

²Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC) y CETA - FCEFYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina

E-mail: cbotelli@ucasal.edu.ar - nfguillen@hotmail.com

Introducción

Para diseñar medidas estructurales y no estructurales de infraestructura hídrica, es necesario contar con Caudales de Proyecto; debido a la insuficiencia estadística de datos históricos de caudal medidos, en general se recurre a la implementación de modelos de transformación lluvia - caudal; para estimar los caudales que se usarán para el diseño y dimensionamiento.

En este contexto, en el presente trabajo se propone, es generar una metodología homogénea y estandarizada para la provincia de Salta, Argentina; y mediante la misma, estimar dichos caudales de diseño asociado a diferentes recurrencias en sitios de interés; para poder utilizarlos de manera directa para el diseño de infraestructura hídrica.

Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo, el cálculo de los hidrogramas de diseño asociados a diferentes recurrencias en cuencas hídricas de la provincia de Salta para proyectar infraestructura hídrica que mitiguen el riesgo hídrico.

Metodología

La metodología utilizada se resume a continuación (Baraquet, 2018):

1. *Delimitación de cuencas de aporte:* a través de un modelo digital de terreno (DEM) obtenido de información satelital y/o topografía de detalle relevada in situ se procede a delimitar la cuenca y subcuencas. Generalmente los DEM funcionan adecuadamente en cuencas de pendientes medias del orden de 1%, no pasa lo mismo en cuencas de llanura. En este último caso, para la delimitación de las cuencas es necesario conocer otra información (tal como rutas existentes, vados, imágenes satelitales) la cual ayudará a conocer las posibles divisorias de aguas y/o escurrimientos hídricos.
2. *Determinación de parámetros morfométricos de la cuenca:* se definen áreas, pendientes de las cuencas; longitudes y pendientes de cauces principales; tipos de suelo y vegetación, etc.
3. *Determinación de parámetros hidrológicos del modelo:* en base a información recopilada en el lugar de estudio se definen abstracciones iniciales, tiempos de concentración, tiempos de retardo, métodos de tránsito, y parámetros de pérdidas de cada subcuenca.
4. *Calibración de parámetros hidrológicos:* se calibran los parámetros del modelo en función de información de precipitaciones y caudales observados que se tenga disponible en la zona de estudio.
5. *Lluvia de diseño:* se definen aquí las lluvias de diseño que serán incorporadas al modelo de transformación lluvia - caudal. Se analiza tanto la magnitud de la lámina como su distribución temporal y espacial.
6. *Simulación hidrológica:* se modela la cuenca de interés

con los parámetros antes definidos para obtener los caudales de diseño.

7. *Resultados de la simulación:* se presentan los hidrogramas obtenidos para diferentes tiempos de retorno en la cuenca modelada.

Para el cálculo de los tiempos de concentración (TC) de las subcuencas; se aplicó la ecuación de Kerby-Kirpich. Al aplicar este método, el tiempo total de concentración se obtiene sumando el tiempo de flujo superficial en lámina t_1 (Kerby) y el tiempo de flujo en canal t_2 (Kirpich):

Para los tránsitos se utilizó el método de Muskingum.

Para el cálculo de las pérdidas en las subcuencas se utiliza el método del SCS - CN. Este método utiliza dos parámetros: CN e infiltración inicial (I_a); pero este último se obtiene a partir del valor de CN. Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo.

Para el cálculo de la lluvia de diseño, para la estimación de la intensidad de precipitación se utilizan las curvas Intensidad Duración Frecuencia calculadas a partir del modelo DIT (Caamaño y Dasso, 2003). A modo de ejemplo, a continuación, se muestra la IDT determinada a partir de información pluviográfica actualizada en Salta Capital, que es la que se presenta a continuación (Guillén, 2016):

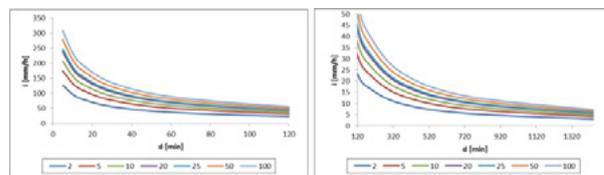


Figura 1.- Curva IDT en Salta Capital.

Para calcular la duración de la tormenta crítica de las cuencas analizadas, se modelaron para una recurrencia de 25 años lluvias de diferentes duraciones para encontrar cual es la duración que genera el caudal pico máximo (caso más desfavorable); y esto se hizo aplicando el modelo del SCS - CN con los valores previamente presentados.

Para las cuencas con áreas mayores a 25 km², se aplicó la atenuación espacial de la lámina de lluvia para obtener la precipitación media areal de la cuenca, mediante el algoritmo de atenuación espacial denominado CoDA (Catalini et al., 2002).

Para la Distribución temporal de la lámina de lluvia se aplicaron los hietogramas tipo estimados para Salta Capital en trabajos previos a partir de la información pluviográfica actualizada en Salta Capital.

Para la simulación se utilizó HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) que es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la cuenca del Río Vaqueros, la cual se muestra en la Figura 2:

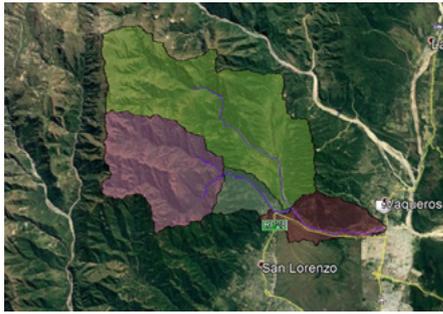


Figura 2.- Cuenca de aporte del Río Vaqueros.

La cuenca de estudio completa, desde sus nacientes hasta su desembocadura, tiene una superficie de 133 Km². Se delimitaron 4 subcuencas. A continuación, se grafican los caudales picos obtenidos en la cuenca para cada una de las duraciones de lluvia modeladas:

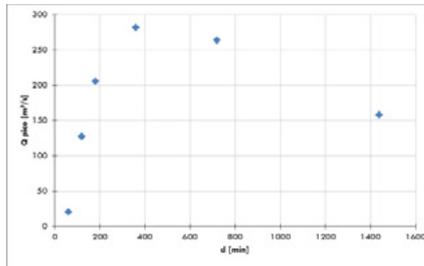


Figura 3.- Caudales picos obtenidos para diferentes duraciones de lluvias modeladas sobre la cuenca del Río Vaqueros.

En la última figura se observa que a partir de una duración de tormenta de 360 minutos (6 horas) la cuenca entra en régimen, es decir que los caudales picos alcanzan su valor máximo. Para duraciones mayores a la misma se obtienen caudales menores, por lo que la tormenta de duración igual a 6 horas es la crítica sobre la cuenca de estudio. Es por ello que la duración de la lluvia de diseño a ser ingresada al modelo hidrológico para la determinación de los caudales de diseño es de 360 minutos (y esta generará la respuesta más desfavorable sobre la cuenca).

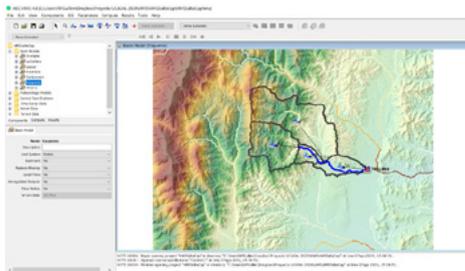


Figura 4.- Modelo implementado de la cuenca del Río Vaqueros aplicando el programa HEC HMS.

En la siguiente figura, se presentan los caudales pico obtenidos.

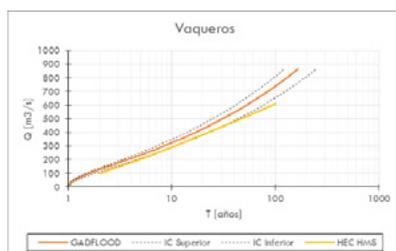


Figura 5.- Caudales de diseño asociados a diferentes recurrencias aplicando HEC HMS en la cuenca del Río Vaqueros.

Siguiendo la misma metodología que la previamente presentada

para el caso de la cuenca del Río Vaqueros, se continuaron estudiando diferentes cuencas hidrológicas de la provincia de Salta, las cuales se muestran a continuación:

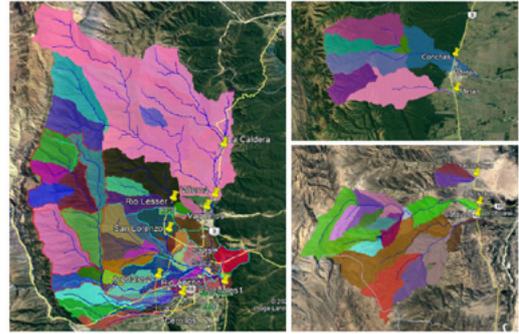


Figura 6.- Cuencas hidrográficas donde se estimaron los caudales de diseño asociados a diferentes recurrencias en la provincia de Salta, Argentina.

Se muestran los caudales de diseño estimados en cada una de las cuencas analizadas para tiempos de retorno entre 2 y 100 años:

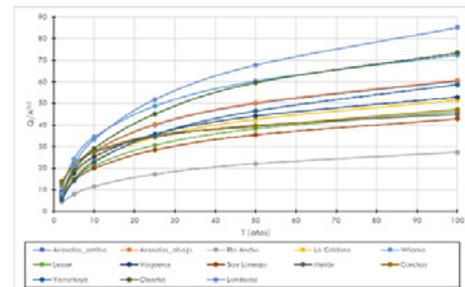


Figura 7.- Caudales de diseño asociados a diferentes recurrencias en diferentes cuencas hidrográficas de la provincia de Salta, Argentina.

Conclusiones

En este trabajo se estimaron los caudales de diseño asociados a diferentes recurrencias en diferentes cuencas y sitios de interés de la provincia de Salta, lo cual resulta fundamental para lograr un mejor diseño de infraestructura hídrica en toda la zona de estudio.

La estimación de caudales de proyecto constituye una innovación sin precedentes para este territorio, y puede ser utilizada para diseño hidrológico y evaluación de severidad de eventos extremos de precipitación.

Con el trabajo realizado, se deja una completa base de datos de caudales de diseño para diversos organismos de la provincia, lo cual puede resultar en información de sumo interés para revisores de los proyectos hídricos que se realicen. Esta base de datos es muy importante, ya que permitirá no solo verificar las obras existentes, sino también contar con información precisa para contrastar o dimensionar cualquier medida estructural o no estructural para mitigar el riesgo ante una amenaza hídrica.

Referencias Bibliográficas

- Baraquet, M. Magdalena (2018). "Efectos de la variabilidad climática en la predicción de lluvias para diseño en la provincia de Córdoba" – Tesis de Maestría en C. de la Ingeniería: Mención Recursos Hídricos – FCEFyN – UNC
- Caamaño, Gabriel; Dasso, Clarita (2003). "Lluvias de Diseño – Conceptos, Técnicas y Experiencias".
- Catalini, C. G.; G. E. Caamaño Nelli; C. M. García (2002) "Efectos Fisiográficos y Climáticos sobre las Curvas de Reducción Areal de Lluvias de Diseño". XIX Congreso Nacional del Agua, 7-8. Trabajo en CDROM. CPCNA. Villa Carlos Paz, Argentina.
- Guillén, Nicolás Federico; Botelli, M. Cecilia; García, Carlos Marcelo; Flores, Karina (2016). "Estimación de la relación IDT en Salta Capital", Vº Taller sobre Diseño Hidrológico, Salta.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (2000). *HEC-HMS Hydrologic Modeling System*, Technical Reference Manual, CPD-74B. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

ESTUDIO DE LAS CAPACIDADES NATATORIAS DE LA CARPA (*CYPRINUS CARPIO*) EN ENSAYOS EN CANALES DE LABORATORIO

Francisco José Brea¹, Leandro David Kazimierski^{1,2}

1) Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina. 2) Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina

E-mail: fbrea@ina.gob.ar, lkazimierski@ina.gob.ar

Introducción

A lo largo de la historia, el ser humano, en el aprovechamiento de los cursos fluviales, ha provocado importantes alteraciones, ya sea por modificaciones del hábitat, o por explotación de la biocenosis. La ictiofauna se ha visto especialmente perjudicada por estas alteraciones, como consecuencia de lo cual, sus poblaciones se han visto seriamente afectadas, llegando a comprometer su supervivencia (RuizLegazpi, 2018).

Los peces son uno de los grupos más representativos e importantes de la biocenosis en estos ecosistemas, pues por un lado son fundamentales en la cadena trófica y proporcionan biodiversidad -siendo bioindicadores de calidad de las masas de agua en base a su presencia y estructura poblacional-, y por otro son un recurso tanto alimenticio como de ocio en muchos lugares (RuizLegazpi, 2018).

Muchos peces de agua dulce suelen realizar migraciones entre tipos de hábitat para completar su ciclo vital. En los lugares donde se producen obstrucciones antrópicas, los peces pueden requerir el paso en forma de vías piscícolas o desvíos para facilitar su desplazamiento río arriba o río abajo. Las estimaciones del tiempo o la distancia de fatiga al nadar pueden resultar indicadores útiles a la hora de considerar los aspectos fisiológicos en aplicaciones prácticas tales como vías piscícolas (DFO, 2016).

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el comportamiento natatorio de la carpa en su estadio adulto a partir del desarrollo de una metodología de ensayos en canales a superficie libre. Dichos canales son estructuras que pueden ser naturalizadas, permiten el nado voluntario de los peces, admiten todo tipo de tallas de los ejemplares y pueden fijar velocidades de flujo elevadas, que facilitan a los individuos desarrollar sus capacidades máximas.

El estudio fue diseñado para determinar las distancias recorridas a través de diferentes velocidades de flujo, así como para cuantificar la resistencia y el comportamiento, ambos valores de gran interés biológico, esenciales también para el desarrollo de criterios de diseño de estructuras para el paso de peces.

Materiales y Métodos

Se obtuvieron 5 individuos de la especie *Cyprinus carpio koi* (carpa koi) (Figura 1), los cuales fueron transportados a la Nave de ensayos de Hidráulica Fluvial del Instituto Nacional del Agua (INA), y mantenidos en espacios de 9 metros de largo, 2 metros de ancho y 1 metro de profundidad, con aireación constante y alimentación dos veces por día.

Se realizó un estudio de calidad de agua por medio de la colaboración del Centro de Tecnologías y Usos del Agua del INA para constatar que los principales parámetros para el correcto mantenimiento de los individuos (T° , O_2 , pH) se encontraban dentro de los rangos aceptables.

Los ensayos se realizaron con 3 de los 5 individuos, los cuales previamente eran retirados del espacio donde se encontraban y ubicados en un tanque de aclimatación durante un período de entre 30 y 45 minutos, antes de pasarlos al canal de ensayos.



Figura 1.- *Cyprinus carpio koi*.

De los 3 individuos ensayados, dos eran carpas koi comunes, y una era una hembra con una variante de la aleta caudal conocida como vela o velífera, consistente en una aleta caudal más alargada.



Figura 2.- Canal de ensayo con un pez realizando una de las pruebas.

El canal de ensayos utilizado tiene una longitud de 3.80 metros de largo, 30 cm de ancho y 38 cm de profundidad máxima. El canal es vidriado en toda su longitud y de pendiente variable (la pendiente no fue variada en ningún ensayo) (Figura 2).

Cada uno de los ensayos consistió en evaluar la respuesta de cada individuo frente a diferentes condiciones de velocidad de flujo, centrándose en la resistencia y tiempo de fatiga a las condiciones recreadas, así como su comportamiento. Se analizó si remontaban el canal, si mantenían la posición o sufrían una rápida fatiga, entre otros aspectos.

En el caso de que cualquiera de los peces tocara la compuerta de descarga del canal 3 veces, se lo consideraba fatigado y se daba por terminado el ensayo. Luego de la jornada de ensayos, los individuos eran devueltos al espacio donde se encontraban desde un principio.

Se realizaron un total de 6 días de ensayos iniciando el día 1 de febrero de 2023 y finalizando el día 23 del mismo mes. Los ensayos fueron divididos en uno matutino de 10 minutos de duración y uno vespertino de 20 minutos por cada pez.

Se utilizó una cámara profesional Nikon Z 50 para filmar todos los ensayos desde una misma posición y abarcando toda la longitud del canal como se observa en la Figura (2) y en gabinete se evaluaron las filmaciones para obtener distintos indicadores.

Para establecer las condiciones hidrodinámicas se midieron las velocidades de flujo con un equipo ADV FlowTracker2 de Sontek. Se tomaron 2 medidas por cada ensayo aproximadamente en la mitad del canal.

Resultados

En la Figura 3 se presentan las velocidades y alturas promedio medidas con ADV para cada uno de los ensayos. Se realizaron ensayos alcanzando una velocidad máxima de 0.43 m/s y una velocidad mínima de 0.15 m/s y una altura promedio de 0.22 cm. La temperatura promedio del agua en el canal durante los ensayos fue de 22.7 °C.

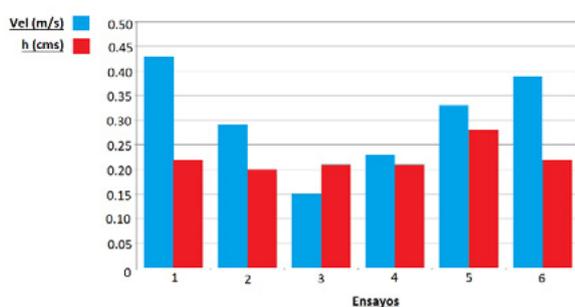


Figura 3.- Velocidades y alturas de agua promedio utilizadas en cada ensayo.

Los resultados de los ensayos pueden resumirse en las Figuras 4 y 5, que muestran la relación entre la velocidad y el tiempo promedio hasta la fatiga de los individuos, así como su comportamiento en relación a la velocidad evaluada.

En la Figura 4 se muestra como a medida que aumentaba la velocidad evaluada, el tiempo promedio de ensayo disminuía progresivamente hasta llegar a una velocidad de 0.3 m/s, a partir de la cual el tiempo de actividad de los individuos antes de la fatiga comenzaba a aumentar.

Es importante también resaltar que la carpa koi con la variante velífera en su aleta caudal, debido a una variación en su morfología, presentaba una capacidad natatoria más reducida que las otras dos, lo cual hacía que sus tiempos promedio antes de la fatiga se redujesen notablemente.

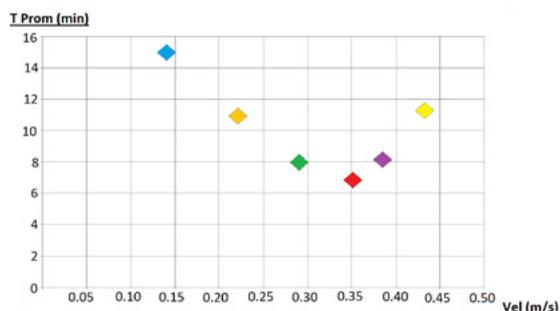


Figura 4.- Tiempo promedio hasta la fatiga en función de la velocidad.

Por otro lado, el comportamiento de los individuos frente a las altas velocidades fue más activo que frente a velocidades más bajas. En la Figura 5 se muestra la cantidad de traslados aguas arriba observados por cada ensayo en promedio entre los 3 peces ensayados. Solamente en el ensayo N° 3 a una velocidad media de 0.27 m/s no se observaron traslados aguas arriba, manteniéndose los 3 individuos evaluados en la misma posición durante todo el ensayo.

Se observa en las Figuras 4 y 5 que en los ensayos a mayor velocidad, los peces permanecieron más tiempo sin fatigarse y además son los que realizaron en promedio más ascensos. Esto podría indicar que a las velocidades más altas mantienen una mayor actividad, mientras que a las velocidades intermedias se fatigan más rápidamente.

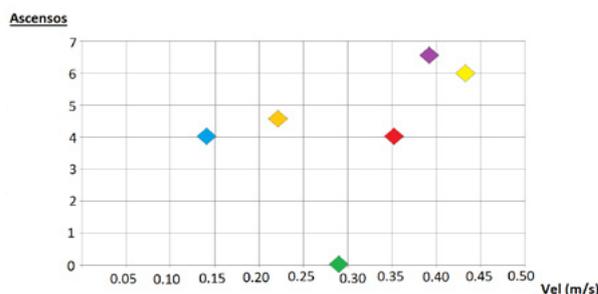


Figura 5.- Cantidad de ascensos promedio de los 3 peces para cada ensayo.

Conclusiones

Se ha introducido en este trabajo una metodología a través de ensayos en canales abiertos, como un enfoque viable para obtener datos ecológicamente relevantes sobre el rendimiento natatorio en grupos de peces, de gran potencial para la gestión ambiental, así como para la construcción de diseños para peces y proyectos de restauración de cuerpos fluviales.

Los resultados obtenidos pueden ser un importante punto de partida para analizar la franqueabilidad de las barreras de velocidad existentes en los ríos sudamericanos, así como para el diseño óptimo y efectivo de nuevas estructuras (presas, estaciones de aforo, etc.), incluidas las pasos para peces.

Si bien la especie elegida para este trabajo no reviste ningún tipo de importancia a nivel conservacionista para la fauna ictícola de Argentina, representa un primer paso de gran valor en la puesta a punto de la metodología. De esta manera en un futuro cercano se podrán realizar ensayos y obtener información de especies autóctonas migradoras del río Paraná, como lo son los sábalos, las bogas o los dorados, de enorme importancia tanto biológica, dado que representan gran parte de la biomasa de los ríos, constituyéndose en especies clave para el correcto desarrollo del ecosistema, como económica, ya que constituyen una parte importante de las especies obtenidas por las pesquerías de los ríos sudamericanos.

Referencias Bibliográficas

- Ruiz Legazpi, J. (2018). "Estudio de la capacidad de natación en peces ibérico", Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid.
- DFO. (2016). "Assessment of fish swimming performance curves", DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2016/001.

IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE CORREDORES ALUVIONALES Y BIOLÓGICOS PARA REDUCIR RIESGO HÍDRICO

Victor H. Burgos¹; Silvia Quiroga² y Leyla Mussie Saffie²

¹HydroGlobal Consultores en Ingeniería Hidroambiental

² Municipalidad de Luján de Cuyo. Secretaría de Ordenamiento Territorial. Dirección de Pedemonte. Mendoza, Argentina

E-mail: ing.vburgos@gmail.com

Introducción

Si bien la preservación de los servicios ecosistémicos y el desarrollo urbano hacia el piedemonte, persiguen objetivos antagónicos, internalizar los impactos negativos de las intervenciones antrópicas sobre el ciclo hidrológico local, adaptando el diseño de la urbanización a las condiciones ambientales y en especial aluvionales de la zona, parecería ser la mejor forma de agregar valor comercial preservando estándares ambientales.

El trabajo desarrolla una síntesis de los estudios hidrológicos, hidráulicos y ambientales realizados en el distrito Vertientes de Pedemonte del departamento Luján de Cuyo, Provincia de Mendoza, que dieron lugar a la Ordenanza Municipal N°13893/21, cuyo objetivo principal es relativo al Ordenamiento Territorial de urbanizaciones existentes y futuras, en zona de piedemonte.

El objetivo del presente texto es presentar la metodología utilizada para la determinación de los CAB (Corredores Aluvionales y Biológicos) que restringen el dominio privado, preservan condiciones ambientales, y reducen el riesgo aluvional, en una zona de expansión urbana inminente de 11.000 ha, donde actualmente se asientan 48.000 habitantes organizados en más de 100 conjuntos barriales. Todos ellos en disparidad de condiciones de hábitat, pero igualdad de precariedad de infraestructura.

Un concepto clave de la ordenanza, es que los CAB fueron definidos como zonas de reserva ecológica no edificable de uso público, constituida por una faja paralela a lado y lado de la línea de borde del cauce aluvional a preservar, comprendiendo micro embalses de retención temporal, quebradas y canales naturales, y contemplando las áreas inundables para el paso de crecidas ordinarias.

Este concepto teórico, deslindado (materializado) en el terreno, permitirá declarar restricciones al dominio o preservar áreas de interés público ambiental, autorizando a desarrollar planteos urbanos en zonas de interfluvios (o islas urbanizables), cuando la propuesta urbanística siga los preceptos del Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (DUBI).

Metodología

Varios autores (Forman y Godron, 1986; Farina 1998; Burel y Baudry, 2002, Pintó, 2001), definen los corredores (ecológicos) como aquellos elementos lineales del paisaje cuya fisonomía difiere del ambiente circundante; pueden ser naturales como ríos, crestas, pasos de animales, o bosques de ribera, o culturales como carreteras, líneas de alta tensión, setos vivos entre campos de cultivos. En la mayoría de los casos estos elementos se organizan en redes y su linealidad les confiere un papel particular en la circulación de los flujos de materia, energía, especies e información.

Para este estudio se definió a los CAB como aquellos corredores ecológicos establecidos por el curso de los cauces aluvionales principales (determinados hidráulicamente como aquellos cuya superficie de aporte sea superior a 200 ha) que hacen parte de la cuenca aluvional e incluyen el cauce (generalmente seco), y la

zona de seguridad hídrica o zona de manejo y preservación ambiental, establecida hasta el nivel de inundación para un evento de precipitación de 50 años de recurrencia (Figura 1).



Figura 1.- Componentes del Corredor Biológico Aluvional (CAB)

En primer lugar, se tuvo que definir, dónde estaban los cauces aluvionales, y luego cuáles eran las áreas inundables y finalmente con ello definir los CAB. La metodología utilizada para el análisis hidrológico e hidráulico que permite definir estos puntos se detalla en Burgos (2005) y Burgos y Salcedo (2014).

Se utilizó el modelo de transformación lluvia-caudal Arhymo, con las tormentas de proyecto para el Gran Mendoza (INA, 2008). La estimación de áreas de inundación, tirantes hidráulicos y velocidades de flujo se realizó con modelo HEC RAS v6 en modo bidimensional, en régimen variable y utilizando ecuaciones de aguas someras. Como esquema geométrico, se utilizó topografía de detalle (de 0.50 m de resolución espacial), con grillas de celdas que tienen desde 40 m hasta 2 m de lado utilizando los hidrogramas obtenidos en puntos característicos de las cuencas estudiadas y/o la precipitación total sobre el área de estudio (Figura 2).

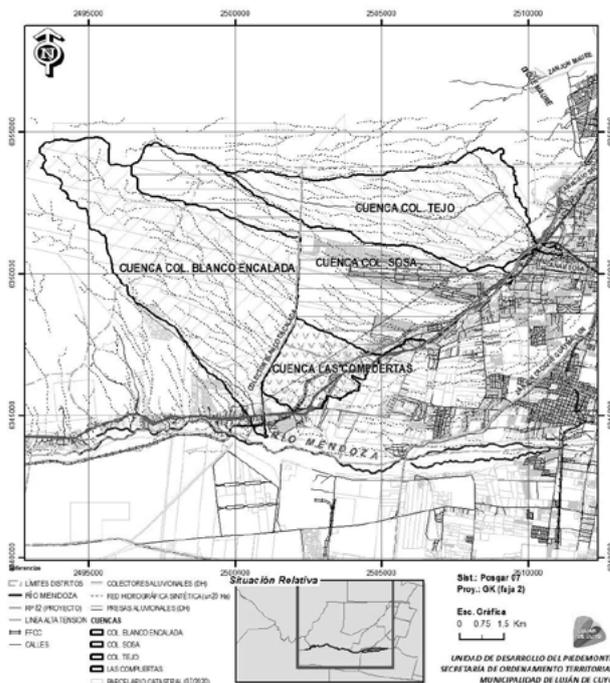


Figura 2.- Cuencas aluvionales analizadas y urbanización existente.

Resultados

Como resultado principal, se destacan la determinación de cauces en función de conceptos de flujo acumulado (áreas de aporte que corresponden al inicio o formación de un cauce de primer orden). En Figura 3 se observan los ejes de cauces para un umbral de 20 ha, denominando a aquellos mayores a 200 ha. En Figura 4 se muestra un sector analizado donde se observan las áreas inundables para recurrencia de 50 años.

Siguiendo preceptos de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) se propone un sistema de obras de control de torrentes, distribuidas en toda la zona y en concordancia con la red vial propuesta. Estas obras se componen de pequeños diques de gaviones de baja altura (con sus respectivos órganos de alivio o control), o trampas de agua, que permitirán regular las crecidas a lo largo de todo el recorrido de cada cauce.

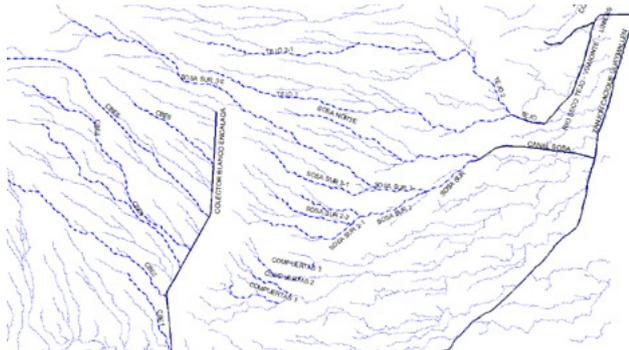


Figura 3.- ejes de cauces y denominación.

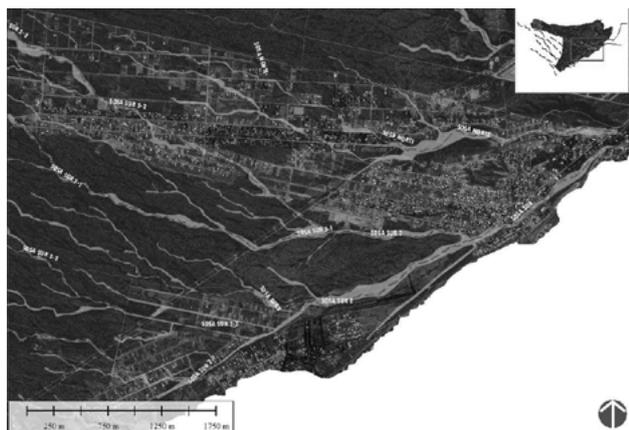


Figura 4.- CAB en cuenca Sosa Sur (zona media y baja del área de estudio).

Conclusiones

El modelo hidráulico confeccionado para establecer los CAB posee una superficie de 9787 has, cubriendo el distrito de Vertientes de Pedemonte y parte del distrito Las Compuertas. Este modelo permitió obtener las planicies inundables para escenarios de tormentas con 25 y 50 años de periodo de retorno, así como las alturas de agua y velocidades de flujo.

Existe amplia bibliografía internacional respecto a estudios de zonas riparias y de corredores ecológicos, pero siempre para cauces permanentes, donde el caudal máximo ordinario (de aproximadamente 2 años de recurrencia) define claramente la línea de ribera, a la cual le agregan hasta 30 m hacia cada lado para definir la zona del corredor biológico. En nuestro caso bajo estudio, a diferencia de la bibliografía consultada, los cauces son de tipo torrencial, secos en general y activos sólo durante tormentas. Los resultados de áreas de inundación para aquellas recurrencias (25 y 50 años) indican anchos que van desde los 20 m hasta 100 m, por lo que se consideró adecuado tomar el ancho máximo inundable como límite del corredor biológico.

Con las manchas de inundación resultantes del modelo hidráulico, se procedió a simplificar los lados de las poligonales quedando definidos 10 CAB, indicando en Anexo de la Ordenanza las coordenadas de sus vértices (en total 8316 puntos).

La modelación hidráulica pone en evidencia algunas zonas críticas que deberán evaluarse con más detalle, donde se incluyen desbordes y afectaciones o trasvases de cuencas. Asimismo, los CAB fueron definidos con la topografía disponible y cualquier estudio local podría mejorar la resolución de los resultados.

Existen zonas donde viviendas o lotes interfieren con el CAB, situación que puede indicar alguna de dos posibilidades: a) existe un riesgo aluvional que debiera estudiarse con más profundidad evaluando no sólo el área de inundación sino su altura de agua y velocidad; o b) la topografía utilizada no incluyó detalles de niveles de esa zona que caracterizara bien la realidad y el flujo o inundación pudiera no interferir con la vivienda. Por lo que no hay que dejar de mencionar que, en base a la escala de trabajo empleada, al obtener conclusiones en zonas de detalle se debe incluir la incertidumbre propia del “downscaling”.

Recomendaciones

Se sugiere notificar a los potenciales afectados ante desbordes de cauce en base a las fracciones catastrales que se intersecten con los mapas de inundación estimados o ante las restricciones dominiales por los CAB definidos.

Cuando un privado o proponente presente un proyecto o regularice algún emprendimiento, se compararán los resultados obtenidos de su estudio hidráulico, respetándose el de mayor área de restricción. De haber diferencias en la adopción de coeficientes o hipótesis técnicas, dicho estudio de contraste deberá tener aprobación de la Dirección de Hidráulica.

Se recomienda reforzar con estudios ambientales y ecológicos para verificar, validar o refutar la propuesta realizada.

Si bien los CAB se definieron para los cauces principales, se recomienda preservar la red hidrográfica sintética definida con umbral de 20 ha para la definición de obras hidráulicas de drenaje o retención.

La red hidrográfica definida debiera ser considerada como punto de evacuación de los drenajes pluviales de cada urbanización, atendiendo a los preceptos de la sustentabilidad hidrológica, requiriendo por tal, que el proyecto de drenaje pluvioaluvional no erogue más caudal que en la situación previa.

Se recomienda replicar esta metodología en otras zonas de Luján de Cuyo (Agrelo, Perdriel, Ugarteche, Carrizal y Potrerillos) con similares problemáticas.

Referencias Bibliográficas

- Burel, F. y Baudry, J. (2002). *Ecología del Paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid
- Burgos, V.H. (2005) “Modelación Hidrológica de cuencas Pedemontanas: Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial” en XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza
- Burgos, V.H. y Salcedo A.P. (2014) “Modelos digitales de elevación: tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información” en 2º Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos (IFRH), Ezeiza, Bs.As.
- Farina, A. (1998). *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Chapman & Hall. London.
- Forman, R. TT. & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Sons. New York
- Pintó, J. (2001). “Problemática de las conexiones biológicas en territorios densamente urbanizados. El caso del área metropolitana de Barcelona”. *Actas del XVII Congreso de Geógrafos Españoles*, 198-201. Universidad de Oviedo.

ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA: MODELO WRF VS. RADAR METEOROLÓGICO (RMA-1)

Busignani J.^{2,3}, Suárez M.^{1,2,3,4}, Sandalio L.^{2,3,4}, Otero R.^{2,3}, Poffo D.^{2,4}, Sanchez J. E.^{1,2,3}, Faustinelli P.^{2,3}, Maturano L.^{2,3,4}, Pierobon E.^{2,3}, Guida J.P.^{1,2,3}, Dimari F.^{2,3}, Saffe J.^{1,2,3} y Rodríguez A.^{1,2,3}

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.

² Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina. Tel.: +54 351-4334446

³ Laboratorio de Hidráulica (LH), F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina. Tel.: +54 351-4334446

⁴ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (F.A.M.A.F.). Av. Medina Allende s/n, Córdoba, Argentina. Tel.: +54 351 5353701

E-mail: joaquin.busignani@gmail.com; matias.suarez@unc.edu.ar; elena.sandalio@mi.unc.edu.ar; rocio.otero@mi.unc.edu.ar ; denis.poffo@unc.edu.ar; juan.sanchez@mi.unc.edu.ar ; pierifaustinelli@mi.unc.edu.ar; leandromta.lm@gmail.com; edipierobon@gmail.com; juanpabloguida@mi.unc.edu.ar; franco.dimari@mi.unc.edu.ar; jorgesaffe@gmail.com; androdminplan@gmail.com

Introducción

La provincia de Córdoba es caracterizada por la ocurrencia de eventos severos, como por ejemplo, tormentas de naturaleza convectiva que se desarrollan principalmente durante la temporada de verano y que se caracterizan por su gran variabilidad espacial y temporal. Algunos de estos eventos usualmente son asociados a lluvias y ráfagas de viento muy intensas. La complejidad de estos eventos severos justifica la integración de distintos sensores remotos (estaciones meteorológicas automáticas, imágenes satelitales y radares meteorológicos) para la obtención de datos y a su vez poder prever estas situaciones a través de pronósticos utilizando modelos numéricos de predicción del tiempo (NWP).

En el presente trabajo se realiza un análisis comparativo de un evento ocurrido en la provincia de Córdoba entre la simulación del mismo por parte del modelo de pronóstico WRF (Weather Research and Forecasting), los datos disponibles de cuatro estaciones meteorológicas estratégicamente ubicadas y los valores de precipitación estimados a partir de lo observado con el radar meteorológico.

PALABRAS CLAVE: Precipitación, Radar Meteorológico RMA1, Modelo WRF

Radar Meteorológico RMA1

El radar meteorológico RMA1, instalado en 2015, está equipado con tecnología Doppler, en Banda C con doble polarización simultánea y tiene un alcance de 480 km en modo vigilancia, 240 km en modo intensidad y 120 km en modo Doppler. Su tecnología de doble polarización nos permite distinguir la forma, tamaño y composición de los hidrometeoros presentes en la atmósfera y la tecnología Doppler permite medir la velocidad radial de los mismos midiendo la diferencia de fase entre el pulso emitido y el eco recibido.

Modelo de Pronóstico WRF

El modelo WRF (Skamarock, 2019) es un Modelo de Área Limitada diseñado para ser utilizado tanto para investigación como para realización de pronósticos operacionales regionales. Este permite a los investigadores y/o operadores producir simulaciones considerando datos reales o en condiciones de atmósfera idealizada, mientras que a la vez provee un pronóstico operacional flexible en una plataforma robusta basada en la contribución de los últimos avances en física, modelado numérico y técnicas de asimilación de datos desarrollados por los investigadores de la comunidad global.

Metodología

El trabajo consistió en localizar cuatro estaciones meteorológicas situadas dentro de un radio de 120 km de distancia con respecto al RMA1 (rango de máxima resolución del mismo). Buscando que el trayecto del “haz” del radar no se vea obstruido por el terreno natural, edificaciones, etc. Además de elegir aquellas situadas en distintas partes del evento, para comparar distintas magnitudes de medición dentro del mismo.

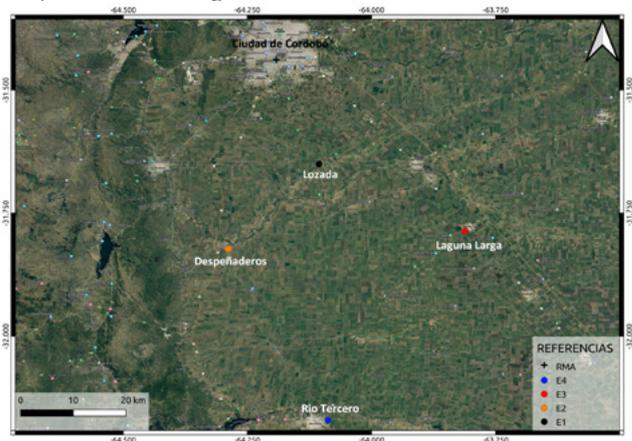


Figura 1.- Mapa con ubicación geográfica de las estaciones.

Una vez seleccionadas las estaciones, se siguió con la recopilación de los datos almacenados en las mismas y la estimación de la precipitación a partir de lo observado por el radar. Se utilizaron aquellas relaciones de transformación más reconocidas que ofrece la literatura, cada una asociada a un régimen de lluvia diferente.

$$Zh = 200R^{1,6} \quad [1]$$

$$Zh = 31R^{1,71} \quad [2]$$

$$Zh = 486R^{1,37} \quad [3]$$

Siendo la Ec. 1 adecuada para lluvias estratiformes (Marshall, 1948), la Ec. 2 para lluvias orográficas (Blanchard, 1953) y la Ec. 3 para lluvias convectivas (Jones, 1956).

Los datos a partir de los cuales se van a realizar las estimaciones provienen de los obtenidos por el RMA1 con el siguiente criterio:

-Se considera una única celda de datos justo por encima de la estación.

-Se desprecia la influencia del viento en el movimiento de los hidrometeoros.

-Se desprecian aquellos valores del factor de reflectividad que no superen un filtrado mínimo según un coeficiente de correlación RHOHV de 0.9.

Evento analizado

El evento fue causado por el predominio de una masa de aire cálida y húmeda en la región, que estuvo asociada a una marcada inestabilidad en niveles medios. El evento se inició alrededor de las 22 UTC del 13-03-2023 hacia el oeste de la provincia y en zona serrana. Las condiciones en la región tendieron a mejorar hacia las 17 UTC del 14-03-2023.

Resultados y conclusiones

En primera instancia se muestran los gráficos de precipitación acumulada del evento completo obtenidos a partir de las diferentes estimaciones realizadas con el RMA1, en los mismos puede distinguirse la ubicación de las estaciones y la magnitud estimada según la correspondiente escala.

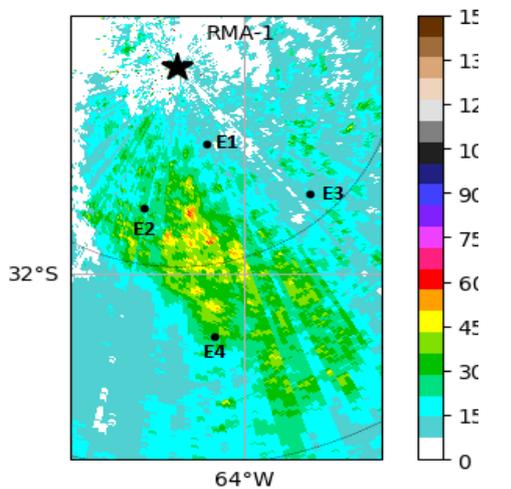


Figura 2.- Precipitación Acumulada – Lluvia Estratiforme.

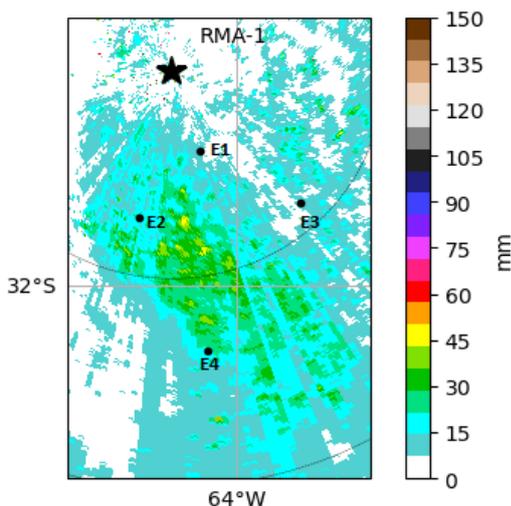


Figura 3.- Precipitación Acumulada - Lluvia Convectiva.

Una vez calculada las estimaciones de precipitación a partir de los datos del RMA1, se procedió a comparar las mismas con lo medido en cada estación en particular. Como se puede destacar, las estimaciones varían ampliamente en cuanto a su magnitud según el tipo de lluvia considerado, siendo en todas las situaciones

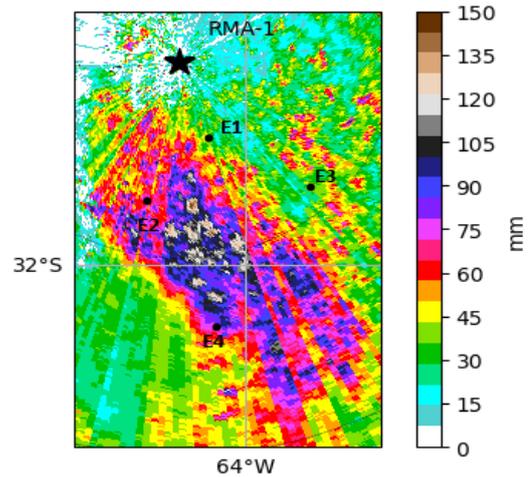


Figura 4.- Precipitación Acumulada – Lluvia Orográfica.

Tabla 1.- Precipitación acumulada medida / Pronosticada.

Estacion	Acumulado medido [mm]	Pronostico WRF [mm]
E1: Lozada	21,4	27,6
E2: Despeñaderos	58,4	10,44
E3: Laguna Larga	30	2,04
E4: Rio Tercero	86,8	3,47

Tabla 2.- Precipitación acumulada estimada.

Estimaciones Radar [mm]		
Lluvia Estratiforme	Lluvia Convectiva	Lluvia Orografica
10,75	6,71	30,07
22,71	15,97	60,69
20,44	15,65	53,38
26,82	18,59	72

la Ec. 3, la correspondiente a tipos de lluvia orográficas, aquella que más se aproxima al valor medido por la estación.

En cuanto a lo pronosticado por WRF, se pueden observar valores dispares, con una tendencia a la subestimación de la precipitación observada, lo cual refleja la dificultad para pronosticar numéricamente la cantidad y distribución espacial de la precipitación en este evento en particular.

A partir de este trabajo es posible plantearse algunos objetivos futuros para mejorar la caracterización de la lluvia caída. Uno de ellos es considerar relaciones de transformación más adecuadas para la zona y tipo de tormenta a analizar. Adicionalmente, es apropiado explorar distintas configuraciones de la microfísica del modelo WRF así como distintas condiciones iniciales para evaluar posibles optimizaciones en los pronósticos numéricos de la lluvia.

Referencias Bibliográficas

- Blanchard, D. C. (1953). Raindrop size-distribution in Hawaiian rains. Journal of the Atmospheric Sciences, 10(6), 457-473.
- Jones, D. (1956). Rainfall drop size-distribution and radar reflectivity. ISWS Contract Report CR 009.
- Marshall, J. S. (1948). The distribution of raindrops with size. J. meteor., 5, 165-166.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., ... & Huang, X. Y. (2019). A description of the advanced research WRF model version 4. National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 145(145), 550.

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y FACTORES DE CONTROL EN EL RÍO TAJAMAR, TUCUMÁN (ARGENTINA)

1 Bustos, M. S., 2 Georgieff, S. M., 3 Isuani, M. A., 4 Martínez De Marco, S. N., 4 Mirande, V. y 1 Taboada, M. de los Á.

1 Instituto de Ecosistemas de Aguas Continentales (FML), Argentina, Miguel Lillo 251, S. M. de Tucumán, msbustos@lillo.org.ar; mtaboada@lillo.org.ar.

2 Facultad de Ciencias Naturales e IML UNT, CONICET, Argentina, Miguel Lillo 205, S. M. de Tucumán, sergio_georgieff@csnat.unt.edu.ar.

3 CONICET, Argentina, Miguel Lillo 205, S. M. de Tucumán, antonella.isuani@gmail.com.

4 Sección Ficología, Instituto Criptogámico (FML), Argentina, Miguel Lillo 251, S. M. de Tucumán, snmartinezdemarco@lillo.org.ar; vmirande@lillo.org.ar

Introducción

El análisis morfométrico permite caracterizar las redes de drenaje e identificar los factores que determinan la respuesta hidrológica ante eventos de precipitación (Gaspari *et al.*, 2012). Los datos obtenidos por teledetección y el procesamiento en sistemas de información geográfica (SIG) facilitan la obtención de información geoespacial de forma automática y ágil (Asfaw y Workneh, 2019). Este tipo de estudio puede aplicarse para la gestión de las cuencas, además, es una herramienta para la toma de decisiones vinculadas a los recursos hídricos (Riva *et al.*, 2021). El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la red de drenaje del río Tajarar (Tucumán, NOA), en base al análisis morfométrico de Horton - Strahler (Horton, 1945, Strahler, 1957).

Área de estudio

La cuenca del río Tajarar está ubicada en las Sierras del Nordeste de Tucumán, Argentina (figura 1); la misma incluye a los ríos Nío y Chorrillos, de cuya unión se forma el río Tajarar. El río Nío discurre en el sector Oriental de la Sierra del Nogalito con dirección O-E y el río Chorrillos nace en los Bordos de las Totorillas y circula en sentido N-S (Ruiz y Busnelli, 2014). Las precipitaciones varían en el rango de 600 a 1000 mm anuales. Las temperaturas medias de verano son de 20°C y en invierno 10°C (Guido y Sesma, 2014). La vegetación corresponde a una transición entre Yungas y Chaco.

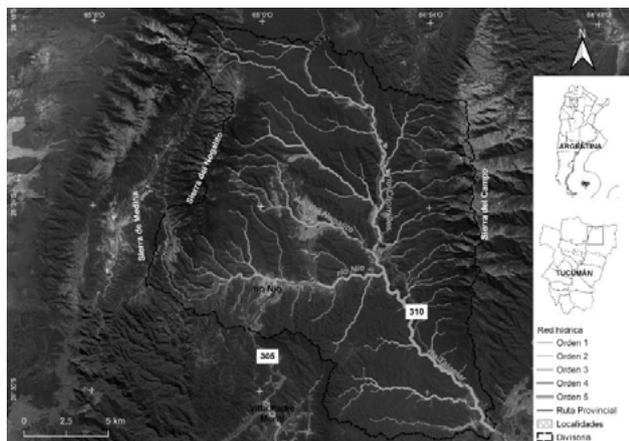


Figura 1.- Área de estudio: cuenca del río Tajarar en las Sierras del Nordeste, Tucumán, Argentina. Red de drenaje, orden de ríos, vías de acceso y localidades principales.

Materiales y Métodos

La cuenca fue delimitada de forma automática empleando herramientas del Sistemas de Información Geográfica QGIS 2.18. Para ello se emplearon escenas de ASTER GDEM 2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model Version 2), con las cuales se creó un mosaico que fue proyectado al sistema POSGAR Argentina 3. Para acotar el área y el tiempo de procesamiento el mosaico fue recortado, luego se realizó la

corrección por relleno de depresiones. Para la delimitación de las cuencas se estableció un área mínima de drenaje equivalente al 0,2% de la superficie de la cuenca (aprox. 869 celdas). En etapas sucesivas de procesamiento automático se obtuvieron capas raster de dirección y acumulación de flujo. Además, capas vectoriales de ríos, arroyos y número de orden de los ríos. La curva hipsométrica de la cuenca se construyó mediante la reclasificación del modelo de elevación digital en 10 clases de altura. A continuación, se realizó un análisis estadístico por clase de altura para obtener las cotas mínima, media y máxima, el área entre curvas y el área acumulada (%). La información generada: longitud de los cauces, perímetro, área de cuenca y subcuencas, y los datos del análisis hipsométrico fueron exportados a planillas de cálculo y procesadas para obtener los parámetros morfométricos y los factores de forma y relieve de la cuenca (Horton, 1945; Strahler, 1957) (tabla 1). Adicionalmente se graficaron la curva hipsométrica de la cuenca y los perfiles longitudinales de los ríos Nío y Chorrillos.

Tabla 1.- Parámetros de la cuenca y de la red de drenaje. Referencias: Nu número de cauces de orden u, N(u+1) número de cauces de orden inmediato superior, Lu longitud media de los cauces de orden u, L(u-1) longitud media de los cauces de orden inmediato inferior, Su área media de los segmentos de orden u, S(u-1) área media de los segmentos de orden inmediato inferior. Lt longitud total de cauces, Nt número total de cauces, N1 número de ríos de orden 1.

Perímetro	P	
Área	A	
Relación de Bifurcación	$Rb = Nu/N(u + 1)$	[1]
Relación de Longitud	$Rl = Lu/L(u - 1)$	[2]
Relación de Área	$Rs = Su/S(u - 1)$	[3]
Densidad de drenaje	$Dd = Lt/A$	[4]
Frecuencia de ríos	$Fr = Nt/A$	[5]
Coefficiente de almacenamiento	$Rho = Rl/Rb$	[6]
Coefficiente de torrencialidad	$Ct = N1/A$	[7]
Extensión media del escurrimiento	$E = A/4 \times Lt$	[8]
Coefficiente de compacidad (Gravelius)	$Kc = 0.28 \times P/\sqrt{A}$	[9]

Resultados y discusión

El perímetro y el área de la cuenca son 130,4 km y 329,8 km², respectivamente. La red de drenaje alcanza el orden 5 de jerarquización (figura 1). La relación de bifurcación media (Rb) de la red es de 3,3, la relación de longitud media (Rl) de 1,8 y la relación de área media (Rs) de 2,0. Cuando se graficaron el orden de los ríos con el número de ríos por orden, la longitud de un orden dado con el orden, y el área de un orden dado en función del orden, se observa la tendencia geométrica de acuerdo con las leyes de composición de las redes de drenaje de Horton (1945). La Dd (valor obtenido 1,0) indicó una red de drenaje de tipo muy gruesa (Chandrashekar *et al.*, 2015) y

características de regiones húmedas con erosión activa (Horton, 1945). La Fr de 0,4 tuvo un valor bajo respecto a los valores referidos en la literatura. Mahala (2020) mencionó que los valores bajos caracterizan a redes de drenaje poco desarrolladas. Argyriou *et al.* (2017) y Charizopoulos *et al.* (2019) interpretan valores de Fr bajos (<5) como consecuencia de materiales subsuperficiales impermeables, relieve elevados y baja capacidad de infiltración. El Coeficiente de almacenamiento (Rho = 0,5) sería característico de un alto almacenamiento hídrico y efectos erosivos menguados (Pande y Moharir, 2017). El Ct de 0,3 obtenido en este trabajo sugirió condiciones de torrencialidad, que pueden relacionarse a las características típicas de un ambiente de montaña como son: las pendientes elevadas, una considerable capacidad de transporte de sedimentos gruesos y la llegada de una gran cantidad de sedimentos en forma instantánea al cauce principal (Beltramone, 2007). La extensión media del escurrimiento (E=0,6) indicaría un leve desarrollo del drenaje superficial (Camino *et al.*, 2018). El valor de Kc obtenido (2,01) fue interpretado como descriptivo de una cuenca de forma rectangular-oblonga, con una concentración del escurrimiento superficial más lenta. El área de estudio presenta un relieve pronunciado, con alrededor del 70% del área por encima de los 1000 msnm. La forma de la curva hipsométrica de la cuenca (figura 2) muestra características intermedias entre las curvas típicas de cuencas en estado joven (A gran potencial erosivo) y cuencas maduras (B en equilibrio) de acuerdo a Strahler (1957). Los perfiles longitudinales de la cuenca alta y baja muestran resaltos que se interpretan como resultado de controles litológicos del basamento precámbrico y tectónicos vinculados a la deformación durante la orogenia andina (figura 3).

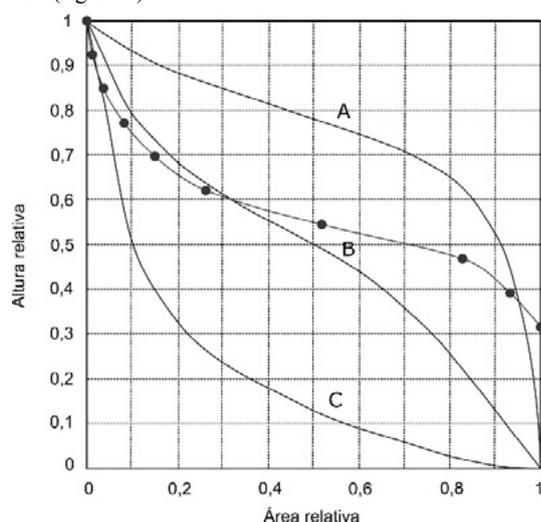


Figura 2.- Curva hipsométrica de la cuenca del Tajar. Las curvas A, B y C representan cuencas erosivas, en equilibrio y sedimentarias, respectivamente; el área estudiada presenta características intermedias.

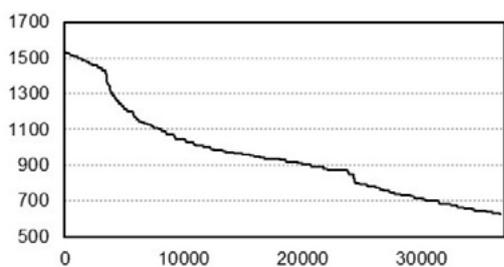


Figura 3.- Perfil del río Tajar desde las nacientes del Nío donde se observan quiebres en la pendiente.

Conclusiones

Los parámetros morfométricos indican una cuenca elongada, entre joven y equilibrada, una red de drenaje poco desarrollada,

almacenamiento hídrico alto, procesos erosivos menguados y torrencialidad estacional. La cuenca se ubica en una región de sismicidad moderada con controles de fallas geológicas meridionales en la cuenca alta que determinan la dirección N-S del río Chorrillos y del río Tajar (NO-SE) en la parte baja. Este trabajo es el primero en su tipo para la cuenca, constituyendo un aporte importante para la gestión y manejo del agua en el área.

Referencias

- Argyriou, A.V., R.M. Teeuw, P. Soupios and A. Sarris, (2017). "Neotectonic control on drainage systems: GIS-based geomorphometric and morphotectonic assessment for Crete, Greece". *Journal of Structural Geology*, Vol. 104, pp. 93-111.
- Asfaw, D. and G. Workineh (2019). "Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation". *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 7, No. 2, pp. 150-157.
- Beltramone, C. (2007). "Geomorfología Fluvial del Río San Antonio. Provincia de Córdoba. Argentina". *Cuadernos del Curiham*, Vol. 13, pp. 19-29.
- Camino, M. A., M. J. Bó, J. L. Cionchi, J. L. Del Río, A. López de Armentia y S. G. De Marco (2018). "Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires". *Revista Universitaria de Geografía*, Vol. 27, No. 1, pp. 73-97.
- Chandrashekar, H., K.V. Lokesh, M. Sameena, Jyothi roopa, and G. Ranganna (2015). "GIS -Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka". *Aquatic Procedia*, Vol. 4, pp. 1345-1353.
- Charizopoulos, N., P. Mourtziou, T. Psilovikos, A. Psilovikos, and L. Karamoutsou (2019). Morphometric analysis of the drainage network of Samos Island (northern Aegean Sea): Insights into tectonic control and flood hazards. *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 351, No. 5, pp. 375-383.
- Gaspari, F.J., A.M Rodríguez Vagaría., G.E Senisterra, G. Denegri, M.I. Delgado y S. Besteiro (2012). "Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina". *AUGMDOMUS*, Vol. 4, pp. 143-158.
- Guido, E.Y. y P.J. Sesma (2014) Geografía física. En: Moyano *et al.* (Eds.) *Geología de Tucumán*. Col. de Grad. en Cs. Geól. de Tucumán, pp: 29-48.
- Horton, R.E. (1945). "Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology". *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, pp. 275-370.
- Mahala, A. (2020). "The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings". *Applied Water Science*, Vol. 10, No. 1, 33 <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>
- Pande, C. B., y K. Moharir (2017). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. *Applied Water Science*, Vol. 7, No. 2, pp. 861-871.
- Riva, P., A. Sánchez Caro y F.J. Gaspari, (2021). "Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Luján, Buenos Aires, Argentina". *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Vol. 13, No. 21, pp. 1-20.
- Ruiz, A. y J. Busnelli (2014). Hidrografía. En: Moyano *et al.* (Eds.) *Geología de Tucumán*. Col. de Grad. en Cs. Geól. de Tucumán, pp: 257-275.
- Strahler, A. N. (1957). "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology". *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 38, No. 6, pp. 913-920.

MUESTREO HIDROQUÍMICO Y AFORO DEL ARROYO COLANGÜIL Y SUS TRIBUTARIOS, EN EL SECTOR NORTE LA CORDILLERA FRONTAL, DEPARTAMENTO IGLESIA, PROVINCIA DE SAN JUAN

Cabrera Gerardo
INA-SCRAS
gcabrera@ina.gob.ar

Introducción

El presente informe expone los resultados relacionados con la campaña de campo realizada en febrero del año 2021, análisis físico-químico, estudios hidrogeológicos y determinación de caudales del agua de los arroyos Colangüil y sus tributarios (arroyos Poncha Norte y Poncha Sur), todos ubicados en las inmediaciones del proyecto minero “Poncha”, en el departamento Iglesia, Provincia de San Juan

Ubicación

El área de estudio corresponde al proyecto minero “Poncha”, la cual se encuentra ubicada en el sector nor-oeste de la provincia de San Juan, sobre la falda oriental de la Cordillera de Colangüil, en el departamento Iglesia. Pertenece a la provincia geológica de Cordillera Frontal.

En sentido hidrológico, la zona comprende la porción superior de la Cuenca del Arroyo Colangüil, desde sus nacientes hasta el extremo oriental del área de la propiedad minera coincidente con las cercanías del camino principal.

El arroyo Colangüil luego confluye, aguas abajo, con el río Blanco que al llegar al embalse Cuesta del Viento se une al arroyo Colola y Agua Negra, dando origen al río Jáchal.

Características fisiográficas de la cuenca

La Cuenca del Arroyo Colangüil es de tipo exorreica, posee arroyos de hasta tercer orden, de grandes pendientes y sección en V y en U, propias de la zona cordillerana en donde se encuentra. Sus principales afluentes son los arroyos Poncha Norte y el Poncha Sur.

Sus caudales dependen de la fusión de nieves caídas durante el periodo invernal, del aporte subterráneo de aguas provenientes del medio fisurado y en raras ocasiones esporádicas lluvias precipitadas en la zona. Los arroyos Poncha Norte y Poncha Sur tienen sus orígenes entre los 4.135 y los 5.000 metros de altura sobre el nivel del mar, en la falda oriental de la Cordillera de Colangüil y en un corto recorrido unen sus aguas a las del arroyo Colangüil, que tiene sus orígenes en la cordillera homónima y descarga sus aguas al río Blanco, razón por la cual conforma parte de la Cuenca del río Jáchal.

Aforo

Para el desarrollo del trabajo encomendado se ubicaron estaciones de aforo y muestreo sobre el cauce del arroyo Colangüil y dos de sus tributarios (Poncha Norte y Poncha Sur) Figura 1. La elección del método de aforo fue de acuerdo a las condiciones específicas de cada sitio; se utilizó el flotador para aquellos casos de tirantes muy bajos, menores a 20 cm (Tabla 1), y aforador sin cuello para la estación de aforo en el arroyo Colangüil (Tabla 2), en intervalos de tres horas, desde las 19:30 del día 3 de febrero hasta las 16:30 del día 4 de febrero de 2021.

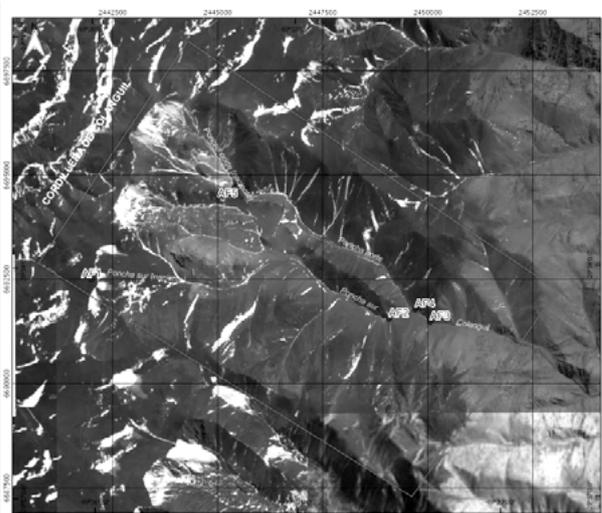


Figura 1.- Estaciones de Monitoreo.

Tabla 1.-Ejemplo de Tablas.

Denominación	Arroyo	Hora	Caudal [l/s]
AF1	Poncha sur (naciente)	11:00hs.	3,76
AF2	Poncha sur	13:00 hs.	21,95
AF3	Colangüil	14:30 hs.	14,69
AF4	Poncha norte	15:00hs	16,25

Tabla 2.-Ejemplo de Tablas.

Hora (hs)	Q m ³ /seg	Q L/seg
19:30	0,01351	13,51
22:30	0,01380	13,80
01:30	0,01590	15,90
04:30	0,01380	13,80
07:30	0,01409	14,09
10:30	0,01529	15,29
13:30	0,01469	14,69
16:30	0,01380	13,80

Análisis Físico Químico

Se analizaron parámetros de campo pH, Conductividad Eléctrica (CE) y temperatura del agua (T). Las muestras tomadas fueron remitidas al laboratorio donde se determinaron, Propiedades físicas y de agregación, iones principales, constituyentes inorgánicos y metales traza disueltos.

Conclusiones

- El agua del arroyo Poncha Norte presenta la mayor salinidad de la cuenca. En el punto de muestreo (M5) el agua presenta un pH ácido, el mayor contenido de sulfatos y de iones en general (excepto HCO₃⁻ que se encuentra ausente en este punto), como

así también las mayores concentraciones de metales traza. Estas características son debidas a la alteración hidrotermal y mineralización natural de la zona. Hacia el punto de muestreo M4 se evidencia una variación donde la salinidad disminuye en un 50% aproximadamente al igual que el contenido de iones y metales, y el pH toma un valor neutro. En la estación de aforo AF5 se determinó un caudal de 14,28 l/s y en la AF4 un caudal de 16,25 l/s, probablemente porque recibe algún aporte hídrico del medio subterráneo (subálveo).

- Se concluye que el arroyo Poncha Norte recibe aportes de agua subterránea que diluye la hidroquímica de las aguas entre el punto de muestreo (M5) y el (M4).

El arroyo Poncha Sur tanto en el punto de monitoreo M1 como en M2 presenta conductividades bajas, pH cercano a la neutralidad y menores concentraciones de iones disueltos (excepto HCO₃⁻) y de elementos traza en general. El caudal en la estación AF1 fue de 3,76 l/seg siendo, en sus nacientes, de carácter netamente efluente, o sea capta sus aguas del medio subterráneo (medio fisurado) y en la estación AF2 el caudal fue de 21,95 l/seg. Recibiendo aporte del medio subterráneo entre la AF1 y AF2.

- Luego de la confluencia de los arroyos mencionados anteriormente, el arroyo Colangüil presenta características químicas que evidencian la mezcla de agua, donde la salinidad y las concentraciones de iones y demás elementos toman valores medios en los observados en sus nacientes. El caudal del arroyo Colangüil fue monitoreado durante 24hs y se encuentra entre 13,51 y 15,9 l/seg con variaciones poco significativas entre el horario diurno y nocturno.

- Respecto a la caracterización hidroquímica de la cuenca, notamos que el arroyo Poncha Norte presenta un tipo de agua Sulfatada Cálcida mientras que en el arroyo Poncha Sur el agua es principalmente de tipo Cálcida Bicarbonatada. Al mezclarse estos dos cauces, en el arroyo Colangüil, los iones que presentan mayores contenidos relativos son SO₄⁼ y Ca²⁺ en cantidades prácticamente iguales por lo que el tipo de agua es Sulfatada Cálcida.

Referencias Bibliográficas

Lic. Leandro Salvioli, et al, (2021). “informe técnico IT-400”, San Juan, Argentina.

RESPUESTA DEL CURSO MEDIO DEL RÍO PARANÁ ANTE LA DESCARGA DE CAUDALES (MEDIOS-BAJOS) DE YACYRETÁ

Daniel Horacio Calvo^a, Roberto Daniel Muiños^b

a. Subgerencia de Servicios Hidrológicos - Instituto Nacional del Agua – Argentina

b. Universidad Nacional de Buenos Aires – Universidad Nacional de Tres de Febrero – Argentina

E-mail: dcalvo@ina.gov.ar; robertodmuinos@gmail.com

Introducción

El curso medio del Río Paraná se extiende por más de 720 km desde la confluencia con el río Paraguay hasta la ciudad de Diamante. A partir de allí, y hasta la confluencia con el río Uruguay corre el curso inferior donde la dinámica de los niveles en sus estaciones es afectada por el régimen del Río de la Plata. El curso medio del Paraná (CMRP) ha sido metódicamente estudiado debido a su importancia en la provisión de agua dulce, el transporte, y la energía.

Dos importantes antecedentes de investigación sobre datos de caudales y niveles hidrométricos en el CMRP son: el tratado de Carlos Paoli y Mario Schreider de la Univ. Nac. del Litoral, (Paoli, C., & Schreider, M., 2000), y el de Ángel Menéndez del Instituto Nacional del Agua (Menéndez, A., 2002).

En el primero se explora, entre muchas cuestiones, la modelación estocástica a través de funciones de transferencia; mientras que en el segundo se ha desarrollado y perfeccionando la modelación computacional hidrodinámica del CMRP.

El propósito de esas aplicaciones ha sido la simulación y predicción del nivel del agua a lo largo de los cursos medio y bajo del río durante la propagación de una onda de crecida. Esa información ha sido destinada para emitir alertas, en especial en el Sistema de Información y Alerta Hidrológico (INA).

El problema de investigación en el presente trabajo es el efecto del caudal descargado por Yacyretá visto como forzante (o excitación) sobre la estructura de las series de niveles hidrométricos (respuestas) registradas en un conjunto de estaciones del curso medio (e inferior) del río Paraná.

La hipótesis que se propone apoyar con esta investigación es que el curso medio responde con la misma estructura de periodicidad semanal con la que acciona la serie forzante de caudales descargados.

Dilucidar en qué medida la mano humana (presente en la señal semanal forzante) afecta la estructura de las respuestas del curso medio, y con qué consecuencias sobre los distintos ecosistemas involucrados, justifica el esfuerzo realizado en la investigación.

Datos y Metodología

Las series usadas en este estudio van desde 9/08/1999 hasta 10/09/2000, 399 datos diarios. Este período ha sido elegido por que la serie forzante es de caudales medios/bajos (promedio: 12000 m³/seg) y por que no incluye crecidas (bajantes) extremas que afecten su estructura, (figura 1).

Esta serie forzante de 399 datos diarios constituye la excitación cuya respuesta se estudiará en las estaciones más importantes del curso medio, y a partir de la ciudad de Diamante, se contrastará con el comportamiento de algunas series del curso inferior.

Los datos usados pertenecen a la base del Sistema de Información y Alerta Hidrológico del INA, y fueron registrados con anterioridad al planteo de esta investigación.

El presente trabajo es, por lo tanto, una investigación “ex post facto” que no surge de un diseño experimental.

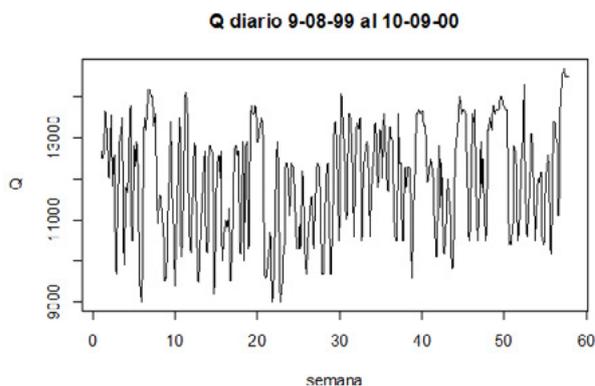


Figura 1.- Serie forzante o excitación: caudales descargados

A continuación se describen los métodos estadísticos aplicados.

Análisis de clústers: se trata de un método de aprendizaje no supervisado que divide un conjunto de objetos en grupos o clústers homogéneos, (Montero, P., and Vilar, J., 2014).

El método usado es “jerárquico y aglomerativo” ya que parte de tantos grupos como objetos hay, y éstos se van agrupando hasta quedar incluidos todos ellos en un único grupo final. Los objetos agrupados (o clasificados) en clústers durante el proceso mencionado son las series de niveles hidrométricos: o sea las respuestas a la señal forzante.

Los agrupamientos en clústers se efectúan según alguna medida de disimilaridad, o distancia entre las series a ser agrupadas. Entre las diversas medidas de disimilaridad para series se ha elegido la que se basa en la “autocorrelación estimada”, en razón de su sencillez y de que permitiría detectar la periodicidad presente en ellas. Sean:

$$\hat{\rho}_X = (\hat{\rho}_{1,X}, \dots, \hat{\rho}_{L,X})^T, \hat{\rho}_Y = (\hat{\rho}_{1,Y}, \dots, \hat{\rho}_{L,Y})^T \quad [1]$$

vectores de autocorrelación estimados de las series X_t e Y_t .

La disimilaridad entre X_t e Y_t basada en la autocorrelación es:

$$d_{ACF}(X_t, Y_t) = \sqrt{\sum_{i=1}^L (\hat{\rho}_{i,X} - \hat{\rho}_{i,Y})^2} \quad [2]$$

para L tal que: $\hat{\rho}_{i,X} \approx 0, \hat{\rho}_{i,Y} \approx 0$ cuando $i > L$.

El algoritmo comienza creando tantos clústers como series hay, y las va agrupando hasta terminar con un único clúster que las contiene a todas ellas.

La distancia entre dos clústers se calcula mediante la distancia entre las series más cercanas dentro de un clúster y de otro; y se aglomeran los dos clústers más próximos en el siguiente paso.

Este criterio de disimilaridad basado en autocorrelación, fundamenta el algoritmo de clústering jerárquico aplicado para clasificar o agrupar las series “respuesta”.

Análisis espectral en dominio frecuencial: se basa en la representación de Fourier de una serie Z_t de n observaciones:

$$Z_t = \sum_{k=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} (a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t) \quad [3]$$

donde: $\omega_k = \frac{2k\pi}{n}, k = 0, 1, \dots, \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ [4]

Las ω_k son las frecuencias de Fourier.

Los coeficientes a_k y b_k como se los define a continuación, son los coeficientes de Fourier (Wei, 1994):

$$a_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t \cos \omega_k t, k = 0, y k = \frac{n}{2}, n \text{ es par} \quad [5]$$

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n Z_t \cos \omega_k t, k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right], y \dots \quad [6]$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n Z_t \sin \omega_k t, k = 1, 2, \dots, \left[\frac{n-1}{2} \right], \quad [7]$$

Mediante el uso de los coeficientes de Fourier se define el "periodograma" $I(\omega_k)$ asociado a cada valor de frecuencia ω_k :

$$I(\omega_k) = \begin{cases} na_0^2, & k = 0 \\ n(a_k^2 + b_k^2)/2, & k = 1, \dots, (n-1)/2 \\ na_{n/2}^2, & k = \frac{n}{2}, n \text{ par} \end{cases} \quad [8]$$

El periodograma es la herramienta para buscar componentes periódicas en las series. Cuando el periodograma $I(\omega_k)$ es dominado por alguna frecuencia ω_j indica que la serie de datos Z_t muestra periodicidad dominante de $2\pi/\omega_j$ unidades de tiempo.

Con este criterio se clasifica a las series respuesta: según la frecuencia dominante, y según su intensidad, (Venables, 2002).

Análisis en el dominio temporal: Se busca un modelo autorregresivo, integrado y de medias móviles (ARIMA) (Wei, 1994), que ajuste "suficientemente" bien a las series de niveles hidrométricos diarios h_t del curso medio, o sea un modelo común para todas las h_t del curso medio.

El modelo ARIMA propuesto es: (2, 1, 1) (1, 1, 1)⁷ que incluye una componente de período 7 días.

Utilizando el operador de retardos L la expresión expandida del modelo queda:

$$(1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2)(1 - \Phi_1 L^7)h_t^* = (1 - \theta_1 L)(1 - \theta_2 L^7)\varepsilon_t \quad [9]$$

Donde h_t^* es la serie h_t diferenciada para lograr estacionariedad:

$$h_t^* = (1 - L^7)(1 - L)h_t = (h_t - h_{t-1}) - (h_{t-7} - h_{t-8}) \quad [10]$$

El valor absoluto de Φ_1 en la ec. [9], cuantifica el impacto en el modelo ejercido por h_{t-7}^* sobre h_t^* , exponiendo así la existencia de periodicidad semanal en caso de que la hubiere.

Se comparan los distintos valores de $|\Phi_1|$ para las estaciones del curso medio e inferior como indicador de la fuerza de esa periodicidad semanal presente en las series involucradas.

Resultados y Discusión

El algoritmo de **clustering jerárquico** aglomera los niveles hidrométricos (respuestas) en clústers tal que éstos van perdiendo su periodicidad semanal a medida que las series agrupadas se alejan de la señal forzante. Los clústers más importantes resultan: **1° clúster:** Corrientes, Empedrado, B. Vista, y Goya. El **2° clúster** es: La Paz, S. Elena, Hernandarias, Paraná, Diamante, Rosario, S. Nicolás y S. Pedro. Dentro del 2° se forma un **sub-clúster** que contiene sólo respuestas del curso medio: La Paz, S. Elena, Hernandarias, Paraná, y Diamante; y otros sub-clusters conteniendo las series del curso inferior: Rosario, S. Nicolás y S. Pedro. Un **3° clúster** aglomera Campana y Olivos (curso inferior).

Se destaca que las estaciones del curso medio quedan así particionadas en dos grupos. Uno conteniendo al "núcleo duro" de las respuestas a la forzante: las estaciones más cercanas a Yacyretá con similar estructura de autocorrelación. Y otro grupo, disjunto del anterior, conteniendo series de las estaciones del curso medio más cercanas al curso inferior en términos tanto de similaridad estructural como de progresiva.

El **análisis espectral** permite una clasificación de los niveles hidrométricos comparando visualmente los periodogramas suavizados de las series, con fuerte atención en:

- la relación entre la participación de las altas y las bajas frecuencias que aparecen en los periodogramas de las series.
- la presencia de alguna frecuencia (periodicidad) dominante en el periodograma, y su intensidad.

Este método produce un **1° gran clúster** formado por: Corrientes, Empedrado, B. Vista y Goya con una periodicidad semanal muy dominante para esas cuatro series; y también se incluyen en el mismo clúster: La Paz, Hernandarias y S. Elena pero éstas tres últimas con el pico dominante de menor intensidad.

Un **2° clúster** contiene a Paraná y a Diamante (aguas abajo), series para las cuales el pico de período semanal es apenas notable. Para las series hacia aguas abajo de Diamante (curso inferior) no hay evidencia gráfica de periodicidad semanal.

El **análisis en el dominio temporal** produce un ordenamiento del valor absoluto del coeficiente autorregresivo de retardo de 7 días desde aguas arriba en el curso medio, hacia aguas abajo en curso inferior. En ese ordenamiento se ve que ese valor: $|\Phi_1|$ decrece a medida que las series se van alejando de la central de Yacyretá. Esto se interpreta como que el impacto del dato de la semana "anterior" sobre el dato "actual" va decreciendo a medida que la serie se aleja del punto de aplicación de la forzante.

O sea: se va perdiendo periodicidad semanal hacia aguas abajo hasta desaparecer en el curso inferior.

Conclusiones

En conclusión: los tres métodos permiten apoyar, aunque de modo exploratorio, que el curso medio responde con la misma estructura de periodicidad semanal con la que acciona la serie forzante de caudales descargados. Tal respuesta deja de observarse en el curso inferior apoyando que este tramo responde a otro sistema de forzantes o excitaciones.

Importa destacar que la periodicidad semanal con la que responde el curso medio no es natural (como la estacionalidad, o los ciclos de las mareas) sino que es "cultural".

Se trata de una periodicidad producida por la demanda social y la producción de energía hidroeléctrica que llega al curso medio a través de la señal forzante generada por Yacyretá.

Como perspectiva futura queda ampliar la extensión temporal de la investigación para dilucidar en qué medida la mano humana sigue impactando en la estructura de las respuestas del curso medio, y con qué consecuencias sobre los distintos ecosistemas involucrados.

Referencias Bibliográficas

- Menéndez, A.** (2002). "Three decades of development and application of numerical simulation tools at INA Hydraulics Lab.". *Mecánica Computacional*, (1), pp. 2247-2266.
- Montero, P. and Vilar, J.** (2014). "TSelust: An R Package for Time Series Clustering". *Journal of Statistical Software*, Volume 62, Issue 1, November 2014.
- Paoli, C., y Schreider, M.** (Eds.). (2000). *El río Paraná en su tramo medio: contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura (Vol. 2)*. Universidad Nacional del Litoral.
- Venables, W. N. and Ripley, B. D.** (2002). *Modern Applied Statistics with S-PLUS*. Fourth edition. Springer.
- Wei, W. S.** (1994.). *Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods*. Addison Wesley, U. S. A.

MOVIMIENTO VERTICAL DEL AGUA DE LLUVIA EN UN SUELO CON CARACTERÍSTICAS HIDRO-HALOMÓRFICAS

Mario Guillermo Castiglioni¹; Sofia Havrylenko²; Aimé Espíndola²; Lucas Gusmerotti².

(1) Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. e-mail: castigli@agro.uba.ar. (2) Instituto de Clima y Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Hurlingham, Buenos Aires. e-mail: espindola.aim@inta.gob.ar.

Introducción

El estudio del movimiento de agua en el suelo, como resultado de las precipitaciones, es importante desde el punto de vista de sus efectos ambientales y productivos, ya que sus características influyen en los procesos de erosión, contaminación, percolación profunda y en el desarrollo de los cultivos (Reynolds and Elrick, 2005). No existe información abundante que evalúe, a través del uso de sensores de humedad dispuestos en el suelo, como es el comportamiento del movimiento vertical del agua en el suelo superficial y la consiguiente humectación de los primeros estratos del suelo, ante la ocurrencia de lluvias naturales. El objetivo del presente trabajo fue analizar las variaciones en la humedad edáfica ocurridas en tres estratos de un suelo con características hidro-halomórficas de la Pampa Ondulada, ante la ocurrencia de precipitaciones de distinta magnitud y con diferente contenido hídrico edáfico inicial.

Materiales y métodos

Se trabajó sobre un suelo con características hidro-halomórficas, ubicado en el sector bajo del paisaje, cerca de la localidad de Rojas (Bs.As.) (34°15'7.00" S; 60°38'21.20" O). El mismo presenta en superficie una textura franco limosa (arcilla: 18 %; limo: 52 %, arena: 30 %); contenido de carbono: 3,0 %; pH: 8,3; la profundidad al horizonte argílico es de 19 cm; tiene síntomas de hidromorfismo (moteados) y exceso de sodio a escasa profundidad (10 cm). El uso de la tierra es exclusivamente ganadero con baja carga animal, y la vegetación presente consiste en especies adaptadas a las restricciones que tiene dicho suelo. Se instalaron sensores de humedad edáfica a tres profundidades: 5 cm, 15 cm y 25 cm, los cuales registraron en forma horaria las variaciones de dicho parámetro en milivoltios, almacenando la información en un dispositivo, del que luego fue extraída cada dos meses. En el mismo sitio se encuentra instalado un pluviógrafo que almacena cada 15 minutos la información de las precipitaciones ocurridas. Mediante la toma de muestras de suelo, en distintos momentos y con diferentes contenidos hídricos, se determinó en laboratorio la humedad edáfica y la densidad aparente de los distintos estratos, a partir de lo cual se generó una función que relacionó los valores de humedad expresados en milivoltios con el contenido hídrico volumétrico. A partir de registros previos a la instalación del pluviógrafo, durante una etapa con mayor cantidad de precipitaciones, se pudo establecer el contenido hídrico de cada estrato en su estado de saturación. Con los datos de campo obtenidos durante el período 1/10/2020 al 22/2/2023, se analizó el comportamiento de la humedad edáfica a las tres profundidades seleccionadas, ante la ocurrencia de diferentes tormentas. Se determinaron los siguientes parámetros: lámina de lluvia caída (mm), su duración (h) e intensidad (mm h^{-1}), contenido de humedad ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) y grado de saturación (%) de cada estrato anterior y posterior a cada lluvia, lámina de agua (mm) previa y posterior a cada tormenta en las tres capas de suelo y la total hasta los 25 cm, grado de saturación (%) del suelo hasta los 25 cm antes y después de las lluvias, tiempo transcurrido desde el inicio de la lluvia hasta el momento de registrar el incremento de humedad, % de lluvia infiltrada en los 25 cm de suelo.

Resultados

Durante el período analizado ocurrieron 206 tormentas, de las cuales el 86 % fueron menores a 20 mm, un 8 % correspondió al rango de 20 mm a 32 mm, mientras que el 6 % restante fue para aquellas superiores a los 37 mm. Para el presente trabajo se consideraron 20 lluvias, dado que el resto no influyó en el comportamiento hidrológico del suelo a las profundidades evaluadas. La lámina de agua aportada por las mismas osciló entre 18,8 mm y 64,2 mm (media: 39,6 mm), siendo el 45 % mayor a 40 mm. La humedad antecedente media en orden creciente de profundidad fue: $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, que representa un grado de saturación medio del 32 %, 53 % y 51%, en ese mismo sentido, oscilando entre $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Los resultados se agruparon en tres categorías diferentes, de acuerdo a la lámina de contenido hídrico presente hasta los 25 cm al inicio de cada tormenta (Figura 1). Dichos valores corresponden a un grado de saturación medio del 37 % (entre 35 % y 40 %), 49 % (entre 42 % y 56 %) y 70 % (entre 70 % y 71 %), para las clases 1, 2 y 3 respectivamente.

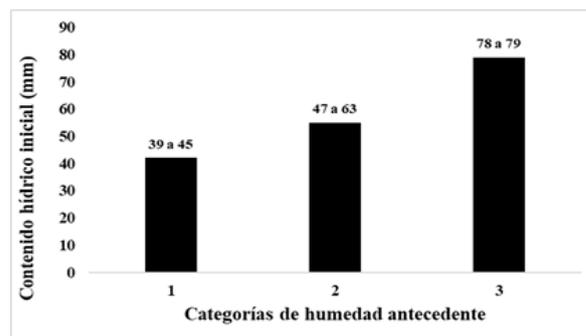


Figura 1.- Contenido hídrico inicial medio del suelo hasta los 25 cm para las distintas categorías de humedad antecedente. Los valores por encima de las columnas corresponden al rango de valores de cada categoría de humedad de suelo.

Las precipitaciones ocurridas dentro de cada uno de estos grupos, abarcó a aquellas menores y mayores a los 40 mm, no existiendo diferencias ($p < 0,05$) en esta propiedad entre las tres categorías mencionadas. El aumento en la humedad del suelo hasta los 25 cm, como también el porcentaje de lluvia infiltrada, fueron mayores ($p < 0,05$) en las dos categorías de suelo más seco (1 y 2) respecto a aquella que presentó mayor grado de saturación inicial (3) (Tabla 1), sin existir diferencias entre las dos primeras clases mencionadas.

Tabla 1.- Incremento en la saturación del suelo (IS), de su humedad inicial (IH) y porcentaje de lluvia infiltrada (LLI), de acuerdo a las tres categorías de humedad antecedente (HA). Letras distintas para un mismo parámetro indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

HA	IS (%)	IH (%)	LLI (%)
1	10 a	27 a	28 a
2	9 a	18 a	24 a
3	3 b	4 b	7 b

A su vez, y si bien las diferencias en muchos casos no fueron significativas, el comportamiento ocurrido en cada estrato fue similar al recientemente detallado (Figura 2).

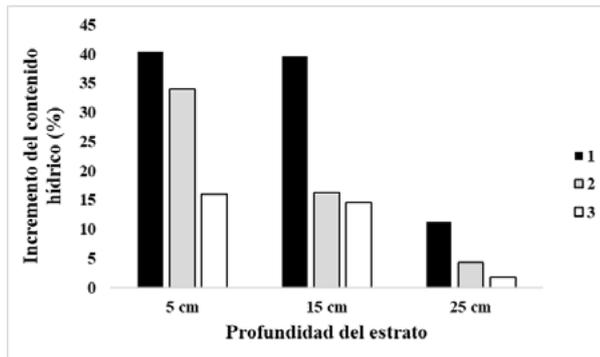


Figura 2.- Incremento del contenido hídrico según la profundidad del suelo y de acuerdo a la categoría de humedad antecedente (1, 2 y 3)

Sin embargo, en las dos clases con menor contenido hídrico inicial, se comprobó un incremento en el porcentaje de lluvia infiltrada con el aumento de la lámina inicial de agua en los primeros 25 cm de suelo, siendo a su vez esta relación diferente en ambas categorías (Figura 3).

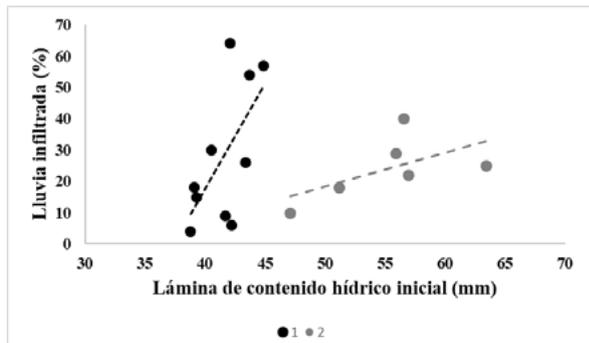


Figura 3.- Porcentaje de lluvia infiltrada según el contenido hídrico inicial del suelo para las dos categorías de suelo más seco (1 y 2)

Con las lluvias evaluadas, en ningún momento se logró la saturación de alguno de los estratos de suelo. No obstante, en el 65 % de ellas se comprobó un incremento casi simultáneo del contenido hídrico de cada una de las capas de suelo evaluadas, lo que presupone que el movimiento de agua en profundidad no se dio en forma secuencial, sino que se produjo por flujos preferenciales (Bergstrom et al., 2005). Al mismo tiempo, hubo una menor proporción de situaciones en las que solo se humectaron los primeros 5 cm de suelo (20 %), mientras que en el restante 15 % hubo un desplazamiento de pocas horas en el registro del incremento de humedad de los estratos más profundos respecto al superficial. De cualquier manera y si bien no se evidenciaron diferencias significativas, en la Figura 2 se comprueba una tendencia, sobre todo en el estrato ubicado a 25 cm, de un menor

incremento en la ganancia de humedad con la profundidad del suelo, independientemente de su estado hídrico inicial. Se hizo un análisis de correlación entre el volumen de lluvia caído los 5, 10, 15 y 30 días previos a cada una de las 20 tormentas analizadas, con la humedad inicial de cada estrato y con la lámina de contenido hídrico antecedente correspondiente a los 25 cm de suelo correspondiente a cada una de dichas tormentas. El análisis mostró que las precipitaciones caídas los 30 días anteriores a cada tormenta, fue el parámetro que mejor explicó el contenido de humedad edáfica antecedente (coeficientes de correlación: 0,60 (5 cm), 0,74 (15 cm y la totalidad del suelo hasta los 25 cm), 0,64 (25 cm); $p < 0,01$). Mediante un análisis similar, pero separando los resultados de acuerdo a las estaciones del año, se comprobó el mismo comportamiento, pero con mejores resultados (coeficientes de correlación: otoño-invierno entre 0,96 y 0,98 ($p < 0,05$); primavera-verano entre 0,56 y 0,86 ($p < 0,05$)).

Conclusiones

Se comprobó que el incremento del contenido hídrico edáfico estuvo condicionado por el valor de su lámina de agua inicial, disminuyendo este significativamente cuando la saturación del suelo estuvo cerca del 70 %. Por su parte, entre el 39 % y el 49 % de saturación edáfica media (clases 1 y 2), no existieron diferencias significativas en el aumento de la humedad edáfica. Contrariamente, en estas dos últimas situaciones se pudo corroborar que: a mayor lámina de humedad edáfica antecedente, hubo un superior porcentaje de lluvia infiltrada. En la mayoría de los casos, se pudo observar que hubo una humectación casi simultánea de los distintos estratos de suelo evaluados, no obstante lo cual, la magnitud de este proceso tendió a disminuir con la profundidad del suelo. Al analizar los resultados por estrato, estos no fueron muy diferentes entre sí, ni tampoco con lo ocurrido en el conjunto del suelo hasta los 25 cm. Por último, se pudo constatar que la condición de humedad antecedente estuvo regulada por las lluvias ocurridas los treinta días previos y según la estación del año considerada.

Agradecimientos

Trabajo financiado por proyecto UBACyT 20020170100460BA

Referencias bibliográficas

- Bergstrom, L., Sadeghi, A. and Bosch, D. (2005). "Preferential Flow: Identification and Quantification". En: *Soil water solute process characterization. An integrated approach*. Alvarez Benedí, J. and Muñoz Cárpena, R. (Ed). Capítulo 8: pp. 290-308.
- Reynolds, W.D. and Elrick, D.E. (2005). "Measurement and Characterization of Soil Hydraulic Properties". En: *Soil water solute process characterization. An integrated approach*. Alvarez Benedí, J. and Muñoz Cárpena, R. (Ed). Capítulo 6: pp. 198-252.

APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE GEOPROCESAMIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY

Lizbeth Rocío Caycho Torres y Néstor Montalvo Arquíñigo

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
lizbethcaycho@outlook.com.pe y nmontalvo@lamolina.edu.pe

Resumen

En el contexto del cambio climático, cada vez se vienen produciendo más eventos hidrometeorológicos extremos que ocasionan procesos de erosión más intensos, es por esta razón que la gestión integral de cuencas hidrográficas es fundamental para la evaluación de zonas más críticas de erosión hídrica, y de este modo generar planes con proyectos para la conservación y protección de la cuenca. Este estudio se realiza en la Cuenca del río Huarmey, que pertenece al departamento de Áncash del Perú, y comprende altitudes que varían desde 0 hasta 4950 m.s.n.m. lo cual hace que la cuenca se caracterice por tener zonas costeras y montañosas. Es en la cuenca alta, donde se generan los principales problemas de pérdida y erosión de suelo a causa de las precipitaciones en la época de avenidas, principalmente en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Con el fin de prevenir desastres y promover la gestión integrada de recursos hídricos, se desarrolló un modelo basado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota, para identificar y cuantificar las zonas de erosión hídrica de la cuenca. Los resultados mostraron, que las zonas de mayor pérdida de suelo, de nivel muy alto de erosión, se encontraron en una superficie de 589 km², correspondiente a las montañas que presentan pendientes de moderadas a escarpadas y altas precipitaciones en la cuenca. Así mismo, existe una disminución de la erosión a medida que disminuye la altitud, encontrándose las zonas con nivel estable, de 0 a 5 t/ha.año, localizándose en un área de 1026 km², en los valles y la llanura costera, donde las pendientes son suaves y las precipitaciones escasas.

Palabras clave: USLE, Geoprocésamiento, Erosión hídrica

Introducción

La erosión hídrica se define como el desprendimiento de las partículas de la superficie terrestre debido a las precipitaciones que se originan en la zona (Gaitán et al. 2017). En este estudio, la zona de interés es la cuenca del río Huarmey, que comprende las provincias de Huarmey, Aija y Recuay, en el departamento de Áncash, al noroeste del Perú. Esta cuenca presenta una zona costera y andina, con altitudes que varían desde los 0 a 4950 m.s.n.m. Así mismo, se encuentra entre los paralelos 9°37'16" y 10°11'21" latitud sur, y entre los meridianos 77°27'20" y 78°10'39" longitud oeste. Debido a las fuertes precipitaciones presentadas en la zona andina de la cuenca, se elaboró un modelo utilizando técnicas de geoprocésamiento y percepción remota, para calcular la pérdida de suelo con la ecuación USLE y con verificaciones in situ. La cuantificación de la pérdida de suelo es importante para que se puedan llevar a cabo las medidas de prevención correspondientes (Gaitán et al. 2017).

Materiales

Información vectorial de las unidades hidrográficas del Perú del portal de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), imágenes satelitales Sentinel-2, cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), información vectorial del Mapa de

Hidrogeología Nacional (2016), creado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cartas nacionales de los Mapas Geológicos Integrados a Escala 1:100,000, de INGENMET, información vectorial del Mapa Geomorfológico del Perú, desarrollado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGENMET, datos de precipitación de la Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO). Así mismo, se utilizaron los programas SNAP, ENVI, Google Earth Pro, ArcGIS, Python y Spyder. Así mismo, GPS para la verificación de campo.

Metodología

Para la cuantificación de pérdida de suelo se empleó la ecuación desarrollada por Wischmeier and Smith (1976).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad [1]$$

Donde las variables son:

A: Cantidad de pérdida de suelo (t/ha.año)

R: Factor de precipitación y escorrentía (MJ.mm/ha.h.año)

K: Factor de susceptibilidad del suelo a erosión (t.ha.h/ha.MJ.mm)

L: Factor de longitud de la pendiente

S: Factor de inclinación de la pendiente

C: Factor de la cobertura vegetal

P: Factor de prácticas de conservación

Factor R

La data de PISCO de Senamhi tiene información mensual de las precipitaciones desde 01/01/1981 al 31/12/2016 en formato netCDF. Para poder obtener la información de 35 puntos de interés de la zona de estudio, se utilizó el lenguaje de programación Python, con el editor Spyder. Una vez obtenida las precipitaciones de estos puntos, se calculó el Factor R, utilizando la Fórmula de Arnoldus (1978).

Factor K

Para este factor, se requirió de la información vectorial de la Geología de la cuenca, así como de diferentes muestras de suelo de diferentes puntos de la cuenca para calcular sus porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica. Con los resultados obtenidos, se utilizaron las ecuaciones de Sharpley y Williams (1990) para el cálculo del factor K.

Factor LS

Para este factor, se requirió del ráster de pendientes en porcentajes, para que luego fueran reclasificados según los rangos expresados en la tabla de la Facultad de Hidráulica e

Factor C

La clasificación del mapa de cobertura de suelos fue de un rango de 0 a 1, donde las zonas con mayor cobertura vegetal, los valores son cercanos a 0, y las zonas con escasa cobertura tienen valores cercanos a 1.

Factor P

Para el cálculo de este factor, se requiere de información de la actividad de protección ante la erosión. En este caso, como no se cuenta con estos datos, se asignará el valor de 1.

Resultados

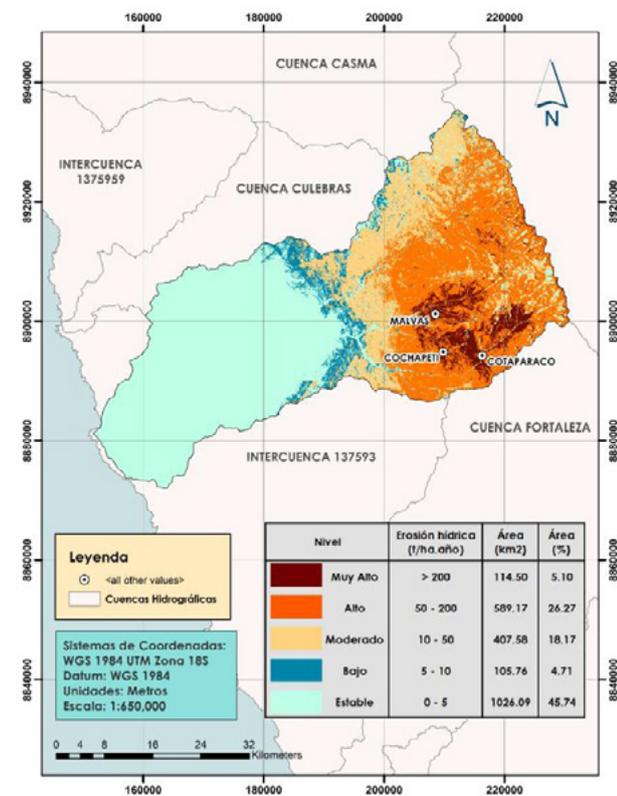


Figura 1.- Modelo USLE de la Cuenca Huarney

Los resultados del modelo geoespacial, expresado en toneladas por hectárea año, se agrupó en 5 niveles: estable, bajo, moderado, alto y muy alto. Localizándose en la cuenca alta, la región con un nivel muy alto con una pérdida de suelo mayor de 200 t/ha.año, en un área de 114.50 km² y que se caracteriza por la presencia de altas precipitaciones y pendientes de moderadas a altas. Así mismo, se encontraron los niveles: alto (50 – 200 t/ha.año), moderado (10 – 50 t/ha.año) y bajo (5 – 10 t/ha.año). Finalmente, localizando la región estable (0 – 5 t/ha.año) de la cuenca, en la zona costera, con un área de 1026 km², en donde es escasa la presencia de lluvias y las pendientes son mínimas.

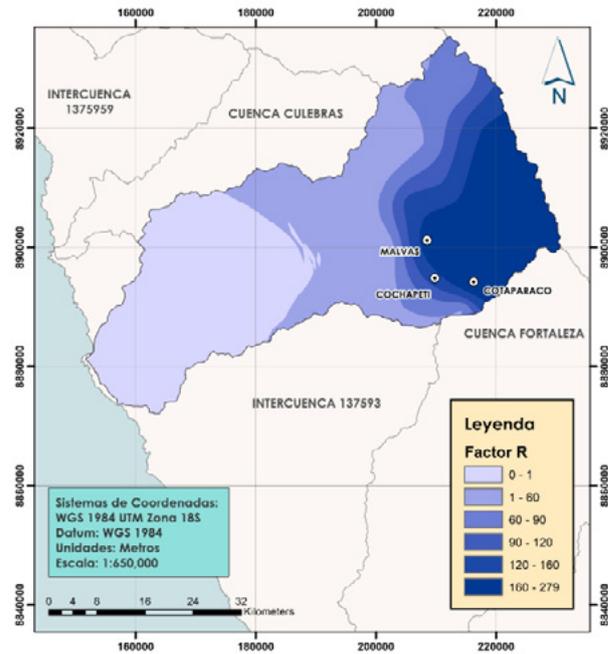


Figura 2.- Factor R de la Cuenca Huarney

Conclusiones

En la cuenca del río Huarney, con el modelamiento geoespacial, utilizando la ecuación de pérdida de suelo USLE, y la aplicación del sistema de información geográfica y la percepción remota, se llegó a determinar que las zonas de nivel de erosión alta y muy alta, que van desde 50 a 200 t/ha.año y 200 t/ha.año o más, cubrieron áreas de 589 km² y 115 km², respectivamente. Estas áreas están ubicadas en las regiones de matorrales y montañas con pendientes moderadas a pronunciadas y fuertes precipitaciones, en los centros poblados como Cochapetí, Cotaparaco y Malvas del departamento de Ancash, Perú. Por otro lado, la zona con nivel estable se ubicó en la parte baja de la cuenca (1026 km²). Esta región se ve homogenizada debido a que, en la cuenca baja, el Factor R se encuentra en un rango de 0 a 1, como se ve en la Figura 2, lo que significa que los valores son relativamente uniformes debido a la falta de precipitación en esa área. Por lo tanto, en el mapa, se observará una clasificación homogénea en la cuenca baja, a pesar de la presencia de cursos de agua y la pendiente del terreno que, teóricamente, podrían haber generado una diferenciación. Esta información es fundamental para la gestión de desastres, ya que permite tomar medidas preventivas para reducir el impacto de la erosión en la región, como la planificación de estrategias de conservación de suelos y la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos naturales.

Referencias Bibliográficas

- Arnoldus, H.M.J. (1978). An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In assessment of Erosion. M.de Boedt and D. Gabriëlds (eds.) John Wiley and Son, New York. pp. 127- 132.
- Gaitán, J.; Navarro, MF.;Tenti, L.; Pizarro, MJ.; Carfagno, P. y Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, Ediciones INTA. 72 p.
- Sharpley, AN; Williams, JR. (1990). EPIC--Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation (en línea). U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin (1768): 1-235.
- Wischmeier & Smith. (1976). A rainfall erosion index for universal soil Loss Equation, Soil Science Society Proc. USA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE UN SECTOR AL NORESTE DE ANGUIL, LA PAMPA

¹Lorena Ceballo, ²Carina Arroyo, ¹Patrick Viñas

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. La Pampa. Argentina. 2954-245220 (7215)

²Administración Provincial del Agua. La Pampa. Argentina.

lorenaceballo@gmail.com

Introducción

El agua subterránea en la provincia de La Pampa es la principal fuente de abastecimiento de agua para los distintos usos, incluido el consumo humano. Sin embargo, la concentración de fluoruro y arsénico muchas veces limitan dicha aptitud, condición registrada por distintos autores en el área de estudio (Cavalié, 1979; Wisner, 2012). Dicha área comprende una superficie de 60 km² que se extiende al noreste de Anguil, departamento Capital, provincia de La Pampa (Figura 1). La población que allí se asienta es de 1934 habitantes y la Ruta Provincial N° 7 (RP7) es la principal vía de acceso, distante 14 km al norte de la Ruta Nacional N° 5 (RN5).

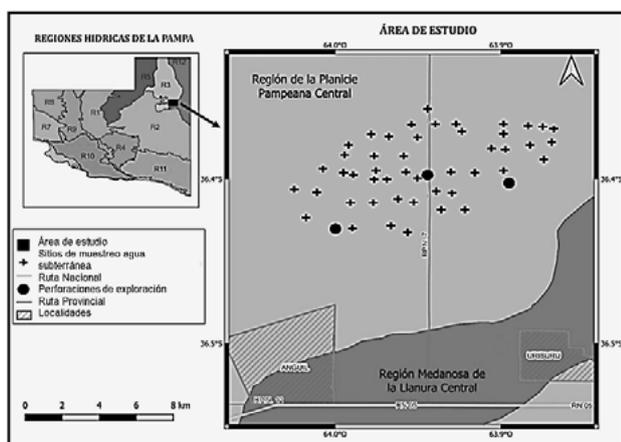


Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

El objetivo de este trabajo fue plantear el funcionamiento del sistema hidrogeológico en un sector ubicado al noreste de la localidad de Anguil. Para ello se estudió el comportamiento hidrodinámico del sistema y se analizó la variación espacial de los tipos químicos del agua subterránea.

En el área de trabajo el clima es subhúmedo seco y se encuentra en una zona de transición entre dos subregiones geomorfológicas: Subregión de las planicies con tosca, al oeste, y Subregión de las planicies medanosas, al este (Cano et al., 1980). La primer subregión mencionada se caracteriza por la presencia de una costra calcárea difundida y originada por acciones acuáticas de escurrimiento difuso en épocas pasadas que subyace por debajo de un manto arenoso eólico (Formación Meauco). Dicha costra calcárea es continua y potente, con espesores entre 0,40 y 2 m, y suprayace a la Formación Cerro Azul con una pendiente regional al este. La Subregión de las planicies medanosas está definida por ondulaciones arenosas con sentido noreste-suroeste y médanos aislados, intercaladas con planicies arenosas de aproximadamente 3 a 4 km de ancho. El sedimento arenoso presenta una potencia de 3 m en el oeste y alcanza unos 6 m en el este, siendo excelentes receptoras de aguas meteóricas. En las partes elevadas desprovistas de la capa arenosa, el proceso de recarga se ve restringida generando escurrimiento del agua hacia bajos vecinos. Los suelos poseen poca evolución genética, presentando un sencillo perfil del tipo A-AC-C, aumentando los carbonatos en profundidad (Cano et al., 1980).

El agua subterránea objeto de estudio se aloja en los depósitos sedimentarios de Formación Cerro Azul, constituidos por limolitas, areniscas finas y arcillas, con intercalaciones calcáreas

(tosca) en forma de nódulos o planchas. En dicha formación, las variaciones laterales y verticales en el aspecto litológico, pueden ser notables a corta distancia, lo que determina variaciones en la permeabilidad y consecuentemente en los caudales factibles de extraer en las obras de captación (Malán et al., 1997), predominando las condiciones de acuífero a acuitardo.

Metodología

La metodología consistió en la medición de niveles freáticos (n=30) y en la toma de muestras de agua subterránea (n=48) en molinos y perforaciones existentes, durante campañas realizadas en agosto y septiembre de 2020, a cargo de la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa. Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas en el laboratorio de la Administración Provincial del Agua (APA) y consistieron en la determinación de iones mayoritarios (cloruro Cl⁻, sulfato SO₄⁻², bicarbonato HCO₃⁻, calcio Ca⁺², magnesio Mg⁺², sodio Na⁺), nitrato (NO₃⁻), arsénico (As total), fluoruro (F⁻), pH, conductividad eléctrica (CE), residuo seco (RS) y dureza. Para el tratamiento de los datos químicos se empleó el software Easy Quim, a partir del cual se obtuvieron los polígonos de Stiff. Para la confección del mapa base se utilizó el software QGIS v.3.20.0, en el cual luego se presentaron los resultados hidrodinámicos e hidroquímicos. Los potenciales hidráulicos para el mapa de isopiezas se obtuvieron a partir de la altura topográfica tomada de Google Earth Pro, a la cual se le restó la profundidad del nivel freático. Los datos climáticos fueron aportados por la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Anguil (INTA).

Resultados

La temperatura media anual para el periodo 1973-2021 fue de 15,4°C, con valores promedios máximos en enero (23°C) y mínimos en julio (7,4°C). La evapotranspiración potencial (ETP) media anual fue de 1146 mm y la evapotranspiración real (ETR) de 970 mm, lo que produce un déficit hídrico del orden de 350 mm, concentrado en su mayoría en los meses estivales.

La profundidad del nivel freático varió entre 2,5 y 7,5 m, mientras que la dirección predominante del flujo subterráneo es hacia el noreste y sureste, destacándose en el sector central del área de estudio el desarrollo de una zona de recarga (Figura 2), en coincidencia con el desarrollo de la RP7. Hacia el este de esta ruta, la dirección del flujo subterráneo a partir de la isopieza de 160 msnm, es divergente hacia el noreste y hacia el sureste, en coincidencia con la presencia de bajos inundables, los cuales actúan como áreas de descarga del flujo subterráneo. Así entre las isopiezas de 160 msnm y 142 msnm se observan los mayores gradientes hidráulicos y particularmente en la transecta A-A' se obtienen valores de 0,6 %. Hacia el oeste de la RP7 la componente dominante muestra un sentido de escurrimiento suroeste-noreste, excepto en el extremo sur donde el flujo subterráneo es hacia el sureste. Los gradientes hidráulicos son menores, con valores de 0,19 % (transecta B-B'). En base a estos gradientes hidráulicos y considerando una conductividad hidráulica de 0,64 m/d (García, 2017), la velocidad de Darcy es de 0,38 cm/d en el sector oriental y de 0,12 cm/d hacia el oeste del área de estudio.

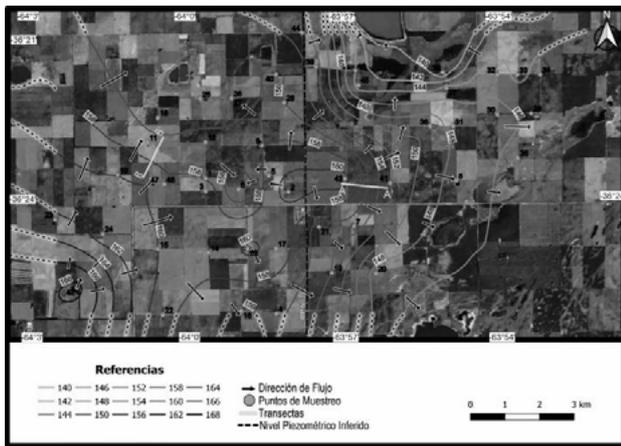


Figura 2.- Mapa de isopiezas. Datos de agosto y septiembre de 2020.

En la Tabla 1 se presenta el resumen estadístico de los parámetros físico-químicos analizados, a partir de los cuales se observa gran variación en la CE, indicador de la salinidad del agua, donde el máximo valor registrado supera en 8 veces el valor mínimo hallado. Se analizó también la variación de residuo seco, variable que registra un incremento en coincidencia con los sectores deprimidos del relieve (bajos inundables), particularmente hacia el sureste donde alcanza los 3400 mg/l. En cuanto a la concentración de Cl⁻ está comprendida entre 24 y 1520 mg/l, con una media de 248,42 ± 290,98, lo cual evidencia gran dispersión en este componente. El ion Na⁺ presenta un comportamiento similar al Cl⁻, fluctuando en un rango de 95 y 900 mg/l. Finalmente, el F⁻ presenta una media de 1,64 mg/l, con valores mínimo y máximo de 0,6 mg/l y 5,62 mg/l, respectivamente.

Tabla 1.- Resumen estadístico de las variables analizadas (valores en mg/l, excepto pH que es adimensional y C.E. en µS/cm).

Variables	Mínimo	Máximo	Media
Residuo Seco	514,00	3728,00	1223,25
C.E.	765,00	6180,00	1825,60
Dureza Total	120,00	1060,00	298,42
pH	7,31	8,51	7,85
HCO ₃ ⁻	248,00	680,00	360,92
SO ₄ ⁼	37,00	1050,00	216,34
Cl ⁻	24,00	1520,00	248,42
NO ₃ ⁻	3,90	155,10	55,79
Na ⁺	95,00	900,00	263,73
Ca ⁺⁺	27,20	176,00	67,80
Mg ⁺⁺	7,80	150,70	31,33
F ⁻	0,55	5,62	1,64
As Total	0,03	0,13	0,03

Finalmente, en la Figura 3 se observan los polígonos de Stiff obtenidos para el área de estudio, donde se visualiza que hacia el norte y hacia el sureste las muestras presentan mayor concentración salina, siendo en general del tipo clorurada sódica y sulfatada sódica. Esta tipificación hidroquímica es coherente con el comportamiento hidrodinámico de esta zona, dominada por flujos subterráneos de descarga. En la zona central, se encuentran muestras más diluidas con una tipificación hidroquímica que oscila entre aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas sódico cálcicas. Estas muestras se asocian a un ámbito de recarga del flujo subterráneo, que se desarrolla a ambos laterales de la RP7.

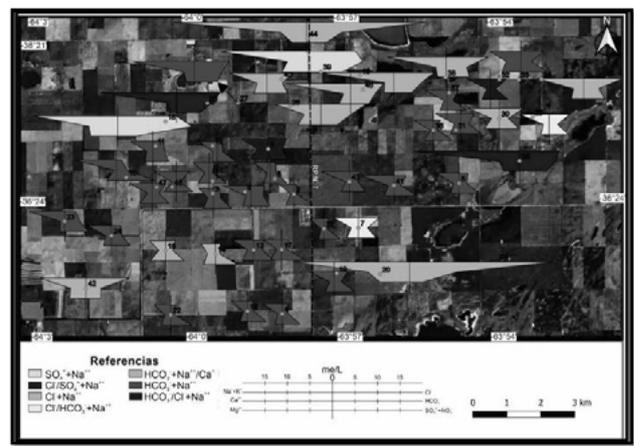


Figura 3.- Diagramas de Stiff. Datos de agosto y septiembre de 2020.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron profundizar el conocimiento del sistema hidrogeológico en un sector ubicado al noreste de la localidad de Anguil, provincia de La Pampa, específicamente al sur de la región hídrica de la Planicie Pampeana Central. Desde el punto de vista hidrogeológico resultan relevantes las formaciones superiores del perfil litológico (Formación Meauro y Formación Cerro Azul), por ser portadoras del espesor acuífero aprovechable, hasta aproximadamente 80 m de profundidad. La recopilación e interpretación de antecedentes y la actualización de la información hidrodinámica e hidroquímica realizada contribuyen en el conocimiento hidrogeológico de un sector donde el agua subterránea es utilizada para distintos usos en las localidades aledañas.

En el trabajo realizado se destaca el rol clave de las formaciones medanosas como reservorios de agua subterránea con bajos tenores salinos. Sobre esta base de conocimiento, es posible avanzar en futuras líneas de investigación asociadas a la evaluación de la aptitud del agua para consumo humano, dado que se advierten concentraciones de fluoruro y arsénico que limitan este uso en amplios sectores de la zona, particularmente en el extremo noroeste donde en la muestra 25 se registran los máximos valores de ambas variables (As= 0,13 mg/l, F= 5,62 mg/l).

Referencias

- Cano, E, Casagrande, G., Conti, H.A., Fernández, B., Hevia, R., Lea Plaza, J.C., Maldonado Pinedo, D., Martínez, H., Montes, M.A., Peña Zubiato, C. (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA - Gobierno de La Pampa - UNLPam, Santa Rosa, 493 pp.
- Cavalié, C. (1979). "Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuíferos Santa Rosa-Anguil y Santa Rosa-Toay." Recursos Hídricos. 41 pp. Santa Rosa (L.P.), Argentina.
- García, H. (2017). Actualización del modelo conceptual en una zona del acuífero Santa Rosa-Anguil, provincia de La Pampa, Argentina. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. 129 p
- Malán, J.; Mariño, E. y Casagrande, G. (1997). Estimación de la infiltración eficaz en dos sectores del acuífero Santa Rosa-Anguil, Provincia de la Pampa. Actas I Congreso Nacional de Hidrogeología. UNS. Bahía Blanca, Argentina. 153-163.
- Wisner L. (2012). Caracterización hidroquímica e isotópica del sistema acuífero libre Santa Rosa-Anguil-Uriburu, (La Pampa-Argentina). Maestría en Ciencias Hídricas, Universidad Nacional de La Pampa. 101 p.

AVANCE EN LA SISTEMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Cervio Marisa Magalí, Plencovich Gonzalo Eduardo y Suaya Cesar Darío

Administración Provincial de Recursos Hídricos, Argentina
maga_cervio@hotmail.com, gplencovich@hotmail.com, cesarsuaya@gmail.com

Introducción

La Dirección General de Irrigación (DGR), de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI), gestiona y fija políticas hídricas en los Sistemas de Riego de la Provincia de Córdoba. No se puede gestionar lo que no se conoce en detalle. Es necesario contar con registros sistematizados de los usuarios para poder administrar continuamente los caudales erogados y su distribución en los distintos sistemas de riego por gravedad con el fin de garantizar un uso sustentable y eficiente del recurso, manteniendo la productividad de los cultivos. Ante la necesidad de contar con información organizada y actualizada es necesario relevar con continuidad las bases de datos de los sistemas de riego.

En 2018, desde la Dirección General de Planificación y Gestión Estratégica de los Recursos Hídricos de la APRHI se comenzó a desarrollar el Portal de Información Hídrica (PIHC) utilizando la herramienta de ArcGIS de ESRI y en conjunto con la Dirección General de Irrigación se empezó a desarrollar una aplicación que respondiera a las necesidades del área. Se cuenta con un módulo que permite realizar un relevamiento en campo que luego es volcado en gabinete.

Actualmente se tiene una aplicación que cumple las necesidades de la Dirección permitiendo digitalizar los sistemas de riego, abarcando todos los datos necesarios acerca de canales, obras inherentes a los usos de agua, tipos de usos, titularidades de los permisos, límites de los sistemas y subsistemas, aforos, datos de las siembras realizadas, etc. Con estos datos se pueden realizar estadísticas y consultas que ayudan a la toma de decisiones en la gestión de obras y un mejor aprovechamiento del recurso.

Problemática:

No existía sistematización de la información, no se encontraba almacenada de misma forma (papel, digital), ni tampoco mismo formato. Existían antecedentes en Excel, Word, Google Earth, AutoCAD, fichas en papel, expedientes, etc.

Para realizar relevamientos a campo se llevaba una plantilla impresa en papel para completar con los datos, utilizando un gps de mano, más la captura de fotografías con el celular y una vez en gabinete esa información se debía digitalizar.

Esta situación dificultaba la toma de decisiones, ya que nunca se tenía toda la documentación integrada, ordenada y completa.

Aplicación:

Se desarrolló para utilizar una aplicación web, la cual permite tener un acceso online, simultaneo, actualizado con una base de datos integrada de consulta permanente.

Los primeros dos años se trabajó mucho en el desarrollo de la aplicación, se modificó múltiples veces hasta que la misma cubriera todos los aspectos y variables que pueden darse en los diferentes usos de del agua en los sistemas de riego.

Existe una versión de la aplicación para teléfono o tablet para poder trabajar en campo con mayor comodidad en el relevamiento. Una de sus ventajas permite la descarga de mapas

para trabajar en zonas donde no se tiene conexión a internet y luego al llegar a un lugar con datos o wifi se sincroniza lo recabado automáticamente, evitando así, la problemática de realizar inspecciones con la metodología anterior.

Además, se realizó el diseño de mapas con solo información indispensable, con el fin de trabajar en aquellas zonas donde la conexión de internet es menor, ya que de lo contrario tanto la descarga del mapa como la sincronización de los datos no se logra.

Los tipos de trámite que se trabajan son usos de agua para "riego", "doméstico" y "pecuario". Cada permiso tiene un número de cuenta que lo referencia y una cuantía asignada, los permisos de riego se aforan en hectáreas, los permisos domésticos en unidades de viviendas familiares y los usos pecuarios en metros cúbicos.

En la provincia de Córdoba se encuentran registrados un total de 703 cuentas de uso pecuario con cuantía de 2.600.635m³, 1238 cuentas de uso doméstico y 4934 cuentas de uso de riego con una cuantía de 51.850 ha.

Del total se tiene relevado en la aplicación hasta el momento un total de 302 cuentas de uso pecuario con cuantía de 983.302m³, casi un 40% del total, 201 cuentas de uso doméstico, un 16% y 4063 cuentas de uso de riego con una cuantía de 43.079ha, lo que implica un 83% de lo registrado.

Esto se debe a que desde el año 2015 se realizan actualizaciones de datos y relevamientos en los sistemas más relevantes de la provincia.

Tabla 1.- Ejemplo de Tablas

Cuenta [tipo de uso]	Riego [ha]	Pecuario [m ³]	Doméstico [viviendas]
Cuantía total	51.850	2.600.635	1238
Cuantía relevada	43.079	983.302	201
% Avance	83 %	38 %	16 %

La mayoría de los datos faltantes corresponden a pequeños sistemas de riego no explotados, o bien tomas individuales de los ríos. Se comenzó por los sistemas más grandes donde la necesidad y urgencia en regularizar era mayor como por ejemplo los ubicados en las zonas de Cruz del Eje, Villa Dolores y Pichanas.

La aplicación permite cargar de manera gráfica y con datos específicos los siguientes campos:

1) Canales 2) Tomas 3) Predios 4) Permisos de riego 5) Permisos de uso pecuario 6) Permisos de uso doméstico 7) Relevamientos fotográficos 8) Represas 9) Sistemas 10) Subsistemas 11) Observaciones en campo 12) Inspecciones.

Se cuenta con tres complementos, como muestra la Figura 1, en el primero se cargan todos los datos que se presentan dentro de la documentación de los usuarios y los relevamientos a campo. El segundo permite generar de manera automática Informes de Inspección y Autorizaciones de permisos de uso de agua, en formato pdf, para luego dejar constancia en el expediente ya sea

en formato papel o digital.



Figura 1.- Complementos Aplicación Dirección de Irrigación

El tercer complemento permite tener estadísticas de todos los datos cargados, es muy amplio así que permite aprovecharlo. Por ejemplo, a la hora de arreglar una compuerta o realizarla, así como una reparación o revestimiento de canal, comparar y evaluar la importancia conforme a la cantidad de usuarios afectados, la cantidad de hectáreas regadas e incluso el tipo de cultivo asociado para saber los intervalos de riego.

Esta visualización también ayuda y asiste a los consorcios de usuarios a poder mejorar la distribución de los caudales y planificación de turnados.

Cada año al finalizar podemos tener un resumen de las bajas que se han realizado, las altas de nuevos permisos, ampliaciones o reducciones.

Además, permite tener las cuantías actualizadas de manera permanente en cada canal o sistema y conocer si existe posibilidad de ampliación o nuevos usuarios conforme a los datos técnicos en cada compuerta o canal (Figura 2).

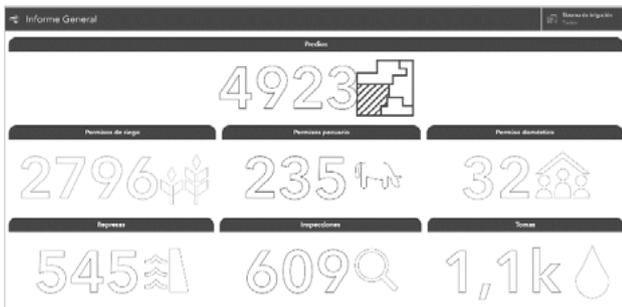


Figura 2.- Estadísticas generales

Dentro del complemento de estadísticas se tiene disponible tres pestañas, una pestaña de las estadísticas de los permisos, que se observa en la Figura 3. Se puede visualizar los distintos tipos de permisos, si los mismos son del año en curso, las cantidades y cuantías de cada uno. Y se tiene un filtro por sistema de riego y por canal (Figura 3).

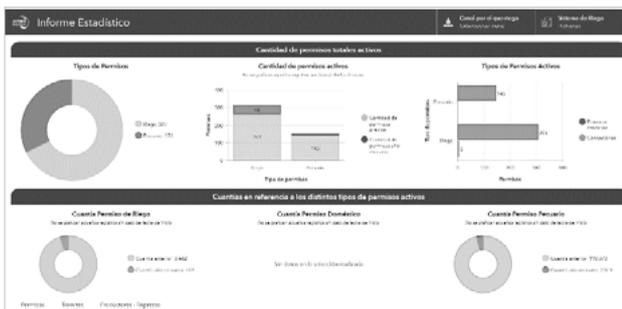


Figura 3.- Estadísticas de los permisos

Otra de las pestañas es de estadísticas de los trámites (Figura 4), tiene referente a los tipos de trámites, el estado de los trámites de cada permiso, cuantías autorizadas en función de las solicitudes, etc.

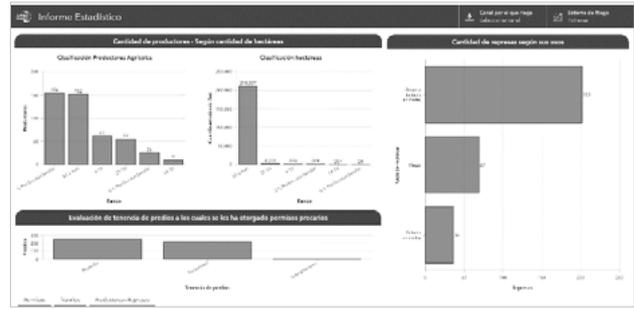


Figura 4.- Estadísticas de los trámites

Las estadísticas a nivel de los productores, contienen la cantidad de productores según las hectáreas, clasificación según cuantías, evaluación de tenencia de predios a los cuales se les ha otorgado permisos precarios, etc.

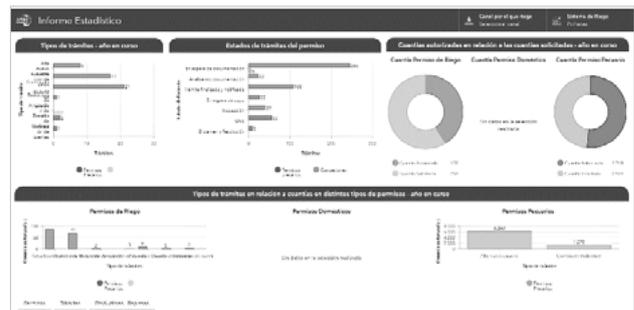


Figura 5.- Estadísticas de los productores

Comentario final

En resumen, la aplicación ha permitido mejorar la gestión y la toma de decisiones en la Dirección General de Irrigación, al proporcionar un acceso online a una base de datos integrada, una recopilación eficiente de datos en campo y la generación de informes y estadísticas útiles para la planificación y el uso sostenible del agua en los sistemas de riego de la Provincia de Córdoba.

Ha facilitado y agilizado en gran manera el trabajo cotidiano, ya que las actualizaciones de los usos del agua son continuas.

Se espera poder publicar y compartir la información pertinente, poner al alcance de los consorcios de usuarios y profesionales vinculados para un trabajo en conjunto.

Referencias

Ley N° 5589/1973. Código de Aguas de la Provincia de Córdoba. Publicada en Boletín Oficial el 28/05/1973. Provincia de Córdoba. Argentina.

Ley N° 6604/1981. CONSORCIOS DE USUARIOS DE RIEGO Y OTROS USOS DE AGUA. Publicada en Boletín Oficial el 04/09/1981. Provincia de Córdoba. Argentina.

USO DE SENSORES EN LA AGRICULTURA: UNA ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

María Emilia Cha, Daniel Boeno y Jorge Iván Zapata

Instituto Tecnológico Regional Centro Sur, Universidad Tecnológica del Uruguay, Francisco Antonio Maciel, s/n, CP 97000, Durazno, Uruguay.
maria.cha@estudiantes.utec.edu.uy, daniel.boeno@utec.edu.uy, jorge.zapata@utec.edu.uy

Introducción

La mandarina Afourer es una especie híbrida de mandarino de cosecha tardía. Comúnmente, la cosecha ocurre entre junio y julio y es un producto agrícola muy demandado en el mercado debido a su calidad y sabor. Sin embargo, su producción implica importantes desafíos en términos de uso eficiente del agua, ya que cada planta puede requerir entre 5 y 8 litros de agua por día durante la temporada de crecimiento y producción (de junio y julio) (Gravina G.A, et al., 2011).

La gestión del agua implica el uso de sistemas de riego eficientes. Para obtener un cálculo preciso de la cantidad de agua que se necesita, es necesario tener en cuenta tanto las variables climáticas (precipitación y la evapotranspiración); variables del suelo (humedad y la capacidad de agua disponible); y de la planta (profundidad efectiva de las raíces y el coeficiente del cultivo). Al considerar estas variables en conjunto, se puede realizar un cálculo más preciso de la cantidad de agua necesaria para el cultivo de mandarina Afourer (Gravina, A., et al., 2016)

Para ajustar el riego necesario para cada periodo de tiempo de acuerdo con la demanda, el monitoreo de las variables mencionadas en el párrafo anterior es esencial. Para ello, los sensores de monitoreo de alta calidad permiten recopilar datos sobre variables meteorológicas y del suelo y así poder determinar el momento adecuado para regar. (Aguilar Rodríguez, M., 2016) Esto garantiza que las plantas reciban la cantidad necesaria de agua en momentos críticos de su ciclo de crecimiento. Por lo tanto, mejorar la eficiencia en el riego puede optimizar la producción, reducir el consumo del agua y mejorar la rentabilidad del productor. Para este trabajo se plantea como objetivo evaluar la eficiencia en el uso del agua de diferentes turnos de riego basados en el cálculo del balance hídrico en un predio de mandarina Afourer en Paysandú, Uruguay.

Metodología

Área de Estudio

El estudio se realizó en Quebracho, Paysandú, en una zona reconocida por su producción de cítricos. Paysandú se encuentra al noroeste del país, en la frontera con Argentina. La ubicación del área está en las coordenadas -31.83, -57.44, en cuyo predio está cultivada la variedad de Afourer en un área de 3.29 has aproximadamente.

Obtención de Datos:

Se recopilaron los registros de la estación meteorológica ubicada en la plantación, precipitación (mm), temperatura (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), radiación solar (W/m²) y evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹) y los registros de humedad del suelo (cm³cm⁻³-3) de los sensores HOBO instalados a una profundidad de 0-40 cm en 20 estaciones de monitoreo en el área.

Procesamiento de datos:

Una vez recolectado los registros se verifica la calidad de los datos y se efectúa un proceso de depuración para eliminar

valores atípicos o registros incompletos. Para generar así un promedio para la humedad del suelo en los 20 puntos. Por medio, de las variables de precipitación (P[mm]), temperatura (T[°C]), velocidad del viento (V[m/s]), radiación solar (Rs[W/m²]) se obtiene el cálculo de la ETo evapotranspiración de referencia a partir de la estación según método de Penman-Monteith, y a partir de los parámetros de profundidad de raíces (Pr[cm]) y el coeficiente del cultivo (Kc[m]) determinado por bibliografía de cultivos de cítricos, podemos determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc). Además, con la humedad del suelo relacionamos la cantidad de agua presente en el suelo con su capacidad de retener en el cultivo. (Allen, R.G., et. al, 2006) La ETc se halla a partir de los datos de ETo con los datos de ETo y Kc mediante *ecuación 1*.

$$ETc = ETo \times Kc \quad [1]$$

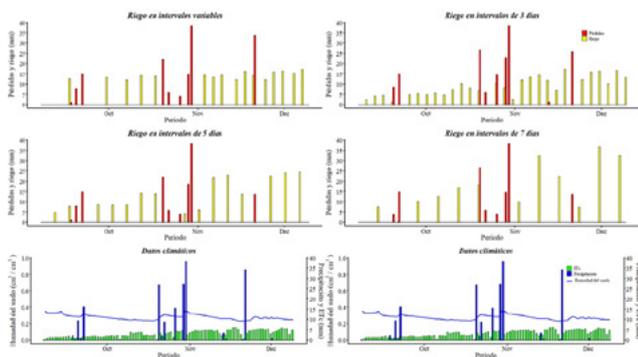
El manejo de los datos y el cálculo del balance hídrico (BH) fue realizado con el software R. Con el BH se permite monitorear las entradas y salidas de agua en el sistema, así como calcular la cantidad de agua que ingresa al cultivo (caudal de entrada) a través de la precipitación, el riego y otros aportes. A su vez, se compara con la cantidad de agua que sale del sistema (caudal de salida) mediante la evaporación, la transpiración de las plantas y el drenaje. De esta manera, se obtiene una evaluación completa (*ecuación 2*) del BH en el cultivo de mandarinas (Allen, R.G., et. al, 2006).

$$BH = \text{Caudal de entrada} - \text{caudal de salida} \quad [2]$$

Una vez determinado el BH se estandarizan las entradas (P) y salidas (ETc) como valores constantes en todos los turnos de riego (TR) que van desde variable (R1), a riegos de cada 3 días (R2), 5 días (R3), 7 días (R4) y 10 días (R5), siendo estos valores la suma acumulada de esas variables para el periodo de Octubre a Diciembre del 2022, dado que es el periodo de mayor demanda hídrica. Luego se determina el valor de Precipitación perdida (Pp), o sea, si la precipitación es mayor a la demanda, se observan pérdidas y por medio de este se halla la Precipitación efectiva (PEf) a través de la diferencia entre la P y Pp. A su vez el riego se determina mediante una función lógica que tiene en cuenta la AFD (agua fácilmente disponible) y DEPfin (deficiencia de agua al final del día) para luego generar la suma acumulada del periodo para cada turno de riego. Y así poder finalmente encontrar los valores en porcentaje de la P luego de la ETc y el R después de la ETc como también los Números de días de riego (N° R) que se realizan para cada Turno. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021)).

Resultados y Discusión

En la **Figura 1** se visualiza el cambio de la humedad del suelo, la precipitación y la ETc a lo largo del periodo evaluado (octubre a diciembre). Además, la misma muestra que las mayores pérdidas de agua ocurrieran al final del mes de octubre debido a la gran precipitación del periodo. Los datos serán mejor detallados a partir de la **Tabla 1**.



*Para facilitar el dimensionamiento del espacio de la figura, se ha suprimido la gráfica de R5 ya que su comportamiento es similar al de R3 y R4.

Figura 1 - Pérdidas de agua y cantidad de riego en diferentes turnos de riego y humedad del suelo, precipitación y Etc en el ambiente de cultivo.

En la **Tabla 1** se logra apreciar los diferentes turnos de riego (TR[días]) que van desde R1, R2, R3, R4 y R5. Estos resultados representan diversas variables relacionadas con la eficiencia en el riego.

Tabla 1.- Variables para evaluación de la eficiencia del riego.

TR	P	PEf	Pp	R	NºR	P Etc	Etc	R Etc
R1	187,2	44,7	142,5	227,4	16,0	15,9	279,6	81,3
R2	187,2	28,4	158,8	251,3	28,0	10,1	279,6	89,8
R3	187,2	60,7	126,5	205,6	15,0	21,7	279,6	73,5
R4	187,2	65,2	121,9	206,8	12,0	23,3	279,6	73,9
R5	187,2	60,7	126,5	205,6	9,0	21,7	279,6	73,5

En donde: P [mm]: Precipitación (mm), PEf [mm]: Precipitación efectiva, Pp[mm]: Precipitación perdida, R [mm]: Riego, P Etc [mm]: participación de la P en la ETC, Etc [mm]: Evapotranspiración, R Etc [mm]: participación del R en la ETC.

Se logra observar que para cada TR las variables P y ETC fueron constantes con un valor de 187,2 mm y 279,6 mm, respectivamente. Además, PEf oscila entre 28,4 mm (R2) y 65,2 mm (R4) y que Pp muestra una diferencia en los distintos turnos que van desde 121,9 mm (R4) hasta 158,8 mm (R2), también el riego para cada turno va desde 205,6 mm (R3) hasta 251,3 mm (R2), esto sin considerar las pérdidas, y la cantidad de números de días por turno varió desde un 9 (R5) a 28 (R2). Por medio de estos valores se determinó la participación de la P en la ETC donde el mayor valor es 23,3 mm (R4) y el menor 10,1 mm (R2) luego de la ETC donde se observa que el menor valor es 73,5 (R3 y R5) y el mayor es 89,8 (R2). Entonces, esto permite analizar que para los turnos de riego más frecuentes (R2) presenta una mayor pérdida de agua. Estas pérdidas pueden estar relacionadas con pérdidas por drenaje, debido a que el suelo retiene toda el agua para las plantas y esto resulta en mayores pérdidas de agua en los turnos de riego más frecuentes (Angella G., et al, 2017).

Estas pérdidas pueden ser causadas por la saturación del suelo, lo que provoca un mayor escurrimiento superficial como también un drenaje rápido. Estas pérdidas afectan la disponibilidad de agua para las plantas y reducen la eficiencia en el uso del agua (Pacheco Moya, R. M., et al, 2021).

Por otro lado, las variables P Etc y R ETC variaron en función de la frecuencia de riego, es decir, el intervalo de tiempo entre cada riego. Sugiriendo así, que la variación en la frecuencia de riego puede influir en la eficiencia del riego. En consecuencia, los turnos de riego más frecuentes (R1 y R2) requieren más riego, lo que implica un mayor consumo de recursos como tiempo, energía y agua, para mantener la misma cantidad de agua disponible para las plantas. Por otro lado, los valores de P ETC y R ETC varían según el turno de riego, lo que refleja la cantidad de agua disponible después de tener en cuenta la

evapotranspiración del cultivo, así como la aplicación de riego. Los turnos de riego menos frecuentes muestran un mayor aporte de agua disponible para las plantas, lo que puede ser beneficioso para su crecimiento y desarrollo.

Conclusión

El uso de turnos de riego menos frecuentes durante el período octubre a diciembre de 2022 resultó en una mayor eficiencia en el cultivo de mandarina. Además, al optimizar el uso del agua, se mejora la eficiencia general del sistema de riego, lo que puede tener un impacto positivo en la productividad y sostenibilidad de la producción de mandarinas. Es necesario ampliar el periodo de estudio para obtener mejores resultados con el cultivo de mandarinas Afourer. Esta información es importante para la sensibilización de los agricultores como necesidad de controlar las variables medioambientales y del suelo para hacer un uso más eficiente del agua.

Referencias Bibliográficas

Aguilar Rodríguez, M. (2016). Diseño y optimización de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un sistema de riego agrícola (Bachelor 's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).

Angella, G., Prieto, D., & Salgado, R. (2017). Riego, eficiencias, pérdidas y reales posibilidades de mejorar el uso agrícola del agua. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Gravina, G.A., C. Borges, M. Sánchez y S. Albina. 2011. Guía de producción de mandarina Afourer para el litoral norte de Uruguay. Dirección General de Desarrollo Rural, MGAP, Montevideo, Uruguay. 20p.

Gravina, A., Gambetta, G., Rey, F., & Guimaraes, N. (2016). Improvement of Afourer Mandarin Productivity in Isolation of Cross-Pollination. Agrocienca (Uruguay), 20(2), 22-28.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021). Gestión sostenible de regadíos. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/apartado4-9_tcm30-150011.pdf

Pacheco Moya, R. M., Vargas Rodríguez, P., Roper Árias, O., & Torres Céspedes, P. E. (2021). Indicadores para mejorar la gestión del riego en la empresa agroindustrial Ceballos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 42, 96-108.

MODELACIÓN DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS EN LA REGIÓN TACNA – PERÚ, DURANTE FEBRERO 2020 Y PREDICCIONES FUTURAS

1^{er}. Eduardo Chávarri-Velarde, 2^{do}. Edwin Pino-Vargas y 3^{er}. Eusebio Ingol Blanco

(1) Programas de Doctorado y Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima 15024, Perú
echavarri@lamolina.edu.pe

(2) Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna 23000, Perú
epinov@unjbg.edu.pe

(3) Programas de Doctorado y Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima 15024, Perú
ingol@lamolina.edu.pe

Resumen

La región Tacna, se encuentra localizada en el extremo norte de la región Atacama (extremo sur del Perú) y es una de las áreas más áridas de la tierra. Diversas quebradas que durante muchos años no presentaron escurrimiento, en los últimos años han causado inundaciones como en los años 2015, 2017, 2019 y 2020. El 21 de febrero del 2020, una inusual precipitación causó un gran aluvión en la quebrada del Diablo. Varios barrios, caminos, edificios públicos y negocios de la ciudad de Tacna, fueron afectados, incluyendo tres personas fallecidas y 1945 familias con casas inundadas. Debido a la expansión urbana de la ciudad de Tacna, la desembocadura de la quebrada del Diablo confluye directamente a la ciudad.

Los trabajos de campo en la zona de interés, mostraron que las inusuales precipitaciones por sí mismas, no produjeron el alto nivel de crecida observada. Es así que se identificó restos de un dique informal utilizado para cruzar la quebrada, construido por contrabandistas para evitar la inspección del control aduanero, cerca de la frontera entre Perú y Chile. Las escorrentías causadas por las precipitaciones se almacenaron en dicho dique, hasta que éste se desplomó, causando un brusco desembalse y generando el extenso daño aguas abajo.

El evento del 21 de febrero del 2020, fue recreado utilizando el software RS MINERVE. La calibración del modelo hidrológico fue realizada en base a la modelación del flujo máximo producido en la quebrada del Diablo, como resultado del evento máximo de lluvia y ruptura del dique informal.

Asimismo, la investigación considera el potencial efecto del cambio climático en las precipitaciones máximas, temperatura y régimen hidrológico de la quebrada del Diablo. Los resultados de precipitación y temperatura diaria de quince modelos climáticos regionales fueron utilizados para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

Palabras clave: precipitación máxima, modelación hidrológica, cambio climático.

Quebrada del Diablo

La quebrada del Diablo, tiene una extensión de 52.84 km². Una longitud de cauce de 24.3 km, con dirección SO y con una pendiente media de 5.1 %. Debido a la expansión urbana de la ciudad de Tacna, la desembocadura de la quebrada confluye directamente a la ciudad (Figura 1).

Antes del evento hidrológico analizado, la quebrada del Diablo, se encontraba interrumpida por un dique informal utilizado como trocha para evitar la inspección del control aduanero, cerca de la frontera entre Perú y Chile. El colapso de dicho dique, ubicado a 2.0 km del centro poblado La Florida (Ciudad de Tacna), provocó el flujo de escombros producido el 21/febrero/2020. La Figura 2, muestra el lugar antes y después del colapso del mencionado dique.

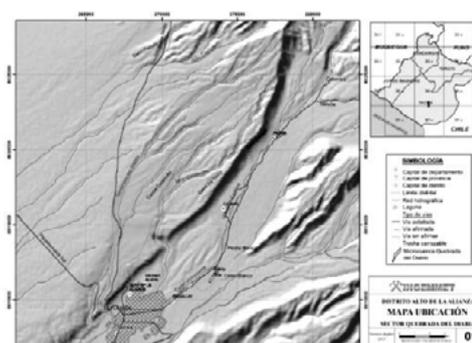


Figura 1.- Mapa de ubicación de la quebrada del Diablo

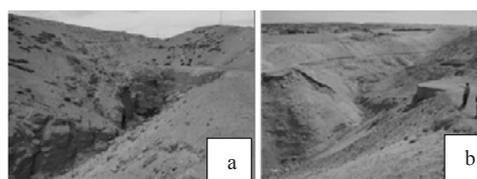


Figura 2.- (a) Cauce de la quebrada del Diablo obstruido por dique como trocha para evitar el control aduanero; (b) Cauce de la quebrada del Diablo con dique colapsado por la crecida del 21/febrero/2020 y que provocó el aluvión hacia la ciudad de Tacna.

Evento del 21 de febrero del 2020

El análisis de la frecuencia de la precipitación total diaria, de la zona norte de la ciudad de Tacna, se realizó en base a los registros de la estación meteorológica principal Jorge Basadre. La figura 3, muestra que el periodo de retorno de la precipitación total diaria del día 21 de febrero del 2020, equivalente a 16.5 mm/día, fue de 255.8 años. La frecuencia fue ajustada a la distribución probabilística Gumbel o también llamada distribución de valores extremos generalizada tipo 1, para los 28 años de registro continuo de 1993 al 2020.

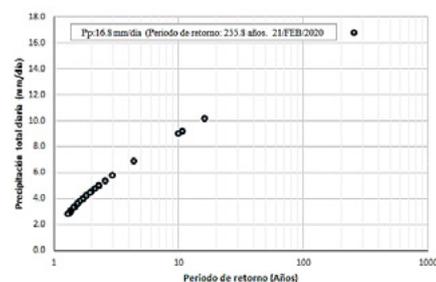


Figura 3.- Análisis de frecuencia de la precipitación total diaria en la estación Jorge Basadre (Período 1993-2020).

Simulación del evento del 21 de febrero del 2020

La calibración del modelo hidrológico se realizó mediante la modelación del caudal máximo producido en la quebrada del Diablo, con fecha 21/febrero/2020, producto del evento de lluvia máxima y ruptura del dique informal. La Figura 4, muestra la topología de la quebrada del Diablo, generada en el modelo RS Minerve.



Figura 4.- Topología de la quebrada del diablo en el modelo RS Minerve

El hidrograma de ingreso al dique informal, se muestra en la Figura 5. Se calculó un caudal máximo de ingreso de $10.7 \text{ m}^3/\text{s}$ producido a las 22:00 h.

En vista que la Quebrada del Diablo no cuenta con registro hidrométrico, la calibración del resultado anterior se realizó a partir de la observación de la huella de agua determinada en la parte media de dicha quebrada y utilizando el método ‘Relación Sección-Pendiente’, el cual permite estimar el caudal a través de medidas realizadas en el cauce de estudio. Considerando una velocidad promedio de 1.8 m/s , se determinó un caudal máximo generado entre 10 a $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

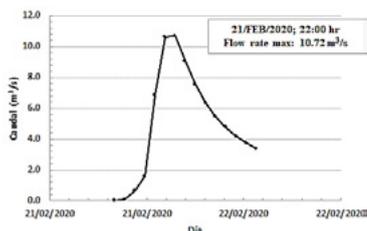


Figura 5.- Hidrograma de ingreso simulado hacia el dique informal.

La Figura 6, muestra los hidrogramas de altura y caudal en el dique informal. Los resultados de la simulación muestran que a partir de las 16:00 horas del día 21 de febrero del 2020, se inicia el llenado del dique informal, rompiéndose a una máxima altura de agua de 15.7 m. y descargando un caudal máximo de $2550.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

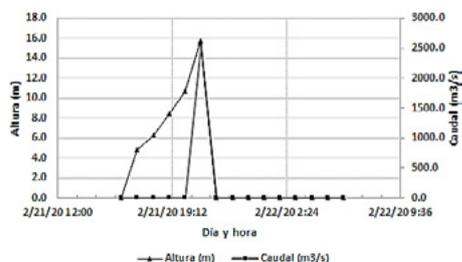


Figura 6.- Hidrogramas de altura y caudal simulado del dique informal, desde el inicio del llenado y rompimiento del dique.

Simulación de eventos relacionados con escenarios de cambio climático

Para realizar la modelación hidrológica del caudal máximo en la

quebrada del Diablo, producida por eventos de lluvia máxima generadas por modelos de cambio climático, se utilizó una topología sin considerar el dique informal. Asimismo, se mantuvo los parámetros y las condiciones iniciales para cada una de las subcuencas.

La modelación de los caudales máximos producto de intensidades de precipitación sobre cada subcuenca (mm/h) para escenarios RCP 4.5 y 8.5 y para periodos 2021 – 2050 y 2051 – 2080, se muestran en la Figura 7.

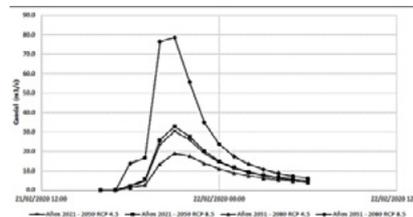


Figura 7.- Hidrogramas de avenidas considerando escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los periodos 2021-2050 y 2051-2080.

Conclusiones

El evento de lluvia del 21/febrero/2020 sobre la Quebrada del Diablo, es atribuible a la anomalía positiva de la temperatura superficial del mar entre $+1$ a $+2 \text{ }^\circ\text{C}$, producida frente a la costa de Tacna entre el 26/enero/2020 y el 22/febrero/2020.

El flujo de escombros producido a raíz del evento de lluvia del 21/febrero/2020, fue consecuencia del colapso de un dique informal construido como trocha, ubicado a 2.0 km aguas arriba del centro poblado La Florida (Ciudad de Tacna).

La modelación hidrológica histórica mediante el modelo RS Minerve, fue calibrada mediante la estimación de las huellas de caudales máximos producidos en la parte media de la quebrada del Diablo y de las evidencias y testimonios registrados en videos de la magnitud del desastre producto del flujo de escombros del 21/febrero/2020.

El volumen de máximas avenidas en la quebrada del Diablo, se incrementarían en 220% y 154% para el escenario RCP 4.5 y para los periodos 2021 al 2050 y 2051 al 2080, respectivamente.

El volumen de máximas avenidas en la Quebrada del Diablo, se incrementarían en 234% y 484% para el escenario RCP 8.5 y para los periodos 2021 al 2050 y 2051 al 2080, respectivamente.

Referencias

- Changnon, Stanley A. (2000). *El Niño 1997-1998: The Climate Event of the Century*. Oxford University Press. p. 36. ISBN 978-0-19-803096-6.
- García, J. et al. (2020). *RS Minerve-Technical Manual*. Centre de recherche sur l’environnement alpin.
- Geusep Ortega, P.A. et al. (2021). “Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/CMIP6 models”. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.7221>.
- Hidalgo, I. G. et al. (2020). “Hydropower generation in future climate scenarios”. *Energy for Sustainable Development*, 59, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.10.007>
- Muñoz, R. et al. (2021). “Comparing model complexity for glacio-hydrological simulation in the data-scarce Peruvian Andes”. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37(September), 100932. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100932>
- Pino, E. and Chávarri, E. (2022). “Evidence of climate change in the hyper-arid region of the southern coast of Peru, head of the Atacama Desert”. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. doi: 10.24850/J-TYCA-2022-01-08
- Tong, Y. et al. (2021). “Bias correction of temperature and precipitation over China for RCM simulations using the QM and QDM methods”. *Climate Dynamic*. 57, 1425-1443. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05447-4>

AJUSTE DE CURVAS H-Q EN ESTACIONES DE LA PATAGONIA ARGENTINA

D. I. Chavasse¹², N. M. Ochoa Huamani², D. H. Calvo¹², Á. F. Queizán³, O. G. Mena¹³

¹ Instituto Nacional del Agua, Argentina, dchavasse@ina.gov.ar/dcalvo@ina.gov.ar/omena@ina.gov.ar;

² UTN Facultad Regional Buenos Aires, Argentina, dchavasse@frba.utn.edu.ar/ochoa@frba.utn.edu.ar

³ UTN Facultad Regional La Plata, Argentina, dalqueisa@gmail.com/ghidraulica@gmail.com

Introducción

En este trabajo se ajustaron curvas H-Q en estaciones hidrométricas de la Patagonia Argentina y se presenta la metodología aplicada. Se trabajó con información del Banco de datos de la Red Hidrológica Nacional (Sistema Nacional de Información Hídrica) de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica del Ministerio de Obras Públicas de la Nación. Se utilizaron expresiones matemáticas disponibles en planillas de cálculo libres y se estimaron los intervalos de confianza mediante software libre R. En cada estación se analizó el comportamiento del Factor Hidráulico y los niveles de ajuste de las funciones mediante distintos estimadores. Se analizaron posibles límites de extrapolación. Por último, este trabajo podría contribuir a la elaboración de una guía de procedimiento.

Metodología

Para el ajuste de las curvas HQ en una primera etapa se estudiaron las series de aforos para de identificar incoherencias en la información y trabajar con datos consistidos.

Sobre las series depuradas:

- Se estudió el comportamiento del Factor Hidráulico para los aforos realizados en distintos periodos de tiempo.
- Se ajustaron funciones exponenciales, potenciales y polinómicas de segundo y tercer grado.
- Se determinaron los niveles de ajuste mediante distintos indicadores (Moriassi et al., 2007), como r^2 , r^2 ajustado, coeficiente de correlación, Nash Sutcliffe y raíz del error cuadrático medio.
- Se definió la longitud de las series de aforo sobre las cuales se ajustarian las curvas HQ teniendo en cuenta el comportamiento del Factor Hidráulico y los hitos hidrológicos e hidráulicos tanto naturales como antrópicos.
- Se analizaron sus singularidades de las funciones de ajuste seleccionadas dentro del rango teórico de aplicación.

A partir del ajuste matemático y considerando criterios físicos se seleccionaron las curvas HQ.

Ubicación y caracterización de las estaciones

Se analizaron en total 11 estaciones de aforo ubicadas en las cuencas de los ríos Colorado, Neuquén, Negro, Chubut, Senguerr y Gallegos. En la Tabla 1 se indica el período de ajuste y en el Mapa 1 se ubican las estaciones.

Análisis del Factor Hidráulico

A partir de la ecuación de Strickler Manning [1], con la información brindada por los aforos, resulta posible estimar el Factor Hidráulico $F=(I^{1/2})/n$. Para crecientes con tirantes considerables F tiende a un valor aproximadamente constante debido a que las irregularidades del lecho pierden influencia sobre la superficie del pelo del agua. Esta característica del comportamiento del Factor Hidráulico permite considerarlo un indicador de la estabilidad de la sección.

Tabla 1.- Estaciones hidrométricas

Ref	Estación	Código	Río	Período de Ajuste
1	La Gotera	1427	Grande	1991/2022
2	Barrancas	2001	Barrancas	2009/2022
3	Buta Ranquil	2002	Colorado	1991/2022
4	Pichi Mahuida	1801	Colorado	1963/2022
5	Paso de los Indios	2004	Neuquén	2010/2022
6	Paso Córdoba	1808	Negro	1993/2022
7	Primera Angostura	1809	Negro	1991/2022
8	Los Altares	2207	Chubut	2005/2022
9	Nacimiento	2215	Senguerr	1991/2022
10	Los Molinos	2297	Senguerr	1985/2022
11	Puente Blanco	2818	Gallegos	1993/2022



Mapa 1.- Estaciones Patagonia.

$$Q = \frac{AR_h^{2/3} I^{1/2}}{n} \quad [1]$$

A= área sección transversal.

Rh= radio hidráulico.

I= pendiente de energía

n= coeficiente rugosidad Manning

Por este motivo se analizó el Factor Hidráulico en todas las estaciones de aforo y pudo observarse que tendía a tomar un valor constante en las estaciones La Gotera, Buta Ranquil, Pichi Mahuida, Paso Córdoba, Primera Angostura, Los Molinos y Puente Blanco. En las estaciones Barrancas, Los Altares y Nacimiento no pudo observarse tan claramente esta característica mientras que en Paso de Los Indios no llega a estabilizarse (Figura 1).

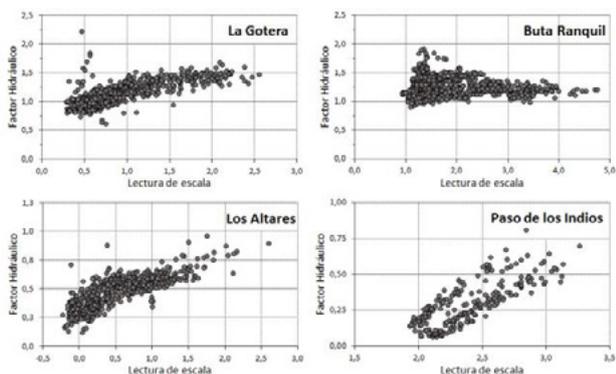


Figura 1.-Factores Hidráulicos. Estaciones seleccionadas.

Curvas HQ, indicadores e intervalos de predicción y de confianza

En la Tabla 2 se presentan las funciones h ajustadas, sus rangos de validez e indicadores de ajuste. Debe aclararse que los rangos de validez son teóricos, establecidos formalmente y aceptados en la práctica pero debería contarse con mayor información sobre la geometría de la sección transversal para poder confirmarlos especialmente en el extremo superior.

Tabla 2.- Curvas HQ ajustadas y rangos de validez teóricos.

Cód.Est.	Rango / R ² / Ecuación
1427	$-0,29 \leq h \leq 3,12$ m $R^2=0,9842$ $Q = 64,323 h^2 + 32,208 h + 8,4077$
1801	$0,5 \leq h \leq 1,2$ m $R^2=0,9132$ $Q = 211,19 h^3 - 491,29 h^2 + 409,35 h - 107,79$
	$1,2 < h \leq 4,84$ m $R^2=0,9825$ $Q = -14,113 h^3 + 161,65 h^2 - 272,12 h + 161,57$
1808	$-0,03 < h \leq 3,80$ m $R^2=0,9233$ $Q = 166,86 h^2 + 8,8074 h + 288,48$
1809	$0,32 < h \leq 5,87$ m $R^2=0,9844$ $Q = 23,235 h^3 - 27,682 h^2 + 420,84 h + 130,12$
2001	$0,95 \leq h \leq 1,6$ m $R^2=0,7739$ $Q = 244,65 h^3 - 924,16 h^2 + 1172,4 h - 488,64$
	$1,6 < h \leq 2,63$ m $R^2=0,9528$ $Q = 0,4431 e^{2,4873 h}$ R^2 linealizado=0,9389
2002	$0,12 < h < 5,71$ m $R^2=0,9846$ $Q = 47,111 h^2 - 11,114 h + 4,298$
2004	$1,7 < h < 3,6$ m $R^2=0,7968$ $Q = 144,89 h^2 - 348,49 h + 174,55$
2207	$-0,46 \leq h \leq 0,5$ m $R^2=0,9032$ $Q = 37,707 h^2 + 34,734 h + 8,245$
	$0,52 < h \leq 3,31$ m $R^2=0,9424$ $Q = -12,353 h^3 + 107,51 h^2 - 61,068 h + 44,097$
2215	$0,35 < h < 2,78$ m $R^2=0,9775$ $Q = 43,619 h^2 - 30,232 h + 10,265$
2297	$0,3 \leq h \leq 0,75$ m $R^2=0,7687$ $Q = 51,302 h^{3,7401}$ R^2 linealizado=0,9766
	$0,75 < h \leq 2,55$ m $R^2=0,7739$ $Q = -49,637 h^3 + 261,03 h^2 - 257,51 h + 84,426$
2818	$0,65 < h < 2,95$ m $R^2=0,9748$ $Q = 61,994 h^2 - 70,911 h + 22,406$

En la Figura 2 se muestra para las estaciones La Gotera, Buta Ranquil, Los Altares y Paso de los Indios las nubes de aforos, las curvas HQ ajustadas y los límites de los intervalos de confianza y de predicción para una probabilidad de 0,95. El intervalo de predicción IP determina, para una dada lectura de escala y una probabilidad asociada, el rango dentro del cual estaría el caudal real observado. El intervalo de confianza IC determina, para una dada lectura de escala y una probabilidad

asociada, el rango dentro del cual se ubicaría la media de los caudales observados para esa altura.

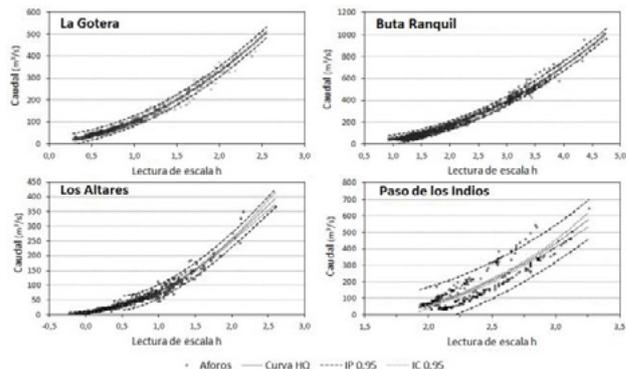


Figura 2.-Nubes de aforos, Curvas HQ ajustadas e intervalos de confianza 0,95 y de predicción 0,95.

Puede observarse que en la estación Paso de los Indios estos intervalos resultan marcadamente más amplios debido que los datos disponibles están fuertemente afectados por perturbaciones tanto aleatorias como estructurales que dificultan sustancialmente el ajuste.

Conclusiones y recomendaciones

Para mejorar las estimaciones de las curvas HQ se recomienda:

- relevar las secciones transversales hasta una lectura de escala por lo menos igual a la altura de aforo máxima del registro más el 25% de la diferencia entre las lecturas de escala máxima y mínima históricas. De este modo se podrá contar con mejores herramientas para la verificación de los caudales estimados a partir de la curva HQ.
- registrar cuidadosamente las condiciones ambientales del momento en que se afora con velocidad y dirección del viento, estado del río (creciente o bajante), estado de las márgenes (vegetación natural o alteraciones como desechos).
- registrar en las monografía de las estaciones incluyendo las fechas, las modificaciones que se observen en la sección del río, cambios de escalas, cambios en el instrumental.

Referencias Bibliográficas

- Azidawati Haron, N. et al** (2019). "Assessing River Stability and Hydraulic Geometry of Fluvial River in Malaysia". *The International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 11#6. 214–223 ISSN: 2229-838X e-ISSN : 2600-7916, Malasia. doi: <https://doi.org/10.30880/ijie.00.00.0000.00.0000>
- Juston, J. et al** (2013). "Rating curve uncertainty and change detection in discharge time series: case study with 44-year historic data from the Nyangores River, Kenya" *Hydrological Processes*, 28, 2509–2523 (2014), Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hyp.9786.
- Le Coz, J.** (2008). "Challenges in Hydrometry: Some Examples from France". *Experiences and Advancements in Hydrometry*, Seoul, South Korea. 8 p. hal-00509246.
- Moriasi, D. et al.** (2007). "Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations". *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 0001–2351 885 Vol. 50(3): 885–900 2007, USA.
- Walker, S.** (2000). "The Value of Hydrometric Information in Water Resources Management and Flood Control". *Meteorological applications journal*, 7, pp 387–397, UK. doi/10.1017/S1350482700001626.

DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE URBANO DE UN PREDIO DE LA LOCALIDAD DE RINCÓN, PROVINCIA DE SANTA FE

Chicherit Yamila

Instituto Nacional del Agua, Argentina
yamichicherit@hotmail.com

Introducción

Cuando la expansión urbana y la planificación del uso del suelo no se realizan en forma conjunta, se produce el crecimiento anárquico de la urbe, normalmente acompañado por una falta de infraestructura que multiplica las dificultades para lograr un drenaje eficiente. Como resultado de ello, la “urbanización” genera no sólo un incremento significativo en el volumen de agua de lluvia sino también, un marcado incremento en los picos de los hidrogramas de crecida lo cual incide en el costo de la infraestructura de drenaje.

En el presente trabajo se aborda el diseño del sistema de drenaje pluvial de un lote de 6.8 [ha] en la ciudad de San José del Rincón, ubicada entre la RP1 y el terraplén de defensa Villa California, y sus excedentes pluviales son transportados por un canal existente a cielo abierto, hacia la estación de bombeo Villa California.

Se tiene como base el marco legal para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la provincia de Santa fe, que queda conformado la Ley provincial N°11.730 de Bienes en Zonas Inundables-Inundaciones del año 2000 y la Resolución N°736 del Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat del año 2016 que regula los loteos realizados en la Provincia de Santa Fe con fines de urbanización simple, los conjuntos inmobiliarios, y los emprendimientos que impliquen un cambio en el uso del suelo.

La localidad de estudio se encuentra en la provincia de Santa Fe, al límite norte de la capital de la misma. La ciudad está emplazada sobre la planicie aluvial del río Paraná, siendo la mayor parte de sus límites fluviales. A pesar de la vulnerabilidad hídrica consecuente, el desarrollo urbanístico de la ciudad no se ha realizado siguiendo una planificación de ordenamiento integral. Este hecho en conjunto con el crecimiento poblacional resulta en mayor consumo de tierra para el relleno y mayor porcentaje de suelo impermeabilizado. Debido a la fragilidad de la red de desagües pluviales existentes en Rincón como así también la de los reservorios y estaciones de bombeo, en épocas de emergencia hídrica, estos sistemas funcionan con mucha dificultad y precariedad.



Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Metodología

En primera instancia se realizó una recopilación de información antecedente relacionada a los objetivos del proyecto, a saber: curvas de nivel, expresión de la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia. En el lote propiamente dicho, se cuenta con la delimitación de uso del terreno y zona de reservorios, con los

movimientos de suelos necesarios a realizar para ello, como así también con un relevamiento del tramo existente del canal de aportes a la estación de bombeo Villa California.

En segunda instancia se realizó el análisis de la dinámica hídrica y la subdivisión de cuencas dentro del lote. Luego se determinaron las tormentas de diseño.

Posteriormente se llevó a cabo el prediseño hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje interno del lote mediante la aplicación respectiva del Método Racional [1] y la Fórmula de Manning [2] buscando siempre que el caudal aportado por una subcuenca de área A_s para una intensidad máxima de lluvia i sea menor o igual al caudal admisible por la cuneta colectora de área hidráulica A_h , perímetro mojado P y pendiente S . C y n son parámetros de ajuste que representan la resistencia al flujo ejercida por la superficie de contacto.

$$Q_{aporte} = \frac{C \cdot i \cdot A_s}{360} \quad [1]$$

$$Q_{admisible} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{A_h^5}{P^2} \right)^{1/3} \cdot S^{1/2} \quad [2]$$

En tercera instancia se procedió a realizar el diseño hidráulico del sistema. Este consistió en la verificación de las dimensiones de las cunetas, alcantarillas y tramos de canal propuestos para 10 años de recurrencia como así también del diseño de las dimensiones del reservorio a través del software hidrodinámico EPA-SWMM®.

Resultados

La dinámica hídrica dentro del lote se presenta en la Figura 2. En la Figura 3 se expone el esquema topológico en EPA SWMM® gracias al cual se obtuvieron los caudales de diseño. Se destaca que como el lote se ubica en el sector más bajo de la cuenca de aportes al canal perimetral que transporta los excesos pluviales a la estación de bombeo, dicha superficie se tuvo en cuenta en la modelación.

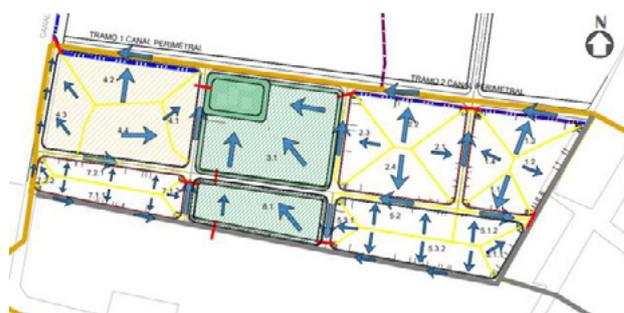


Figura 2.- Dinámica hídrica



Figura 3.- Esquema topológico

Como se observa en la Figura 2, en el centro del lote se ubica un espacio verde, área con cota más baja, destinada a almacenamiento de aguas en épocas de lluvias intensas, con el fin de disminuir el impacto, en términos de caudal máximo, de la urbanización a la salida del sistema. Esto se realiza mediante la construcción de un dispositivo de evacuación hacia el canal perimetral constituido por un vertedero con un orificio de fondo, diseñados para 10 años de recurrencia.

Los caudales a la salida del sistema se presentan en la Figura 4. Aquí se comparan los resultados en tres situaciones:

- (1) Situación actual. Sin proyecto.
- (2) Situación proyectada.
- (3) Situación con la implantación del proyecto sin almacenamiento de caudales en la zona destinada a reservorio, es decir, sin considerar el potencial impacto de la obra generado por la impermeabilización de suelos.

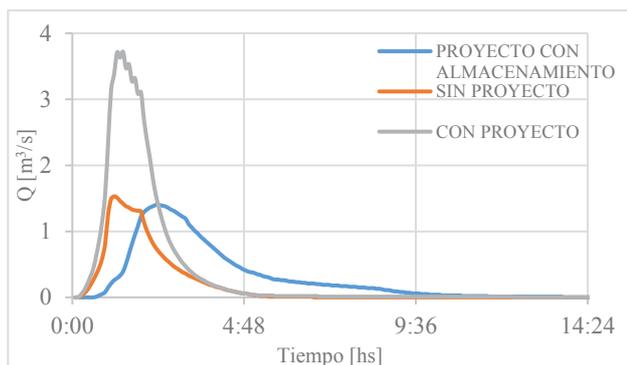


Figura 4.- Caudales a la salida del sistema

El sistema queda determinado por un conjunto diez de alcantarillas de hormigón armado cuyas características se detallan en la Tabla 1.

El vertedero, de mampostería, tiene 300 cm de ancho, paredes de 15 cm de ancho y 30 de alto y un espesor de 30 cm. El orificio de fondo, de hormigón estructural, posee 50 cm de diámetro. Aguas arriba de los dispositivos de evacuación se prevé una platea de hormigón pobre para disminuir efectos de erosión en las estructuras y aguas abajo se propone una zona de convergencia del flujo delimitada por un muro de cabezal y protegida en el fondo con una plancha. El flujo es evacuado a través una conducción circular de 1 m de diámetro, construida en los primeros 4 metros por hormigonado in situ y posteriormente compuesta por un módulo prefabricado, que desagota en el canal perimetral reacondicionado.

El reservorio posee talud de 1:4 correspondiente al material predominante en el suelo: arenas. En las zonas de descarga alcantarilla – reservorio se prevé un muro de contención de taludes del reservorio y una platea, construidas de hormigón estructural y pobre, respectivamente. El objetivo de esta estructura es evitar la erosión del fondo generada por la descarga de flujo y disminuir la longitud de las conducciones.

Las características hidráulicas del sistema se exponen en la Figura 5 y un perfil tipo de calle en la Figura 6.

Tabla 1.- Dimensiones alcantarillas

ID	Long [m]	Cota ent [m]	Cota sal [m]	S [%]	Dimensiones [m]
A1	7	14.36	14.34	0.1	H=0.8, L=0.5
A2	7	14.06	14.02	0.6	H=0.8, L=0.8
A3	9	13.83	13.79	0.5	H=0.8, L=1

A4	9	14.07	14.05	0.1	2φ0.6
A5	9	14.02	14.00	0.1	H=1, L=2
A6	9	14.10	14.08	0.1	1 φ 0.6
A7	9	14.09	14.08	0.1	1 φ 0.6
A8	10	14.00	13.98	0.1	H=1, L=2
A9	8	13.49	13.47	0.1	H=1, L=2

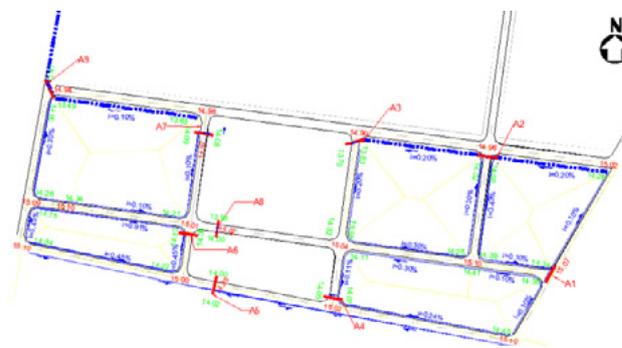


Figura 5.- Características sistema de drenaje

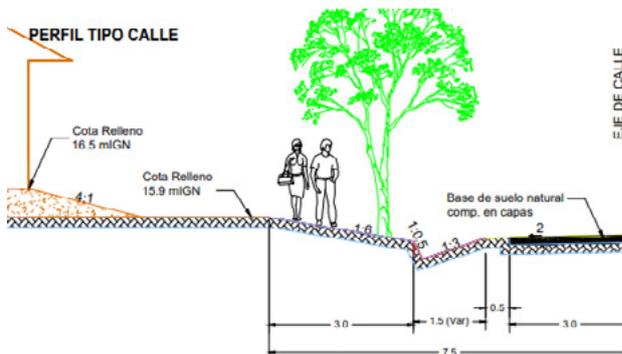


Figura 6.- Perfil tipo de calle

Conclusiones

A modo de cierre se resalta el valor socio-ambiental de no incrementar los caudales máximos a la salida del sistema para la condición con proyecto. Se enfatiza en la priorización de la reforestación del área una vez construida la obra puesto que esta no solo traerá potenciales efectos positivos en el ambiente sino también mejorará las condiciones de drenaje del lote, disminuyendo la erosión en superficie y en conductos. No obstante, se destaca la importancia de un adecuado mantenimiento puesto que, de no lograrse, se generarían obstrucciones en el flujo y, por ende, se tendría mayor probabilidad de anegamiento.

Referencias Bibliográficas

- Carvalho et al. (2017). "Situación Hídrica en San José de Rincón".
- Chow, V. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santa Fe de Bogotá Colombia: McGRAW-HILL.
- Instituto Nacional del Agua, Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe, Santa Fe. (MCSA, INA). (2011). "Plan director de drenajes pluviales zona interna terraplén de la costa".

LA MEDICIÓN DE LA NIEVE Y LOS PRONÓSTICOS DE DERRAMES EN RÍOS CUYANOS

Hugo Gerardo Cinca

Evaluación de Recursos Sociedad Anónima, Paraná 760. Mendoza. Argentina. Teléfono: 2616134726
hcinca@evarsa.com.ar

Introducción

El presente trabajo trata sobre los avances que se han logrado en el conocimiento de la medición del equivalente de agua en nieve (EAN) y sobre todo en la validación de los registros obtenidos de los colchones de nieve (snow pillow) respecto a las mediciones calculadas por los cateos de nieve.

Debido a la heterogeneidad del manto nívico, en una estación determinada, no son comparables las mediciones **puntuales** obtenidas en los cateos, respecto a la medición **areal** de los colchones de nieve.

Desarrollo

De la compulsa de cateos históricos realizados en distintas estaciones nivométricas se pudo apreciar que los valores obtenidos en puntos cercanos a los colchones de nieve eran muy dispares entre sí, esto se debe a la heterogeneidad del manto nívico la cual además es variable de un año a otro dependiendo del tipo de precipitación nívica ocurrida (nieve aireada, húmeda, compacta, etc.)

Por ejemplo en los cateos realizados en Laguna Diamante el 14 de septiembre de 2008 (Tabla 1), vemos que el EAN (máx.) registrado (cateo N° 5) fue de 586 mm y el EAN (mín.) correspondiente al cateo N° 2 fue de 377 mm, lo que implica una diferencia de 210 mm que en porcentaje respecto al contenido de agua promedio es el 43 %; o sea una desviación importante.

Como se puede apreciar el contenido de agua medio fue de 488 mm, sensiblemente menor que el registrado en el snow pillow que fue de 586 mm, valor similar al EAN (máx.) registrado en el cateo N° 5; en otras palabras la media de las mediciones realizadas en torno al registrador no es de utilidad para testear al mismo. Es por ello que si se tienen dos estaciones en una misma cancha de nieve, los valores indicados en cada una de ellas seguramente serán distintos y lo más importante es que cada uno tendrá su historia y no se podrán, a los fines estadísticos, usar indistintamente.

Tabla 1.- Cateo de Nieve en Laguna Diamante (14/09/2008)

Cateos	Profundidad Nieve [cm]	Longitud Núcleo [cm]	Contenido de Agua [mm]	Densidad [gr/cm ³]
1	170	125	364	0.23
2	170	111	377	0.22
3	172	132	515	0.30
4	169	112	461	0.27
5	170	143	586	0.34
6	166	122	481	0.29
7	165	125	540	0.33
8	177	111	539	0.30
9	157	132	510	0.32
Media			488	0.29

Como vemos en este ejemplo, si sobre cada punto de cateo: N° 2 y N° 5, colocáramos un colchón de nieve, obtendríamos registros continuos totalmente distintos aunque se encuentren cercanos uno del otro.

En la Figura 1 se han representado los cateos de la tabla anterior, realizados en la estación nivométrica Laguna Diamante, ordenados de mayor a menor.

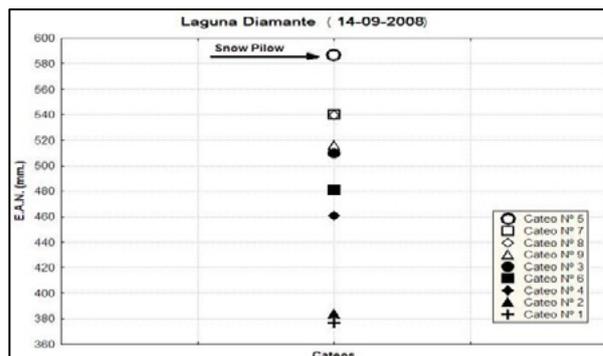


Figura 1.- Ubicación Cateos en Laguna Diamante

La heterogeneidad espacial y temporal del manto nívico se debe a que la nieve se transforma o sufre metamorfismo por la acción de tres factores: el viento (rompe los cristales que forma la nieve, en partes más pequeñas y los transporta), la presión de las capas que tiene por encima y la temperatura ambiental.

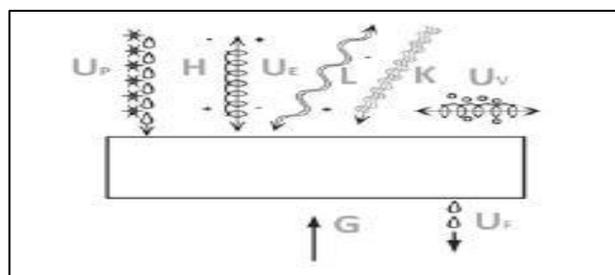


Figura 2.- Flujo de Energía sobre la columna de nieve

La energía interna de la masa de nieve es función de: K la radiación solar o de onda corta, L la radiación de onda larga, H el intercambio turbulento de calor sensible con la atmósfera, G el intercambio de calor sensible con el suelo y U_p, U_e, U_v y U_f las componentes advectivas del transporte de energía (Figura 2).

Puede ocurrir sin embargo, aunque no es muy usual, que el manto nívico sea homogéneo en cuyo caso sí hay coincidencia entre los cateos y los valores de EAN registrados en los colchones de nieve.

En conclusión, los cateos de medición de nieve para verificar los valores que arroja un aparato registrador (snow pillow) colocado en una estación determinada, no tienen sentido a no ser que la medición se realice **exactamente** sobre el colchón de nieve; para lo cual habría que diseñar un sistema que evite la ruptura de los mismos por las punteras de los cateadores.

Modelación

Teniendo en cuenta que los ríos cuyanos son netamente de **régimen termo nival** profundizar en el conocimiento de la potencia del manto níveo es de vital importancia y además es la única variable que podemos evaluar ya que la otra variable del régimen (la temperatura) es imposible de prever.

La influencia de la temperatura sobre la superficie nevada en primavera y verano se evalúa por la ubicación de la isoterma de 0°C (msnm); a mayor altura de la misma mayor será el área expuesta a la radiación.

La fusión total de la nieve en promedio, se produce a fines de noviembre (Figura 3) pero los caudales máximos ocurren entre mediados de diciembre y mediados de enero debido a que en este lapso es donde se encuentra la isoterma a mayor altura.

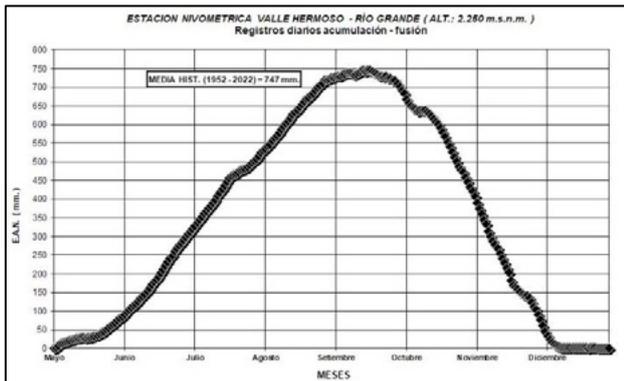


Figura 3.- Curva de Acumulación – Fusión. Estación Nivométrica Valle Hermoso

Redes Neuronales Artificiales

Se utiliza la inteligencia artificial en la confección de los modelos de pronósticos: Redes Neuronales Artificiales optimizadas con Algoritmos Genéticos (Freeman, J. 1993). Siendo la principal variable predictorora que alimenta dichos modelos el equivalente de agua en nieve (E.A.N.) de las estaciones nivométricas ubicadas en la parte alta de la cuenca, además se trabaja con la inercia hídrica, el stock de agua subterránea, la temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas regionales, las temperaturas de la superficie del mar (SST) de las distintas regiones del océano central y oriental del pacífico ecuatorial del fenómeno del niño (ENSO) y el índice de oscilación del sur (IOS)

La inteligencia artificial estudia el diseño de modelos computacionales inteligentes.

Una teoría computacional para un determinado proceso o comportamiento consiste en un conjunto de objetivos computacionales bien definidos, una descripción de la información en términos de entradas – salidas y los algoritmos para transformar las entradas en las salidas deseadas.

Dentro de estos sistemas inteligentes se encuentran los de predicción; ellos son:

- Sistemas de razonamiento distribuido (Redes Neuronales Artificiales)
- Modelos de optimización (Algoritmos Genéticos)

El aprendizaje de un sistema de inteligencia artificial es un proceso que implica cambios en el sistema que le permiten adaptarse llevando a cabo la misma tarea a partir de las mismas condiciones de un modo más eficiente cada vez (Freeman, J. 1993)

Las redes neuronales artificiales (RsNA) son sistemas de razonamiento distribuido de tipo conexionistas que tratan de emular el comportamiento de la mente humana a nivel neuronal. La optimización de RsNA para pronósticos, son realizadas por Algoritmos Genéticos (AG) que permiten buscar la mejor

combinación de datos de entrada, el más adecuado horizonte de pronóstico, la óptima o casi óptima red de interconexión de patrones y pesos entre neuronas y los parámetros de control basados en los datos de entrenamiento usados y criterios prefijados.

Dicha RsNA presenta la siguiente arquitectura:

- Múltiples Capas: capa de entrada, capas ocultas y capa de salida.
- MISO: múltiples entradas (predictores) y única salida (predictado)
- Totalmente Conectada: todos los elementos de una capa se conectan con los elementos de la capa siguiente
- Transmisión de la información unidireccional jerarquizada (Feed Forward)
- Método de Aprendizaje Supervisado: se debe alcanzar un patrón objetivo de manera de minimizar el error cuadrático medio.
- Algoritmo de Retro Propagación: aprendizaje por la Regla Delta Generalizada.
- Actualización de Pesos Bach: con todas las duplas de entrenamiento.

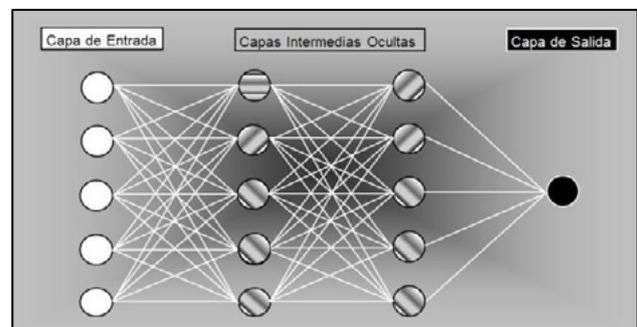


Figura 4.- Arquitectura de una Red Neuronal Artificial

El modelo de neurona y la arquitectura de una red neuronal describen como la red transforma sus entradas en salidas, donde los pesos sinápticos de las conexiones son los que codifican el conocimiento de la red.

Conclusión

Si bien se trabaja con modelación de última generación como son las Redes Neuronales Artificiales, lógicamente la calidad de la información que alimenta dichas redes es de vital importancia, de ahí que se ponga énfasis en el estudio de la variable equivalente de agua en nieve ya que es el predictor de mayor peso en los modelos utilizados para pronósticos de escurrimiento de los ríos cuyanos.

Referencias Bibliográficas

Freeman, J. (1993) "Redes Neuronales, Algoritmos Genéticos, Aplicaciones y Técnicas Programación". Addison-Wesley Iberoamericana.

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE UN CANAL DE DESAGÜES URBANO EMPLEANDO COLABORACIÓN CIUDADANA

M. Bernarda Correa¹, M. Fernanda Cornelli¹, Flavia Bazzano¹ y M. Florencia Nanni^{1,2}

¹Laboratorio de Construcciones Hidráulicas, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

²Dirección Provincial del Agua, Provincia de Tucumán, Argentina

fbazzano@herrera.unt.edu.ar, bercorrea26@gmail.com

Introducción

Se presenta la modelación hidrológica de la cuenca del Canal Maestro de Desagües Sud, perteneciente al Gran San Miguel de Tucumán con cierre en la intersección de la Av. Kirchner y Av. Camino del Perú (26°46'48.50"S; 65°18'56.69"O). Para la calibración del modelo se emplearon registros de lluvia y caudal tomados durante intensos eventos pluviales. Los datos de lluvia generados por fuentes oficiales se completan con los aportados por participantes del proyecto educativo MATTEO. El caudal se obtiene mediante la aplicación de Velocimetría por Imágenes a Gran Escala (LSPIV) empleando una cámara fija dispuesta en el canal y otros videos grabados en canales de aporte secundarios.

El acelerado crecimiento de la población junto a la insuficiente red de desagües pluviales genera frecuentes desbordes en el canal, con los consecuentes daños a los pobladores y a la infraestructura. El modelo hidrológico generado representa una herramienta para mejorar la gestión de excedentes pluviales, siendo un aporte para el diagnóstico de su funcionamiento actual y permitiendo la evaluación de soluciones.

Objetivo General

Evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca del canal Maestro de Desagües Sud, a partir de un modelo agregado y determinístico, calibrado y validado con mediciones experimentales e información generada por la ciudadanía.

Materiales y Metodología

La obtención de la cuenca y su división en 32 subcuencas de aporte se realiza mediante análisis de imágenes satelitales de donde también se obtienen sus parámetros morfométricos.

La transformación precipitación-caudal en cada subcuenca se realiza mediante el método del Hidrograma Unitario de Clark propuesto en el programa HEC-HMS (US Army corps of Engineers-Institute for Water Resources-Hydrologic Engineering Center, 2000). Para el cálculo del tiempo de concentración se plantearon 3 alternativas:

- Alternativa 1: Se estima el tiempo de concentración calculando el promedio de seis ecuaciones empíricas, con aquellas consideradas las más representativas a las características de la cuenca de estudio, estas pertenecen a: Kirpich, Giandotti, Pilgrim y McDermott, Valencia y Zuluaga, Bransby-Williams y Clark.
- Alternativa 2: Considerando investigaciones antecedentes sobre la cuenca en estudio, se estima el tiempo de concentración trabajando únicamente con la ecuación propuesta por Kirpich (Chow et al., 1994).

$$t_c = k * 0,0078 * Lp^{0,77} * S^{-0,385} \quad (1)$$

Dónde: "tc" es el tiempo de concentración [min], "Lp" es la longitud del cauce principal [m] y "S" es la pendiente [m/m]. El factor "k" depende de las condiciones superficiales siendo: k=0,4 para superficies impermeables y k=2 para cuencas rurales.

- Alternativa 3: Se calculó el tiempo de concentración con la ecuación propuesta por Kirpich, considerando el valor del factor k igual a 2 para todas las condiciones superficiales,

generalmente utilizado en la práctica.

Las pérdidas por infiltración se determinan mediante el método del SCS. Para los tránsitos de los caudales, se utiliza el método de Muskingum-Cunge a partir de las dimensiones generales de los canales de desagües existentes.

Se determinan lluvias de diseño, que caracterizan los eventos extremos locales, y de esta manera poder concluir cómo varía el caudal en el punto de control.

La magnitud de la lluvia máxima esperable según recurrencia y duración se determina empleando el modelo DIT, calibrado para la provincia de Tucumán (Bazzano, 2019). La ecuación central de este algoritmo es:

$$\ln i_{d,T} = A\phi_y - B\delta_y + C \quad (2)$$

Donde ϕ_y , es el factor de recurrencia, δ_y es el factor de duración, A, B y C son parámetros del modelo obtenidos del mapa de regionalización empleando herramientas SIG.

La atenuación espacial de la lluvia estimada afecta la lámina estimada por un coeficiente de atenuación (CDA). Para el cálculo del CDA de una determinada duración de lluvia, se utiliza el ábaco de atenuación determinado para la zona del Gran San Miguel de Tucumán obtenido por Bazzano (2019).

Con la finalidad de evaluar la incidencia de la distribución temporal de la lluvia en el resultado del modelo se ensayan cuatro métodos diferentes de distribución temporal: Bloques Alternos (BA), Intensidad Instantánea del modelo DIT (II-DIT), Ordenamiento de Intervalos (OI) y la distribución temporal para un evento crítico registrado en la estación de Yerba Buena (YB). El evento analizado corresponde al día 12/02/2001, donde se midieron 238 mm en 12 horas, con una intensidad máxima en 15 minutos de 159 mm/hora.

Los registros de precipitación utilizados se obtienen de la página de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC) y de la Dirección de Recursos Hídricos de Tucumán. Además, se emplean datos aportados por participantes del proyecto MATTEO, el cual es una iniciativa educativa-científica para el monitoreo del clima en escuelas y organismos públicos. Para la determinación de la lámina caída, los integrantes del proyecto MATTEO construyeron ecopluviómetros con botellas plásticas con las que se realizan las mediciones todos los días en un horario fijo, volcando los resultados en una planilla.

Para la calibración del modelo se considera el evento del día 28/12/2020, el cual comenzó alrededor de las 20:00hs y terminó a las 3:30hs. Se registraron láminas de aproximadamente 120 mm para la zona de S. M. de Tucumán, 80 mm en Tafi Viejo, 150 mm en Lules y 110 mm en Yerba Buena.

Para la validación del modelo se usa el evento del día 16/01/2021, el cual tuvo mayor duración pero menor intensidad de lluvia, que ocurre entre las 14:30 y las 05:00. Se registra para la zona de San Miguel de Tucumán una lámina caída de 40 mm, en Lules 95 mm, en Yerba Buena 60 mm y en Tafi Viejo 75 mm.

La cuantificación del caudal se realiza empleando la técnica de LSPIV mediante herramientas computacionales de libre uso: PIVlab 2.36 y RIVeR 2.5, desarrollado con Matlab®.

Se capturan videos del flujo circulante por el canal Sur durante el evento del día 28/12/2020 y por los canales Yerba Buena y Sur durante el evento del día 16/01/2021. Los videos fueron registrados en el canal Sur por una cámara instalada en el predio de la Dirección Provincial del Agua y en el caso del canal Yerba Buena, mediante la cámara de un celular. Además, se relevaron las secciones transversales y los 4 puntos fijos localizados en el video mediante un GPS. Los videos registrados se particionan de forma de obtener caudales horarios para los eventos de análisis.

Durante el evento del 28/12/2020 se realizaron capturas de 12 videos del flujo circulante en el canal Maestro de desagüe Sud.

En cuanto a las pérdidas por infiltración, se adopta la condición de humedad I (CNI) para el evento del 28/12/2020 y condición de humedad III (CNIII) para el evento del 16/01/2021. Se asigna suelo tipo B en la parte alta de la cuenca y suelo tipo C para el resto. Finalmente, se determina el parámetro CN según el uso del suelo, a los efectos de la urbanización y las recomendaciones bibliográficas.

Resultados

Con las mediciones generadas con la técnica LSPIV a partir de los videos del evento del 28/12/2020 se calibra el modelo mediante un proceso iterativo, ajustando los parámetros de tiempo de concentración y coeficiente CN. El mejor resultado es el que se obtiene de calcular los tiempos de concentración empleando la alternativa 2. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad con un valor de porcentaje fijo a todos los valores asignados para las distintas subcuencas y se logra un buen resultado visual del hidrograma para una disminución del CN(I) en un 2,5% por debajo de los valores calculados con recomendaciones bibliográficas (Figura 2).

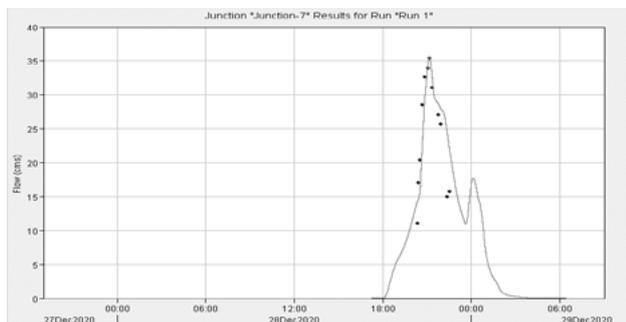


Figura 2.- Calibración del modelo.

Una vez realizada la calibración se valida el modelo utilizando el evento del 16/01/2021, con el objetivo de verificar los parámetros adoptados en el proceso de calibración.

Con el modelo calibrado y validado, considerando CN(II), se modela la cuenca con hietogramas pertenecientes a diferentes recurrencias y distribuciones temporales. Los resultados de caudal pico se encuentran detallados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resultado de los Hidrogramas de Salida.

Tr [años]	Caudal Pico [m ³ /s]				Tiempo al Pico [hh:mm]			
	BA	II-DIT	OI	YB	BA	II-DIT	OI	BA
5	125,2	126,8	133,8	155,4	01:05	02:21	01:52	01:51
25	253,9	249,9	261,5	297,9	01:00	02:03	01:49	01:49
50	315,7	307,2	320,1	362,7	00:59	01:58	01:47	01:49
100	376,1	366,8	380,7	429,5	00:58	01:55	01:48	01:48

Para el análisis se consideró el método de OI como base de comparación, ya que éste sintetiza la información de eventos extremos registrados en la zona.

Se observa en la Tabla 1 que los valores de caudales pico, obtenidos con los métodos de BA e II-DIT, disminuyen un 5% con respecto al método de OI. Por lo tanto, se considera que ambos métodos son aptos para utilizar en el caso de no tener

registros de eventos históricos, siempre que la ubicación del pico sea representativa de los registros locales, dado que este factor tiene una notable influencia en el hidrograma de salida del modelo.

Finalmente, se observa que la tormenta de YB presenta caudales picos un 13% mayores a los obtenidos con el método de OI. Siendo este un buen resultado se considera su empleo recomendable a pesar de que solo se trata de un evento crítico.

Conclusiones

La modelación hidrológica de la cuenca de estudio se realiza aprovechando toda la información disponible en la cuenca, lo cual posibilita una determinación racional de los parámetros intervinientes.

El registro de la lluvia en las cuencas altas permitiría mejorar los resultados obtenidos de la modelación, ya que la forma y magnitud de los hidrogramas está íntimamente relacionado no solo con la cantidad de agua precipitada, sino también con los horarios de inicio y fin de la lluvia en las diferentes subcuencas. Se destaca la importancia de contar con más estaciones distribuidas por toda la cuenca y sus alrededores con pluviómetros de alta frecuencia y el valioso aporte de las iniciativas ciudadanas, como el Proyecto MATTEO para obtener una distribución más real de las lluvias durante un evento hidrológico severo.

Respecto a la cuantificación del caudal empleando LSPIV, se concluye que es una técnica remota de medición adecuada para caracterizar flujos y poder estimar velocidades. Más allá de los errores que presente el método, las mediciones del caudal obtenidas son un aporte significativo, sobre todo considerando que con las técnicas tradicionales resulta muy difícil medir el caudal en un curso de agua al momento en el que ocurre la crecida. En este sentido, el uso de cámaras fijas en desagües pluviales urbanos representa una facilidad para disponer de registros en sitios de difícil acceso durante tormentas.

Los parámetros empleados en la modelación hidrológica estimados a partir de ecuaciones empíricas o tablas publicadas no siempre resultan representativos de las condiciones locales. Se ha demostrado durante la calibración que estos valores muchas veces necesitan ser ajustados para adecuarse a la cuenca que se está estudiando.

Con respecto a los hidrogramas obtenidos a partir de la lluvia de diseño para diferentes recurrencias y distribuciones temporales se destaca que la ubicación del pico del hietograma presenta gran incidencia en el hidrograma resultante, con lo cual se recomienda adecuarlo a lo observado localmente. El uso de la distribución temporal mediante el evento crítico resulta en mayores caudales pico que empleando el resto de las técnicas.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, H. D; Nanni, M. F; Bazzano, M. F; Pantalano, A. y Gracia, C. M. (2017). "Calibración de un Modelo Hidrológico de Transformación Precipitación-Caudal Mediante Aforos con LSPIV". *XXVI Congreso Nacional del Agua*. Córdoba, Argentina.
- Bazzano, F; Caamaño Nelli, G; Ruiz, X. (2017). "Hietogramas para Diseño Hidrológico: Contraste de Técnicas Aplicadas en San Miguel de Tucumán". *XXVI Congreso Nacional del Agua*. Córdoba, Argentina.
- Bazzano, F. (2019). "Predicción De Lluvias Máximas Para Diseño Hidrológico". *Tesis Doctoral*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Bravo, C. et al. (2006). "Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de Yerba Buena". Municipalidad de Yerba Buena. Tucumán, Argentina.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). "Hidrología Aplicada". McGraw – Hill InterAmerican S.A.
- Velez Upegui, J. J. y Botero Rodriguez, A. (2010). "Estimación del Tiempo de Concentración y Tiempo de Rezago en la Cuenca Experimental Urbana de la Quebrada San Luis, Manizales". *Revista DYNA*, Vol 78, No 165, Pág. 58-71. Año 2011.

IMPACTO DEL DÉFICIT HÍDRICO EN UN ARROYO EFLUENTE DE LA REGIÓN PAMPEANA

Delgado M.I.^{1,2}, Besteiro S.², Mac Donagh M.E.¹, Casco M.A.¹, Gorbarán R.¹, Di Lello C.³, Lacunza E.⁴, Consoli P.⁴, Angheben E.⁴, Carol E.³

1. División Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina
2. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), La Plata, Argentina.
3. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina
4. Facultad de Ingeniería (UNLP), La Plata, Argentina

isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Introducción

En la República Argentina la superficie total afectada por sequías, a febrero de 2023, se incrementó en más de un millón de hectáreas, ocurriendo a su vez un empeoramiento de las condiciones en áreas que ya estaban afectadas (19 millones de hectáreas pasaron a la categoría severa), provocando el consecuente impacto sobre los sistemas ganaderos, los cultivos y la población (DNRyEA, 2023).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto que el déficit hídrico ocasiona en el aporte del flujo base y, consecuentemente, en el funcionamiento hidrológico a nivel de cuenca, en el sector Noreste de la provincia de Buenos Aires. Para ello se eligió como caso de estudio a la cuenca del arroyo El Pescado (Fig. 1), la cual comprende una superficie de 349 km², y se encuentra localizada al sudeste de la ciudad de La Plata. Esta región se corresponde con un ambiente de llanura de clima húmedo (precipitación media anual cercana a 1000 mm) donde los cursos de agua son principalmente de carácter efluente. Se realizó un análisis actual frente al contexto de déficit hídrico de los últimos años asociados a El Niño/Oscilación del Sur (ENOS). De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2023a), en el territorio nacional la recurrencia de eventos de olas de calor en el semestre cálido 2022/2023 no registra precedentes. A su vez, se considera que debido a la relación existente entre las fases del ENOS y la precipitación en la región sur de la Cuenca del Plata y en la zona húmeda del país, La Niña favoreció las lluvias deficitarias, lo que agravó las condiciones secas en el área ya afectada previamente por la sequía (SMN, 2023b).

Materiales y Métodos

El arroyo El Pescado nace a una cota de 20 msnm, en la zona interior, y luego de recorrer unos 30 km llega a la planicie costera, donde es canalizado hasta desembocar en el Río de la Plata. La cuenca ha sido declarada Paisaje Protegido de Interés Provincial (Ley 12.247/1999, de la Provincia de Buenos Aires), no obstante, está atravesando un profundo proceso de cambio de uso del suelo. Este proceso implica la conversión de áreas de pastizal, las cuales se utilizaban principalmente para ganadería extensiva, hacia un uso actual mayormente asociado a la urbanización en la cuenca media y a la agricultura intensiva en la cuenca alta, comprendida principalmente por horticultura bajo cubierta plástica (Delgado et al., 2022).

Se estimaron los periodos de excesos y déficit hídricos a partir de la realización de balances hídricos realizados para el periodo 2017-2023, de acuerdo con la metodología de Thornthwaite y Mather (1957). Los datos diarios correspondientes a precipitación (mm) y temperatura media (°C) fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional, para la estación La Plata Aero. Se diseñó e instaló una red de monitoreo de agua constituida por 15 sitios de medición en el arroyo y por freatímetros realizados con barreno manual ubicados en las inmediaciones de la planicie de inundación del arroyo (Fig. 1).

La distribución de los sitios comprende a la cuenca alta (1 y 2), cuenca media (3, 4, 5, 6, 7 y 8), y cuenca baja (9, 10 y 11).

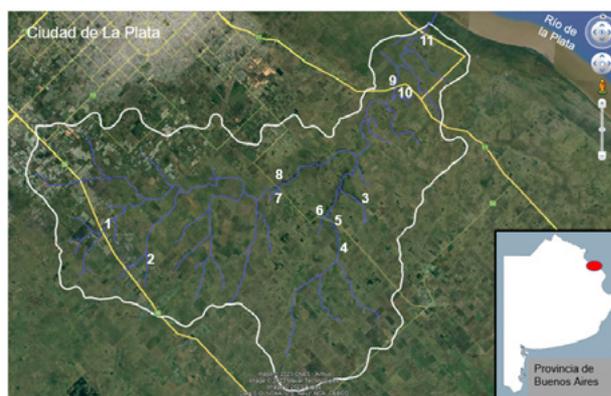


Figura 1.- Red de monitoreo, cuenca del arroyo El Pescado

Resultados y Discusión

El balance hídrico (Fig. 2) muestra que desde 2020 la disminución en las precipitaciones asociadas al fenómeno de la Niña determina que se registren excesos hídricos en periodos más acotados que los presentados en balances históricos en los que los excesos de agua ocurren de manera frecuente entre febrero y noviembre (Moreiro Varela et al., 2020). Esto repercute directamente en la recarga de los acuíferos, ocasionando un descenso en el nivel freático tan pronunciado que el curso llega a perder el aporte de la descarga de agua subterránea en el verano 2022 – 2023, lo cual determina que el cauce se encuentre seco en gran parte de la cuenca (Fig. 3), debido a la pérdida de los aportes subterráneos que controlan el flujo base, demostrándose el impacto que las variaciones asociadas al ENOS pueden ocasionar en este tipo de ambientes fluviales.

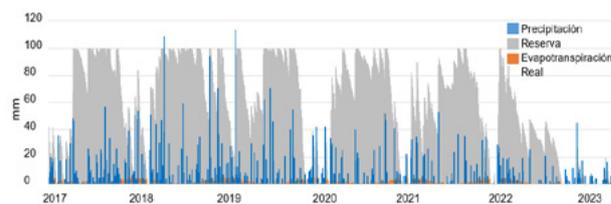


Figura 2.- Balance hídrico para estación SMN La Plata Aero, utilizando como reserva máxima de agua en el suelo el valor de 100 mm. Periodo enero 2017- abril 2023

Puede observarse el marcado déficit hídrico que aconteció en la región desde el comienzo de la última década. Principalmente en el verano de 2022 – 2023 se presenta un periodo prolongado donde la reserva de agua es prácticamente nula.



Figura 3.- Fotografías comparativas: a) Sitio 7, años 2022 y 2023; b) Sitio 8, años 2017 y 2023.

En cuanto al registro correspondiente a los pozos someros construidos en la planicie de inundación, se observa que desde 2022 comienza a registrarse una profundización del nivel freático, la cual se ve incrementada hacia 2023. Los valores promedios de profundidad del nivel freático registrados en el invierno de 2017 en la cuenca alta, media y baja fueron de 1,12, 0,23 y 0,41 m, respectivamente. En el invierno de 2022, la profundidad promedio relevada en la cuenca alta, media y baja fue de 4,52, 1,03 y 2,14 m, respectivamente. Mientras que para el otoño de 2023, considerando los pozos en los que se encontró agua, la profundidad promedio del nivel freático que pudo medirse en los sectores de cuenca alta, media y baja fue de 4,81, 1,61 y 2,86 m, respectivamente. Durante el año 2017 se encontró agua en la totalidad de los pozos (los sitios 4 y 6 figuran “sin dato” porque no existía pozo en dicha fecha), mientras que en 2023 el escenario fue completamente diferente, con el 45% de los pozos secos (Tabla 1). Los pozos donde se pudo medir el nivel freático en 2023 se encuentran en la cuenca media, y en la cuenca baja, próximos al Río de la Plata. En el

caso del relevamiento de agua en el cauce, para el año 2023 sólo se encontró en la cuenca alta (sitios 1 y 2) y en la cuenca baja (sitios 9, 10 y 11), mientras que, en toda la cuenca media, caracterizada históricamente por ser un área de humedal, no se registró presencia de agua en superficie.

Tabla 1.- Presencia/Ausencia de agua en los pozos someros en la cuenca del arroyo El Pescado. La “X” indica presencia de agua.

Sitio	Invierno 2017		Invierno 2022		Otoño 2023	
	Pozo	Cauce	Pozo	Cauce	Pozo	Cauce
1	X	X	Seco	X	Seco	X
2	X	X	Seco	X	Seco	X
3	X	X	Seco	Seco	Seco	Seco
4	Sin dato	X	X	X	Seco	Seco
5	X	X	X	X	X	Seco
6	Sin dato	X	X	X	X	Seco
7	X	X	X	X	Seco	Seco
8	X	X	X	X	X	Seco
9	X	X	X	X	X	X
10	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X

Se considera que, si bien en este trabajo se presentan resultados preliminares, el mismo permite tener una primera aproximación sobre los impactos que las variaciones asociadas al ENOS pueden ocasionar en este tipo de ambientes fluviales, donde los aportes de las aguas subterráneas al curso de agua son significativos, y por lo tanto, la disminución de la reserva hídrica hasta valores críticos significa la afectación de todo el sistema.

Referencias Bibliográficas

- Delgado, M.I., Mac Donagh, M.E., Casco, M.A., Tanjal, C. & Carol, E.** (2022). Nutrient dynamics in water resources of productive flatland territories in the Pampean region of Argentina: evaluation at a watershed scale. *Environ Monit Assess* 195:236. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10838-7>
- DNRyEA Dirección Nacional de Riesgo y Emergencia Agropecuaria.** (2023). *Informe de Sequía Febrero 2023* (Elaborado 01/03/2023). https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_ed/sequia/archivos/230000_Infomes%202023/230200_Infome%20Sequ%C3%ADa%20%20Febre%202023.pdf
- Moreiro Varela, J., Di Lello, C. & Delgado, M.I.** (2020). “Calidad del agua para consumo en establecimientos rurales del partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires”. 15° Encuentro Internacional E-ICES.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional.** (2023a). *Informe especial por persistencia de calor extremo y recurrencia de olas de calor en Argentina desde noviembre de 2022*. http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/2358/0010_CL2023.pdf
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional.** (2023b). *Estado del clima en Argentina 2022. Reporte final*. <http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/2378/Informe%20final%20%20Estado%20del%20clima%20en%20Argentina%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R.** (1957). “Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance”. *Publication in Climatology*, 10, 185–311.

COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL ACUÍFERO PUELCHE EN UN SECTOR DEL CINTURÓN HORTÍCOLA DE LA PLATA, BUENOS AIRES

Dell' Arciprete, Daiana^{1,2}, Herrera Niño, Felipe^{1,2}, Fabiano, Maximiliano¹,
Laurencena, Patricia^{1,3} y Carretero, Silvina^{1,2}.

1 Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 64 N°3, La Plata, Argentina.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

3 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina.

E-mail: dellarciprete daiana@fcnym.unlp.edu.ar, felipe.herrera@fcnym.unlp.edu.ar, mfabiano@fcnym.unlp.edu.ar, plaurencena@hotmail.com, scarretero@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

En el Gran La Plata, la horticultura se ha incrementado significativamente a lo largo de los años. En la actualidad, la actividad productiva de esta región es la más importante de la Argentina (García, 2011; Miranda, 2017).

El Cinturón Hortícola de La Plata (CHLP) se caracteriza por tener zonas de fronteras móviles y difusas entre el campo y la ciudad, expandiéndose del casco urbano de La Plata hacia el suroeste, dado que al noreste la ciudad limita con los polos industriales de Berisso y Ensenada (Villulla, 2006).

La región presenta algunos sectores con servicios de aprovisionamiento de agua potable y sistema cloacal por parte de empresas privadas y cooperativas locales. Otros sectores, se abastecen del recurso hídrico por medio de perforaciones particulares; por ello, se utiliza agua subterránea tanto para consumo humano como para la producción hortícola.

La expansión de la urbanización hacia el suroeste y del desarrollo hortícola en el mismo sector, da lugar a una competencia por el uso de la tierra y consecuentemente por el uso del agua (Laurencena *et al.*, 2010). A su vez, el suelo es impermeabilizado tanto por calles y viviendas como por invernáculos, favoreciendo el escurrimiento superficial de las precipitaciones sobre la infiltración. Por lo tanto, no sólo no se aprovecha el agua de lluvia para el riego, sino que también se le impide parcialmente su infiltración. Esto último dificulta la recarga del acuífero (García, 2011).

Hidrogeológicamente, se desarrolla una secuencia estratigráfica que constituye un acuífero multiunitario compuesto por una alternancia de secciones productivas, separadas por sedimentos de menor permeabilidad (García *et al.*, 2016).

El sistema acuífero activo se encuentra conformado de base a techo por el acuífero Puelche desde los 44 hasta los 70 metros bajo nivel del terreno (m.b.n.t.) aproximadamente y el acuífero Pampeano, conteniendo a la capa freática, encontrándose entre los 43 m.b.n.t. hasta los 0 m.b.n.t. dependiendo de las características geomorfológicas y de la posición del techo de la Formación Puelche. Ambas formaciones se encuentran separadas por un acuitardo.

Deluchi *et al.*, (2010) mencionan que el agua contenida en el acuífero Puelche depende de la transferencia lateral y el flujo vertical del acuífero Pampeano a través del acuitardo que los separa. Los sedimentos que constituyen el acuífero libre (Pampeano) actúan como medio de recarga y descarga del nivel acuífero subyacente.

El sistema acuífero se recarga exclusivamente por las precipitaciones ocurridas en la región. La precipitación media anual histórica de la ciudad de La Plata (1909-2022) es de 1044 mm/año, con excesos hídricos del orden de 248 mm/año.

En la región del Gran La Plata, existen numerosas publicaciones (Laurencena *et al.*, 2002, 2005; García *et al.*, 2018; Deluchi *et*

al., 2012) que han analizado las fluctuaciones de los niveles del agua subterránea en distintas condiciones del ciclo hidrológico.

El objetivo de este trabajo es analizar las variaciones de los niveles del acuífero Puelche de acuerdo al uso del recurso hídrico, en un periodo de déficit de agua.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la región NE de la provincia de Buenos Aires, la cual abarca una zona de divisorias de aguas en la cabecera de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez y El Gato (Figura 1).

Los arroyos presentan una dirección general de escurrimiento SO-NE, desaguando en la planicie costera. En la actualidad, la mayoría de los cursos han sido rectificadas, profundizados y ensanchados, facilitando el escurrimiento ya que la gran parte estas planicies de inundación han sido ocupadas por la población.

En esta región el uso del suelo es discretizado como periurbano, caracterizado por la explotación agrícola intensiva (horticultura, floricultura).

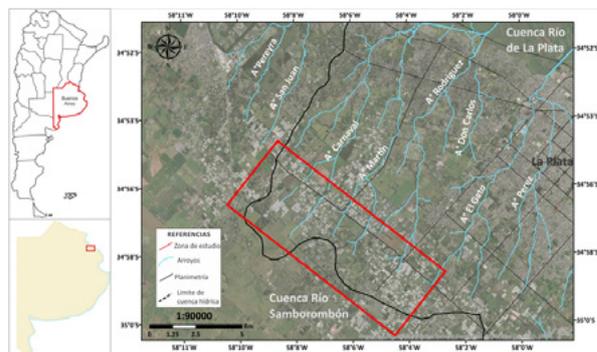


Figura 1.- Ubicación del área de estudio delimitada con coloración roja.

Metodología

Los datos utilizados de precipitación y temperatura fueron brindados por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica (FCAG-UNLP).

Se calculó la evapotranspiración potencial por la metodología de Thornthwaite (1948) y se realizó un balance diario a nivel del suelo seriado para el periodo 2018-2022 con el programa Balshort V.3. De acuerdo con las características litológicas se asumió una capacidad de campo de 100 mm.

Se conformó una red de monitoreo a partir de perforaciones, que captan agua del acuífero Puelche. Se realizaron mediciones de los niveles piezométricos durante febrero del 2023. Además, se utilizaron perforaciones aledañas al sector de estudio para completar el análisis.

La información recopilada fue integrada en un Sistema de Información Geográfico (SIG), a partir del cual se generó un mapa compuesto por la red hidrográfica del área, la ubicación de las perforaciones de la red de monitoreo, como también las pertenecientes a las cooperativas de la zona. Se utilizó la información de curvas isopiezas elaboradas por García y Zanandrea (2018). Se confeccionó un mapa de flujo para la zona de cabecera de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez y El Gato dentro del CHLP con los datos actuales.

Resultados

Los registros de niveles piezométricos obtenidos en el año 2023 muestran una dirección de flujo subterráneo hacia el NE y hacia la ciudad de La Plata (Figura 2).

La comparación con antecedentes del año 2018 evidencia que, si bien se mantienen constantes las direcciones de flujo, las posiciones de las curvas equipotenciales manifiestan descensos que varían entre 5 y 7 m.

Las posiciones de las curvas isopiezas se modificaron en el transcurso de los últimos 5 años, desplazándose hacia el suroeste de la región. Se distingue que el cono de depresión ubicado al sur del casco urbano platense, aumenta su desarrollo evidenciado por el corrimiento de la curva isopieza de 0 m.s.n.m.

A partir del año 2018 las precipitaciones fueron disminuyendo progresivamente y con ello la recarga de los acuíferos. En 2022 las precipitaciones registradas fueron de 572 mm, lo cual representa el 50% aproximadamente de la media anual histórica de la ciudad de La Plata. Los excesos hídricos correspondientes al año analizado son del orden de los 30 mm/año.

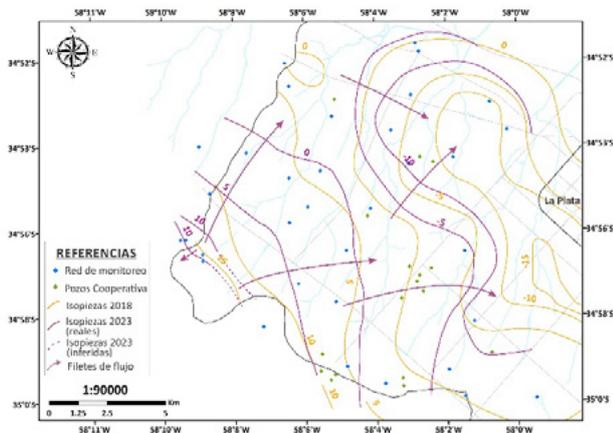


Figura 2.- Mapa de flujo para 2018 y 2023.

Conclusiones

En el periodo analizado, el sector de la divisoria de los arroyos Martín y Carnaval se mantienen las condiciones hidrológicas naturales.

El flujo subterráneo del acuífero Puelche para el año 2018 y 2023 muestra una dirección de escurrimiento predominante hacia el cono de depresión producido por la explotación intensiva del Gran La Plata.

Las escasas precipitaciones registradas en la región, provocan la disminución de los excedentes hídricos (30 mm/año) calculados para este periodo, influyendo en la recarga del acuífero Pampeano y consecuentemente la del acuífero Puelche. Esto ha llevado a que se registren descensos en los niveles del acuífero Puelche que varían entre 5 y 7 m, en el año 2023. Además, la

región se encuentra afectada por la intensa explotación del recurso para los cultivos y consumo humano. Como medida, los productores locales, tuvieron la necesidad de realizar nuevos pozos o reperfilar los existentes para abastecerse del acuífero más profundo.

La continuidad en el tiempo del estudio del agua subterránea permitirá conocer la evolución del recurso hídrico de acuerdo con el desarrollo del área periurbana.

Referencias Bibliográficas

Carrica, J.C. (1993) "Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana". *XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso Exploratorio de Hidrocarburos*. (4): 243-246. Mendoza, Argentina.

García, M. (2011) "El Cinturón Hortícola Platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política". *Theomai*, 23, 35-53.

García, J. M. (2016). *Particularidades del Acuífero Puelche en la región de La Plata*. (Trabajo Final de Licenciatura). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

García, J.M. y Zanandrea, J.F. (2018). "Evaluación de la dinámica hídrica del agua subterránea en la región del Gran La Plata". Recuperado de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12890/24-aguas-garca-juanmanuel-unlp.pdf *XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo*. Mendoza, Argentina.

Deluchi, M.; Kruse, E.; Laurencena, P.; Rojo, A.; Rodríguez, L. (2010) "Características de la explotación de aguas subterráneas en un sector del noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina". *X Congreso ALHSUD*, Caracas.

Deluchi, M., Kruse, E. E., Laurencena, P. C., Rojo, A., y Carol, E. S. (2012) "Modificaciones en el flujo subterráneo por aumento en la extracción de agua en la ciudad de La Plata". *I Congreso Latinoamericano de Ecología Urbana- I Curso Internacional de Ecología Urbana*, Buenos Aires.

Laurencena, P. C., Varela, L. B., Kruse, E. E., Rojo, A., y Deluchi, M. (2002) *Características de las variaciones freáticas en un área del Noreste de la Provincia de Buenos Aires*. En *Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano*, Mar del Plata.

Laurencena, P. C., Kruse, E. E., Rojo, A., Deluchi, M., & Carol, E. S. (2005) "Variaciones de niveles freáticos en la cuenca del arroyo El Pescado (provincia de Buenos Aires)". *XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata.

Laurencena, P., Deluchi, M., Rojo, A. y Kruse, E. (2010) "Influencia de la explotación de aguas subterráneas en el sector periurbano de La Plata." *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 66 (4) p. 484 - 489 Número especial Geología Urbana, Ordenamiento Territorial y Teledetección.

Miranda, M. (2017) "Riesgos ambientales asociados al cultivo bajo cubierta en el cinturón hortícola del gran la Plata." *1º Encuentro Nacional sobre Periurbanos e interfaces críticas*. Ciudad de Córdoba: INTA.

Thornthwaite, C.W. (1948). Una aproximación hacia una clasificación racional del clima. *Revista geográfica*, 38 (1), 55-94.

Villulla, J. M. (2006) *Cambios sociales y degradación de la producción en el cinturón hortícola platense*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

TENDENCIAS RECIENTES EN LAS LLUVIAS DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Diaz Boris G.¹, Almonacid Leandro R.², Pessacg Natalia L.³, Colombani Erica N.⁴, González Javier⁴, Monserrat Cecilia⁵, Peri Pablo L.⁶,

¹ INTA EEA Santa Cruz – Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). Mahatma Gandhi 1322 (9400) Río Gallegos, Santa Cruz (Argentina). Tel: +54 9 02966 442305/306. Correo-e: diaz.boris@inta.gob.ar; ² Convenio Municipalidad de Río Gallegos – INTA CR Patagonia Sur, almonacid.leandro@inta.gob.ar; ³ IPEEC – CCT – CONICET – CENPAT (Puerto Madryn), pessacg@cenpat-conicet.gob.ar; ⁴ INTA EEA Chubut, colombani.eric@inta.gob.ar; ⁵ INTA EEA Santa Cruz, monserrat.mariac@inta.gob.ar; ⁶ INTA – UNPA – CONICET, peri.pablo@inta.gob.ar.

Introducción

El conocimiento de la dinámica espacial y temporal de las lluvias, sus tendencias y patrones, es central para la comprensión del clima y de la hidrología y, en consecuencia, para la planificación hidrológica y agropecuaria (Almonacid *et al.*, 2021). En diversos lugares del mundo, y en Patagonia en particular, se describen recurrentes fenómenos anómalos en relación con las precipitaciones como, entre otros, el aumento en la frecuencia de eventos de sequía, tendencias decrecientes en las lluvias acumuladas y la alteración de sus patrones de distribución espacio-temporal. Sin embargo, en regiones como Santa Cruz y sur de Chubut, el conocimiento aún es escaso como para cuantificar estos fenómenos o aún, describir apropiadamente el significado y magnitud de sus cambios.

La región Patagónica está bajo la influencia del cinturón de viento del oeste del Hemisferio Sur, siendo al sur de 40°S notablemente persistentes durante todo el año (Villalba *et al.*, 2003). La interacción de masas de aire húmedo provenientes del Pacífico con la cordillera de Los Andes determina un fuerte gradiente oeste – este de precipitación a lo largo de la región alcanzando un máximo estimado cerca de la cresta andina, con valores entre 2.000-4.000 mm/año (Garreaud, 2009; Bianchi *et al.*, 2016) hasta más de 9.000 mm/año en el Campo de Hielo Sur (Schwikowski *et al.*, 2013; Sauter, 2019). En cambio, la mayor parte de la estepa patagónica, al este de la cordillera, recibe menos de 200 mm/año (Colombani and Arbuties, 2008; Bianchi *et al.*, 2016; Almonacid *et al.*, 2021).

El objetivo del presente trabajo consiste en modelizar tendencias en las láminas de lluvia acumuladas, anuales y estacionales en la Patagonia Austral, y evaluar su significancia, en el período de 26 años comprendido entre 1995 y 2021.

Materiales y Métodos

Se trabajó con 99 series de datos de lluvias mensuales disponibles en el Banco de Datos Hidrometeorológicos regional (Monserrat *et al.*, 2016) que cubren las 14 grandes regiones hidrográficas (RH) propuestas en la Patagonia Austral (Tabla 1). La base de datos se actualiza periódicamente con registros procedentes de (i) la Dirección General de Aguas (DGA) de la República de Chile, (ii) el SMN de la República Argentina, (iii) la red de estaciones meteorológicas de INTA a través del proyecto SIPAS (Sistema de Información para la Patagonia Sur), y una (iv) red de estaciones particulares, no convencionales. Los datos seleccionados cumplen una secuencia temporal continua entre enero de 1995 y diciembre de 2021. Se les realizó un control de calidad y homogeneización, control de valores atípicos y modelización de datos faltantes siguiendo procedimientos de WMO (Stěpanek *et al.*, 2009).

Para la detección de tendencias en la precipitación y el análisis de su significancia se implementó el test no paramétrico de Mann-Kendall (MK) y estimación de la pendiente de Sen (S), (Bayazit and Önöz, 2009; Collaud Coen *et al.*, 2020). Para limitar la incertidumbre y sesgos ocasionados por efecto de la

autocorrelación, se sometieron los registros a la prueba de Durbin-Watson. Cuando ésta se encontró, se aplicó la técnica de preblaqueo (PB) de von Storch (1995) y Kulkarni and von Storch (1995), para satisfacer así requerimientos de independencia de datos (Bayazit and Önöz, 2009; Collaud Coen *et al.*, 2020).

A partir del estimador S se cuantificó la tasa de cambio de las láminas de precipitación como la proporción de la variación de largo plazo, para diferentes eventos de interés (lluvias estacionales o anuales), entre los extremos de la serie temporal disponible de 26 años (1995 – 2021), (Khudri *et al.*, 2019), [1].

Tabla 1.- Zonificación y codificación hidrográfica de la Patagonia Austral (Diaz *et al.*, 2021).

SISTEMA	DERRAME	RH	DOMINIO	AREA
Río Simpson	Pacífico	01	Binacional	12.182,6
Río Senguer	Endorreico	02	Argentina	50.672,9
Río Chubut *	Atlántico	03	Argentina	63.446,5
Golfo San Jorge	Atlántico	04	Argentina	30.455,7
Lago Buenos Aires	Pacífico	05	Binacional	28.475,7
Río Deseado	Atlántico	06	Argentina	33.855,2
Planicie Central	Endorreico	07	Argentina	40.936,7
Lago San Martín	Pacífico	08	Binacional	14.047,6
Río Santa Cruz	Atlántico	09	Argentina	29.291,0
Río Seco	Atlántico	10	Argentina	23.910,3
Río Vizcachas (Serrano)	Pacífico	11	Binacional	8.693,3
Río Coyle	Atlántico	12	Argentina	29.424,0
Río Gallegos	Atlántico	13	Binacional	19.351,4
Río Chico (Central)	Atlántico	14	Argentina	34.141,8

$$I_{\%95-21} = \frac{(S \cdot Tl)}{P_{1995}} * 100 \quad [1]$$

Donde: S, estimador de pendiente de Sen; Tl, longitud del registro (26 años); P₁₉₉₅, lluvia bruta en 1995; I_{%95-21}, expresión porcentual de la variación de lluvia entre extremos del período, pudiendo ser decrecientes (negativos) o crecientes (positivos).

Para lograr una representación espacial continua sobre el territorio, se realizó una interpolación espacial mediante Kriging Ordinario, uno de los más robustos y comúnmente utilizados para predecir el comportamiento de variables en regiones con escasez de datos (Webster and Oliver, 2007; Berndt and Haberlandt, 2018). A fin de facilitar la interpretación y discusión de resultados de las tendencias calculadas, se implementó una escala de colores y descriptores (Tabla 2).

Resultados y Discusión

Los resultados preliminares evidencian una gran heterogeneidad espacial de las tendencias de precipitaciones en las diferentes regiones hidrográficas de la Patagonia Austral, con un ligero predominio decreciente, tanto para las láminas anuales como en las estacionales (Tabla 3). La tendencia promedio regional para las lluvias anuales resultó de -5,7% en 26 años, con un rango de -0,6% a -24,2% en RH con desarrollo mediterráneo y costero, mientras que en las RH de cordillera sus tendencias anuales

resultaron positivas, entre +4,9% a +20,7%. Estos resultados muestran comportamientos opuestos a los reportados por otros autores para la región, si bien trabajando con datos procedentes de modelizaciones globales no validadas aún en Patagonia Austral (Oliva *et al.*, 2016) o bien con registros de escasas y dispersas estaciones (Oruezabal *et al.*, 2022).

Tabla 2.- Interpretación de resultados de tendencias de la precipitación.

-100 a -50%	Moderada (-)	50 a 100%	Moderada (+)
-50 a -25%	Ligera (-)	100 a 150%	Importante (+)
-25 a 25%	No significativa	> 150%	Significativa (+)
25 a 50%	Ligera (+)		

Los patrones intraanuales resultaron tan heterogéneos como los interanuales, en las diferentes RH, con un predominio de tendencias positivas en las láminas acumuladas de verano y negativas durante primavera. A nivel regional, el promedio en éstas se encontró en +50,9% y -9,1%, respectivamente. Un análisis desagregado en las diferentes RH evidencia tendencias negativas críticas en algunas zonas que comienzan a condicionar, en años recientes, a algunas actividades económicas relevantes para la región, como la ganadería ovina extensiva debido al impacto negativo de la escasez progresiva de lluvias en la productividad primaria neta de pastizales (RH 03, 04, 13 y 14). Sin embargo, la variabilidad interanual resulta lo suficientemente grande, a la escala de análisis planteada, que se dificulta la detección de significancia en sus valores.

Tabla 3.- Tendencias (crecientes o decrecientes) en la dinámica de lluvias anuales y estacionales entre 1995 – 2021, expresado como porcentaje respecto al inicio de cada serie. Dónde: A, es la tendencia anual; V, de verano; O, de otoño; I, de invierno; P, de primavera; (*) solo considera el sector argentino; (**) solo la Subregión Hidrográfica (SH) del río Chico

	A	V	O	I	P
RH01 *	+20,7	+19,8	+42,4	+22,1	+40,9
RH02	-11,1	-8,7	-15,5	+17,9	-25,7
RH03 **	-24,2	-5,8	-28,4	+31,1	-60,4
RH04	-11,4	+10,2	-7,6	-52,7	-11,6
RH05 *	-19,2	+47,8	-31,8	-13,0	-19,2
RH06	-4,8	+91,9	-6,2	-3,2	-4,8
RH07	-1,5	+203,0	+8,4	-19,9	-1,5
RH08 *	+11,4	+47,5	-11,8	+39,4	+11,8
RH09	+4,9	+3,4	-6,1	-4,8	+4,9
RH10	-2,3	+104,7	+6,4	-19,6	-2,3
RH11 *	+8,9	+17,1	+31,0	+7,9	+8,9
RH12	-0,6	+12,2	+7,8	-25,2	-0,6
RH13	-13,7	-10,6	-11,5	+7,0	-13,7
RH14	-5,8	+47,3	-15,0	-15,7	-5,8
Promedio	-5,7	+50,9	-6,5	-8,7	-9,1

Conclusiones

Las tendencias observadas en las lluvias anuales y estacionales en las tres décadas recientes resultan heterogéneas en el sur continental de la Patagonia, sin correlaciones evidentes entre los diferentes períodos analizados. Si bien existe en la sociedad una creencia generalizada respecto a un progresivo deterioro de la oferta de lluvias de la región, no resulta posible confirmar por el momento que ello resulte generalizable y si, resulte necesario el planteo de análisis puntuales en el territorio para dimensionar los impactos posibles de un cambio en el comportamiento del fenómeno, más aún cuando de éstos se pretenda aproximar escenarios futuros posibles de disponibilidad de lluvias.

Referencias Bibliográficas

- Almonacid, L., Pessacg, N., Diaz, B.G., Bonfili, O. and Peri, P.L. (2021). "Nueva base de datos reticulada de precipitación para la provincia de Santa Cruz, Argentina". *Meteorológica* Vol.46(2), 27-54.
- Bayazit, M. and Önöz, B. (2009). "To prewhiten or not to prewhiten in trend analysis?" *Hydrological Sciences Journal*, 52:4, 611-624, DOI: 10.1623/hysj.52.4.611.
- Berndt, C. and Haberlandt, U. (2018). "Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany - Influence of temporal resolution and network density". *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15: 184 - 202.
- Bianchi, E., Villalba, R., Viale, M., Couvreaux, F. and Marticorena P. (2016). "New precipitation and temperature grids for northern Patagonia: Advances in relation to global climate grids". *Journal of Meteorological Research*, 30: 38 - 52.
- Collaud Coen, M., Andrews, E., Bigi, A., Martucci, G., Romanens, G., Vogt, F.P.A. and Vuilleumier, L. (2020). "Effects of the prewhitening method, the time granularity, and the time segmentation on the Mann-Kendall trend detection and the associated Sen's slope". *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 6945–6964. doi.org/10.5194/amt-13-6945-2020.
- Colombani, E. and Arbuties, R. (2008). "Distribución de las precipitaciones en la provincia del Chubut". Actas XII Reunión Arg. de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre, San Salvador de Jujuy, p.9-10.
- Diaz Boris, G., Giménez, M., Almonacid, L., Gaspari, F., Bertinat, M. and Peri, P.L. (2021). "Delineación y codificación de cuencas hidrográficas en la Patagonia Austral". *Boletín Geográfico*, año LXIII, No.43(2), 51 – 69.
- Garreaud, R.D. (2009). "The Andes climate and weather". *Advances in Geosciences*, 22, 3 - 11.
- Khudri, M., Hossain Bagmar, S. and Redwan A.M. (2019). "Characterisation of spatio-temporal trend in temperature extremes for environmental decision making in Bangladesh". *Int. J. Global Warming* Vol.19(4), 364-381.
- Monserrat, M. C., Diaz, B. G., Bonfili, O. and Almonacid, L. (2016). "Banco de datos hidrometeorológicos de Santa Cruz". Actas 3er Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos (IFRH, 2016), 6 y 7 de octubre, Ezeiza, Buenos Aires, 8p.
- Oliva, G., Gaitan, J. and Ferrante, D. (2016). "Humans Cause Deserts: Evidence of Irreversible Changes in Argentinian Patagonia Rangelands". Chap.13, R.H. Behnke and M. Mortimore (eds.), The End of Desertification?. Springer Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-642-16014-1_13.
- Oruezabal, V.A., Martín, P.B. y Castañeda, M.E. (2022). "Los cambios observados en el régimen de precipitación en la Patagonia Argentina". *Rev. Fac. Agron.*, La Plata Vol 121(2), 1-16.
- Sauter, T. (2019). "Revisiting extreme precipitation amounts over southern South America and implications for the Patagonian Icefields". *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, 225, 20p.
- Schwikowski, M., Schläppi, M., Santibañez, P., Rivera A. and Casassa G. (2013). "Net accumulation rates derived from ice core stable isotope records of Pío XI glacier, Southern Patagonia Icefield". *The Cryosphere* 7(5), 1635 – 1644. doi:10.5194/tc-7-1635-2013.
- Stěpánek, P., Zahradníček, P. and Skalák, P. (2009). "Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961 – 2007". *Advances in Science and Research*, 3, 23 -26.
- Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J.A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J.C., Roig, F.A., Schmelter, A., Wolodarsky, A. and Ripalta, A. (2003). "Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years". *Climatic Change*, 59, 177 – 232.
- Webster, R. and Oliver, M.A. (2007). "Geostatistics for Environmental Scientists". John Wiley & Sons, Ltd (Second, Vol. 1).

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE UNA SEQUÍA EXTREMA SOBRE LA LAGUNA MAR CHIQUITA, CÓRDOBA

Díaz E.^{1,2}; Pagot M.¹; Dimari F.¹ Romero D.²; Tarrab L.¹;
Hillman G.¹ Patalano, A.¹; Rodríguez A.¹; Herrero H.^{1,2}

¹ Laboratorio de Hidráulica, FCEfYN UNC, Córdoba, Argentina

² Administración Provincial de los Recursos Hídricos APRHI, Córdoba, Argentina
erica.b.diaz@gmail.com

Introducción

La Laguna Mar Chiquita, es uno de los humedales más importantes de Sudamérica debido a su biodiversidad y su importancia para la economía local, y está ubicada en la región central de la República Argentina. Esta región ha recibido menos de la mitad de la precipitación media durante los últimos cuatro meses de 2022, siendo el registro más bajo en 35 años (ONU, 2023). Esto, combinado con el efecto de un tercer año consecutivo de La Niña, ha generado un impacto sobre la laguna, disminuyendo su superficie en los últimos años, afectando gravemente a la flora y fauna. Además, las playas salinas que han quedado al descubierto (principalmente hacia el Norte de la Laguna), favorecen la generación de tormentas de sal y polvo, depositando este material en zonas de cultivos cercanas.

En este trabajo, se presenta un estudio de los niveles y las áreas de la Laguna Mar Chiquita durante el periodo 2003 - 2023 con imágenes satelitales y mediciones *in situ*, un análisis del aporte a la laguna desde los principales tributarios al sistema para identificar y caracterizar las sequías, y un análisis de la información pluviométrica histórica utilizando como referencia una estación meteorológica que cuenta con 120 años de datos a paso mensual. Los resultados se aplicaron al modelo de balance hídrico para la Laguna Mar Chiquita presentado originalmente en Rodríguez et al. (2006), actualizado y calibrado para el presente trabajo en el marco de realizar una estimación de los niveles de la misma para los próximos tres meses.

Nivel y área de la Laguna Mar Chiquita durante los últimos 20 años

Los niveles de agua en la Laguna Mar Chiquita, presentan oscilaciones entre 4 m y de 2,5 m para los periodos 2003-2014 y 2015-2023 respectivamente. Las áreas cubiertas por agua en cada uno de estos periodos presentan descensos del 40% y del 33% para el periodo completo. En la Figura 1 se presenta la variación del área de la laguna medida satelitalmente y los niveles de agua medidos para las mismas fechas con escalas limnimétricas emplazadas en la costa sur de la Laguna.

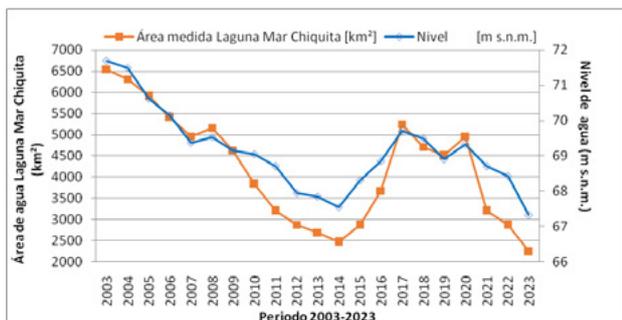


Figura 1.- Niveles de agua (m.s.n.m.) y el área (km²) de la Laguna Mar Chiquita desde 2003 a 2023.

Análisis de aportes de caudales

Se realizó una caracterización de los caudales anuales de los ríos que son tributarios a la Laguna Mar Chiquita. Para la misma se utilizaron las series de caudales de aportes anuales (junio-julio) de los ríos Primero (Suquia), Segundo (Xanaes) y Dulce (Petri) medidas en los cierres de los Embalses San Roque, Los Molinos y Río Hondo, respectivamente. Estas cuentan con datos desde el año 1926 para los ríos Primero y Dulce; y desde 1936 para el río Segundo. No obstante, en el trabajo se mostrarán los resultados para el periodo 2001-2022.

La caracterización de los caudales medios anuales a cada río tributario se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográfica de las cuencas y columnas ordenadas cronológicamente. En la matriz se identifica con una escala de colores la caracterización de año seco, normal o húmedo. Los valores de cada unidad de la matriz se obtienen calculando en cada año la serie cronológica de la oferta disponible, la probabilidad de excedencia del aporte medio anual registrado.

$$\text{Probabilidad } (X_{jt} > x_{jt}) = \alpha \quad [1]$$

Siendo:

X_{jt} : las series de aportes disponibles.

x_{jt} : valor numérico del aporte anual observado en el año t en la cuenca j .

α : umbrales de probabilidad.

La matriz se generó con los siguientes umbrales:

0,00 < α < 0,20	muy húmedo; (color azul)
0,20 < α < 0,40	húmedo; (color celeste)
0,40 < α < 0,60	normal; (color blanco)
0,60 < α < 0,80	seco; (color amarillo)
0,80 < α < 1,00	muy seco; (color naranja)

En la Figura 2, se presenta la caracterización de los caudales de aporte al sistema en conjunto con los niveles medios anuales de la laguna desde el año 2001/02 a 2022/23. En la misma se observa como el sistema enfrenta desde el año 2020 una sequía ininterrumpida que provocó un descenso de la laguna de casi 2 metros, siendo los niveles actuales inferiores a los registrados en el año 2013.

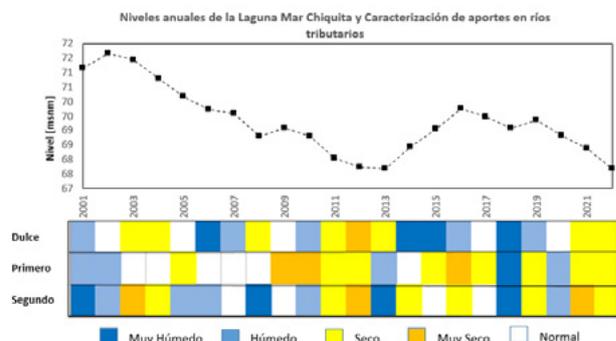


Figura 2.- Niveles medios anuales de la Laguna Mar Chiquita (m s.n.m.) vs caracterización hidrológica de caudales de aportes de sus ríos tributarios.

Análisis de Precipitación

Para el análisis de precipitación se utilizó la serie de precipitaciones diarias de Santa María de Río Seco perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Esta es una serie que cuenta con datos desde 1903 (Figura 3).

En la misma se observa que en los últimos 2 años la precipitación anual (año hidrológico julio-junio) ha sido inferior a la media en un 30%. Eventos de precipitación menores a estos se han registrados en los últimos 20 años, sin embargo, tener 2 años consecutivos de sequía pluviométrica severa no se registra desde 1954/55.

Se analizaron estaciones cercanas a la laguna (ubicadas en las localidades de Miramar y La Rinconada) con datos en las dos últimas décadas y se observa que el comportamiento de la precipitación en los 3 años se encuentra por debajo de la media, siendo para el año 2021 y 2022 inferior a la media en un 40%.

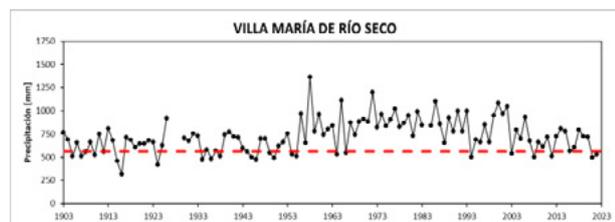


Figura 3.- Precipitación anual (jul-jun) y percentil 0,2 en Santa María de Río Seco. Periodo: 1903-2022.

Modelo de Balance de Masa

El estudio del balance hídrico en la Laguna Mar Chiquita se basó en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad, donde para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre la entrada y salida estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

En este trabajo se implementó un modelo simplificado del tipo "modelo cero dimensional" para el periodo 2014-2023, considerando los siguientes procesos: a) entrada de agua a la laguna por los ríos tributarios, b) entrada de agua por lluvia y c) salida de agua por evaporación. Los componentes del sistema modelado fueron: los ríos tributarios (Dulce, Primero y Segundo), en el caso de la Laguna Mar Chiquita no hay ríos efluentes (es un sistema endorreico), por lo que toda la salida del agua del sistema es a través de la evaporación. No se consideró interacción con el agua subterránea y el aporte por márgenes de la laguna se consideró despreciable. La ecuación de balance hídrico mensual que se aplicó a la Laguna Mar Chiquita presenta la siguiente forma:

$$\Delta V = (Q_{LQ} + Q_{RI} + Q_{RII}) \Delta t + A \cdot (P - E) \quad [2]$$

Siendo: ΔV = variación de volumen de la laguna; Q_{LQ} = caudal medio a la salida del azud Los Quiroga; Q_{RI} = caudal medio del río Primero; Q_{RII} = caudal medio del río Segundo; P = precipitación total sobre la laguna; A = área de la laguna media (medida con imágenes satelitales); E = evaporación total de la laguna; Δt = Intervalo de tiempo analizado

Se trabajó con series de datos de precipitaciones, evaporación medidas a paso diario en estaciones ubicadas en las proximidades de la laguna. En base a los datos hidrometeorológicos disponibles se realizó el ajuste de un modelo conceptual de balance de masa para la estimación de volúmenes mensuales en la laguna. En la Figura 4 se presenta el resultado de la simulación de los niveles medios mensuales

estimados con el modelo propuesto. Se convierte de volúmenes a niveles a través de un modelo batimétrico reconstruidos con imágenes satelitales.

Considerando la media del periodo de calibración de las variables meteorológicas intervinientes (precipitación y evaporación), el módulo de los ríos tributarios (Primero y Segundo) y, para el caso del río Dulce se asume que en los próximos tres meses el dique Los Quiroga continuará erogando un caudal constante desde enero 2023 de 40 m³/s, se estimó que para septiembre de 2023 el nivel de la laguna será de 67 m.s.n.m.

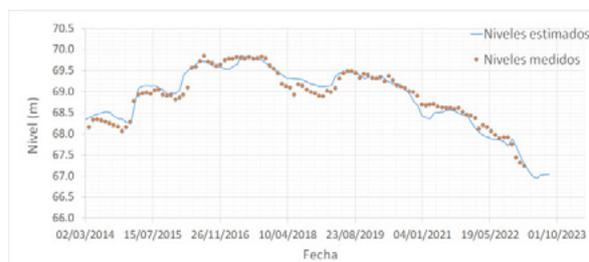


Figura 4.- Niveles medidos y estimados en la Laguna Mar Chiquita con el modelo de balance de masa.

Conclusiones

La Laguna Mar Chiquita se encuentra atravesando un mínimo en área y nivel que no se observa desde 1977 (periodo medido 1967-2023). El pronunciado descenso de los niveles de los últimos años es en parte explicado por una sequía hidro meteorológica severa que el sistema ha estado atravesando. Desde el año 2020 sus principales tributarios Primero, Segundo y Dulce han manifestado un déficit marcado de caudales de aportes a nivel anual ininterrumpido. Y acorde a los datos de precipitación analizados en estaciones cercanas a la laguna en los dos últimos años la precipitación caída ha sido inferior a la media en un 40%. Y del análisis de una serie histórica con más de 100 años de datos se observa que el déficit de precipitación registrado en los últimos dos años es la más severa de los últimos 68 años.

El modelo de balance de masa, muestra un buen ajuste entre los niveles medidos y los niveles estimados con un error medio cuadrático de 0.16 m, aun sin considerar la interacción con el agua subterránea y los aportes por cuenca directa. Actualmente, los niveles de la laguna son inferiores a los registrados en el año 2013 y en base al modelo de balance de masa se espera que estos lleguen a valores de 67 m.s.n.m. para el mes de septiembre de 2023.

En la región de la Laguna Mar Chiquita, recientemente declarada Parque Nacional (desde 2022) y con reconocimiento internacional (Sitio RAMSAR desde 2002 entre otros), consideramos que es importante promover la educación ambiental, generando conciencia sobre la importancia de este sistema, garantizando su monitoreo y seguimiento constante de sus variables.

Referencias

Organización de Naciones Unidas (2023, 22 de febrero). El cambio climático no es el responsable de la sequía en Argentina, Uruguay y Chile, pero sí agrava la escasez de agua. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2023/02/1518812>

Rodríguez, A., Pagot, M., Hillman, G., Pozzi, C., Plencovich, G., Caamaño, N. G., Curto, E., y Bucher, E. (2006). Capítulo 4. Modelo de Simulación Hidrológica. En: Bucher, E. (ed.). Bañados del Río Dulce y laguna de Mar Chiquita Córdoba, Argentina (pp. 57-77). Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias.

DETECCIÓN DEL LÍMITE AGUA-TIERRA MEDIANTE EL ALGORITMO MÍNIMA DISTANCIA EN LA NUBE DE GOOGLE EARTH ENGINE

Dieguez Gaviola, G., Noli, E, Van der Ploeg, A., Ortiz, M. F. y Chiarito, Eugenia

Instituto Geográfico Nacional, Argentina
[gdieguez, enoli, aploeg, mortiz, echiarito]@ign.gob.ar

Resumen

El Límite Agua-Tierra se realizó con el objetivo de obtener una línea que establezca los límites entre lo terrestre y lo marino-fluvial para la Argentina. La importancia radica en poder generar un producto de manera semiautomática susceptible de ser insumo en diversos análisis espaciales y temporales de estos límites, debido a los cambios globales que se están dando en las últimas décadas y tienen un fuerte impacto en las zonas costeras de Argentina y a nivel mundial. Contar con esta línea es fundamental para poder brindar a la comunidad un producto que permita entender y evaluar la relación entre los cambios de los entornos marinos-fluviales y terrestres. Argentina se enfrenta a un gran desafío respecto del cambio climático por lo que el proyecto brinda una gran herramienta para abordar esta problemática.

Introducción

La generación y estudio del cambio de la Línea Agua-Tierra posibilita una distinción clara entre los ambientes marino y fluvial del terrestre. Esta delimitación adquiere una relevancia significativa en el contexto de los cambios ambientales y climáticos que están ocurriendo a nivel global. Por lo tanto, poder contar con este tipo de información se vuelve esencial para poder comprender y analizar los impactos de estos cambios en las zonas costeras. Aunque esta línea no se interpreta como una línea de costa o geomorfológica, por lo que no se tendrá en cuenta como elemento generador del paisaje, sigue desempeñando un papel fundamental en el estudio de la evolución costera.

Los efectos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar, la erosión costera y la alteración de los ecosistemas marinos, entre otros, están generando desafíos significativos para la sostenibilidad de estas comunidades (Durand et al, 2021; Nicholls y Cazenave, 1997). El conocimiento detallado de estos cambios es fundamental para tomar decisiones informadas en la planificación y gestión del territorio, donde poder contar con un insumo de esta índole permite abordar futuros estudios como la identificación de áreas más vulnerables (Re y Menéndez, 2007). A través de la utilización de la gran cantidad de información geoespacial disponible en la nube de Google, es que este trabajo propone el uso de técnicas de sensores remotos para la clasificación Agua-Tierra y su posterior demarcación lineal del límite.

Metodología

El área de estudio fue la costa marítima argentina, que se extiende a lo largo de 4500 km comenzando en el límite exterior del Río de la Plata llegando hasta la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Figura 1). Se trabajará de manera inicial con la zona costera para luego una vez obtenido un producto satisfactorio, empezar a adaptarlo para aguas intercontinentales.

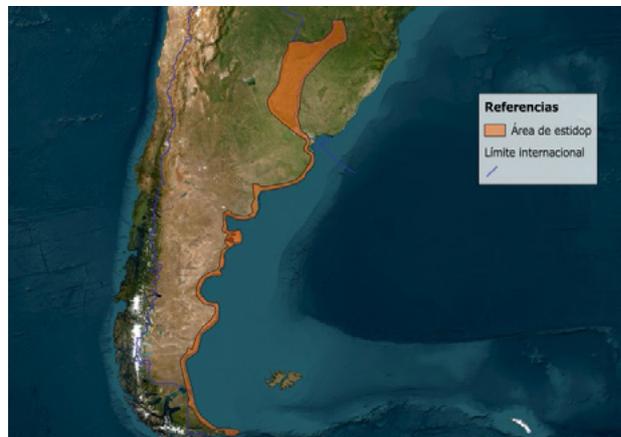


Figura 1.- Área de estudio y límite internacional.

Se utilizó la plataforma Google Earth Engine, que permite la utilización de una extensa base de datos satelitales, así también como el procesamiento de estas a través de diferentes algoritmos directamente desde la nube. Se emplearon imágenes SENTINEL-2A/B MSI Nivel 1C para el primer trimestre del 2023, donde se calculó la media, para cada banda, de cada píxel a partir del algoritmo “ee.Reducer.mean” de la plataforma y así obtener una sola imagen capaz de ser clasificada. Las bandas espectrales de este satélite presentan una resolución espacial de 10 metros (en el visible e infrarrojo cercano) y 20 metros (en el infrarrojo de onda corta).

Una vez obtenido la media de cada banda, se realizó el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI), el mismo se utiliza para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. El NDWI fue diseñado para maximizar la reflectancia del agua utilizando la banda verde mientras que minimiza la banda del infrarrojo cercano en el suelo alrededor y coberturas vegetales, arrojando valores positivos para el agua y negativos para el suelo y la vegetación (McFeeters, 1996). Se calcula como la diferencia normalizada entre la banda verde y la banda del infrarrojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) [1]:

$$NDWI = \frac{VERDE - NIR}{VERDE + NIR} [1]$$

Se tomaron las muestras correspondientes a la clase Agua y a la clase Tierra a partir de imágenes satelitales de alta resolución provistas por Google. Estos puntos se utilizaron como insumo de la clasificación supervisada, utilizando el algoritmo de distancia mínima. Este algoritmo asigna un píxel a la categoría más cercana que será aquella que garantice la mínima distancia entre el píxel y el centro de la clase, donde esta distancia no es espacial sino espectral (Figura 2). Las variantes del procedimiento de Distancia Mínima, utilizan diferentes métodos para calcular la distancia, que se define como un índice de similitud, y donde en este caso se utilizó la métrica de distancia euclidiana [2] (Richards, 2012).

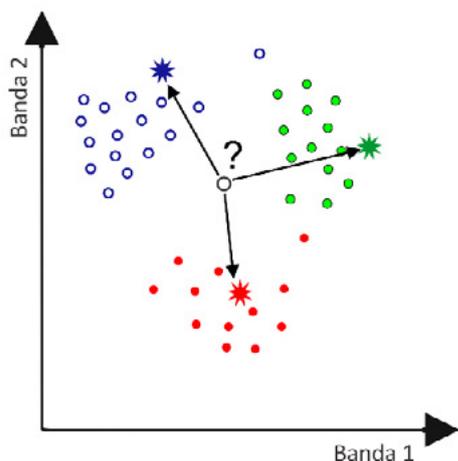


Figura 2.- Representación del agrupamiento realizado por el algoritmo de mínima distancia.

$$d_{x,A} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (ND_{x,i} - \overline{ND}_{A,i})^2} \quad [2]$$

Donde $d_{x,A}$ es la medida de la distancia entre el píxel X y la categoría A, que se calcula como la raíz cuadrada del sumatorio de las diferencias entre el ND de ese píxel y el ND medio de la categoría A, para las m bandas que intervienen en la clasificación. Tras calcular esta medida para todas las categorías, puede obtenerse el valor $d_{x,A}$ más pequeño, asignando el píxel x a esa categoría (Chuvieco, 1995).

Una vez realizada la clasificación, se procede a vectorizar el archivo raster obtenido y a la simplificación de los nodos del vector para obtener una línea representativa del límite Agua-Tierra. Esto se lleva a cabo mediante el uso del software libre QGIS, específicamente mediante las herramientas “Vectorización”, “Simplificado” y “Suavizado”, en ese orden. Una vez vectorizado el raster, se emplea el algoritmo de simplificado *Douglas-Peucker* el cual permite controlar la distancia máxima entre los puntos simplificados y la geometría original. En este caso se determinó que el valor óptimo de la tolerancia en el algoritmo era de 14,14 m al ser la hipotenusa del píxel utilizado.

Para la validación de los resultados se decidió realizar una matriz de confusión y el cálculo del índice Kappa para obtener un valor numérico. Sin embargo, también se realizó una validación visual entre el ajuste del límite obtenido e imágenes satelitales de alta resolución provistas por Google.

Resultados

La metodología propuesta brinda resultados óptimos al momento de diferenciar los distintos tipos de clases, tanto en su formato raster como en su postprocesado a vectorial. La matriz de confusión arroja un 82.24% de precisión general. Los resultados de la vectorización, tal como se ve en la figura 3, muestran una gran precisión al constatar visualmente con imágenes satelitales a una escala de 1:5000, respaldando así la confiabilidad y ajuste visual de la clasificación obtenida.

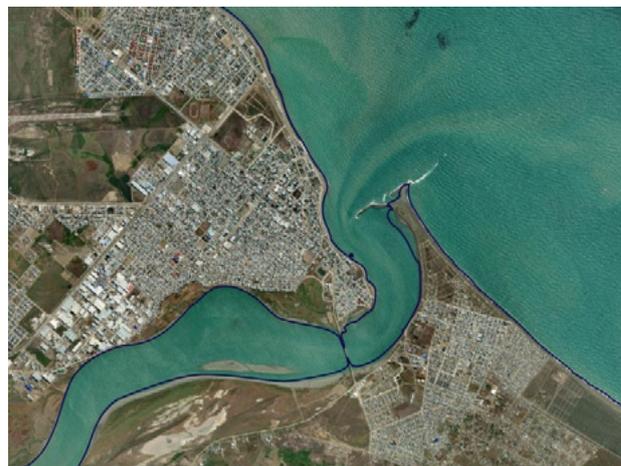


Figura 3.- Resultado de vectorización del límite agua y tierra. Escala 1:50000, ciudad de Río Grande.

Referencias Bibliográficas

- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección especial* (pp 350). Madrid, España: Ediciones RIALP, S.A.
- Durand G., van den Broeke MR., Le Cozannet G., Edwards TL., Holland PR., Jourdain NC., Marzeion B., Mottram R., Nicholls RJ., Pattyn F., Paul F., Slangen ABA., Winkelmann R., Burgard C., van Calcar CJ., Barré J-B., Bataille A. and Chapuis A. (2022). Sea-Level Rise: From Global Perspectives to Local Services. *Front. Mar. Sci.* 8:709595. DOI: 10.3389/fmars.2021.709595
- McFeeters, S. K. (1996). “The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features”, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, DOI: 10.1080/01431169608948714
- Re, M., & Menéndez, Á. N. (2007). “Impacto del cambio climático en las costas del Río de la Plata”.
- Richards, J. A. (2012). “Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, 5th edn.” *New York: Springer Science+Business Media*
- Robert J. Nicholls Anny Cazenave (1997). Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science* 328,1517-1520(2010). DOI:10.1126/science.1185782

CARACTERIZACIÓN DE SEQUIÁS HIDROLÓGICAS EN ARGENTINA

Dimari F.¹; Díaz E.^{1,2}; Petroli G.¹; Bertoni J. C.³; Rodríguez A.¹

¹Laboratorio de Hidráulica, FCEFyN UNC, Córdoba

²Administración Provincial de los Recursos Hídricos APRHI, Córdoba

³Instituto Nacional del Agua, Argentina

erica.b.diaz@gmail.com

franco.dimari@mi.unc.edu.ar

Introducción

Las sequías son reconocidas como un desastre ambiental que se origina por la reducción en la cantidad de precipitación recibida durante un período de tiempo prolongado, que repercute primero en la vegetación y agricultura, luego en la disminución en los caudales naturales en ríos, almacenamientos en lagos y embalses, descenso de los niveles en acuíferos, etc. Esto con el tiempo afecta el medioambiente, suministros de agua potable, industria, energía, economía, entre otras (Mishra y Singh, 2010). Es por ello que el conocimiento en el tiempo y espacio de las sequías ocurridas, en conjunto, con el monitoreo de continuo de las mismas son herramienta fundamental para una adecuada gestión del recurso hídrico.

En este trabajo se aborda la identificación y caracterización de sequías hidrológicas para distintas cuencas de la Argentina desde un enfoque temporal y espacial. El análisis temporal permite conocer las características (intensidad, magnitud, frecuencia de ocurrencia y duración) de las sequías que ocurrieron en el pasado, y tomar las medidas necesarias para el manejo adecuado de los recursos hídricos en el futuro. Por su parte, el análisis espacial permite conocer las áreas más afectadas y establecer la fragilidad de los sistemas que abastecen a una misma región. (Díaz et al, 2018).

Metodología

Entendemos por sequía a un periodo de tiempo donde las precipitaciones son escasas o bien los caudales naturales de los ríos o volúmenes embalsados están debajo de lo normal. Durante ese periodo, la cantidad de agua no es suficiente para abastecer la demanda de los seres vivos (vegetales, animales y habitantes) de la región afectada.

La caracterización de sequías se tomó desde un enfoque hidrológico, utilizando datos de los caudales anuales de 16 cuencas localizadas a lo largo de toda la Argentina (Ver Tabla 1). La metodología propuesta consiste en el análisis de series de tiempo denominado análisis de sucesiones. La identificación y caracterización de sequías se presentan en una matriz, en donde las columnas representan la ubicación geográfica (de norte a sur) y las filas el año calendario. En escala de colores se identifican los distintos umbrales de sequías.

Tabla 1.- Resumen de características hidrológicas y geográficas de las cuencas analizadas.

Cuenca del Río	Estación	[msnm]	Área [Km ²]	Mód [m ³ /s]	Período
Chubut (CH)	Los Altares	275	16400	46	1943-2021
Limay (LI)	Paso Flores	566	9800	287	1942-2021
Neuquén (NE)	Paso de los Indios	498	30843	311	1905-2021
Colorado (CO)	Buta Ranquil	850	15300	148	1940-2021
Atuel (AT)	La Angostura	1302	3800	35.4	1905-2021
Mendoza (ME)	Guido	1408	8180	45,6	1956-2021
San Juan (SJ)	San Juan - Km 101	934	25660	65	1909-2021
Ctalamochita (CT)	Embalse	650	3300	27,1	1913-2021
Xanaes (XA)	Los Molinos	770	980	9,5	1936-2021
Suquia (SU)	San Roque	650	1350	10	1926-2021
Dulce (DU)	La Escuela	265	19700	82,2	1925-2021
Juramento (JU)	Cabra Corral	945	32885	29,5	1934-2021
Bermejo (BE)	Pozo Sarmiento	296	25000	446	1952-2021
Pilcomayo (PI)	Mision la Paz	230	96000	237	1960-2021
Paraná (PA)	Corrientes	52	1950000	17189	1906-2021
Salado (SA)	RP 70	17	29700	137	1954-2021

Identificación de Sequías

Se consideran sequías hidrológicas aquellas referidas a déficits de caudales o volúmenes de aporte.

En el presente trabajo la caracterización de sequías hidrológicas se realiza en términos de déficit de aportes anuales, siguiendo una metodología de análisis de series de tiempo denominado análisis de sucesiones. El uso del análisis de sucesiones ha sido propuesto como un método objetivo para identificar los periodos de sequía y para la evaluación de las propiedades estadísticas de la misma. Esta metodología ha sido usada para el análisis y caracterización estocástica de las sequías desde que Yevjevich (1967) propusiera la definición de eventos de sequía, Según esta "un evento de sequía es definido como el período durante el cual la variable indicadora de la disponibilidad de agua X_t (aportaciones, lluvia, humedad del suelo, etc.) se encuentra por debajo de un determinado umbral X_o ". Dicho umbral puede ser un valor fijo en el caso de series de tiempo anuales o un valor periódico para el caso de series de tiempo periódicas (Salas y otros, 1980).

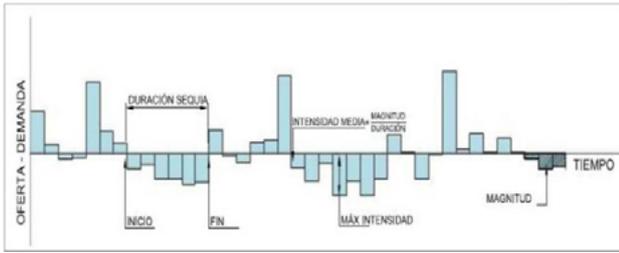


Figura 1.- Identificación y caracterización de sequías según el método de sucesiones. Fuente: Fernández (1997) Modificada.

Este análisis permite obtener parámetros útiles en la cuantificación de las sequías como son: la duración (L); severidad o magnitud (M) (suma acumulada de las diferencias entre el umbral y los valores de la variable), ubicación en tiempo absoluto (inicio y fin), la intensidad máxima (Imax definida como la máxima de las diferencias entre el umbral y las realizaciones que componen el evento) y la intensidad media (media, la relación entre la magnitud y la duración). Estos parámetros se observan en la Figura 1.

En la Figura 2 se puede observar el análisis de sucesiones aplicado a la serie de caudales medios anuales de la cuenca del río Paraná. En la misma se observan los distintos periodos de déficit que atravesó la cuenca, entre ellos la reciente sequía que atraviesa el sistema desde el año 2019.

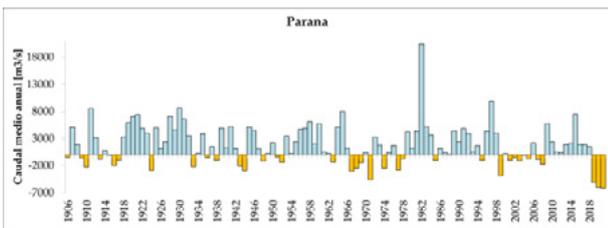


Figura 2.- Identificación y caracterización de sequías según el método de sucesiones para la serie de caudales del río Paraná.

Análisis Espacial y Temporal de Sequías Hidrológicas

El análisis espacial y temporal de las sequías se apoya en un ordenamiento matricial con filas correspondientes a la ubicación geográfica (de sur a norte) de las cuencas, y columnas ordenadas cronológicamente; y se identifica con una escala de colores correspondiente a los distintos umbrales de sequía. Los valores de cada unidad de la matriz se obtienen calculando en cada año la serie cronológica de la oferta disponible, la probabilidad de excedencia del aporte medio anual registrado.

$$\text{Probabilidad } (X_{jt} > x_{jt}) = \alpha \quad (1)$$

Siendo:

X_{jt} : las series de aportes disponibles.

x_{jt} : valor numérico del aporte anual observado en el año t en la cuenca j .

α : umbrales de probabilidad.

La matriz se armó con los siguientes umbrales:

- $0,00 < \alpha < 0,20$ muy húmedo; (color azul)
- $0,20 < \alpha < 0,40$ húmedo; (color celeste)
- $0,40 < \alpha < 0,60$ normal; (color blanco)
- $0,60 < \alpha < 0,80$ seco; (color amarillo)
- $0,80 < \alpha < 1,00$ muy seco; (color naranja)

En color gris se indican los años sin datos. La matriz contiene en las columnas las cuencas ordenadas de sur a norte. Ver Figura 3.

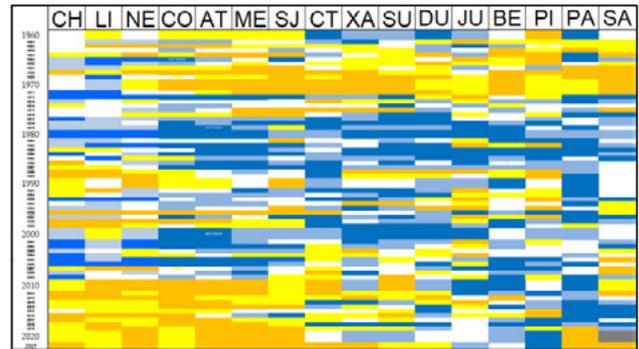


Figura 3.- Matriz de caracterización de sequías según el método de sucesiones para el periodo 1960-2021 (años hidrológicos).

Resultados

Se observan en la matriz los resultados de la caracterización de sequías para el periodo 1960 a 2021. En la misma se destaca una gran sequía plurianual antes de 1970 para la mayor parte del sistema estudiado.

Para el año hidrológico 2021/22 la mayoría de las cuencas analizadas atravesó escasez de agua, excepto las cuencas de los ríos Pilcomayo, Bermejo y Juramento. Así mismo, se evidencia que la última década los sistemas de Chubut, Limay, Neuquén, Colorado, Atuel, Mendoza y San Juan enfrentan una gran sequía persistente.

Los sistemas de la provincia de Córdoba Suquía, Xanes, Ctlamochita y Dulce manifestaron sequía continua para el periodo hidrológico 2021/22 y 2022/2.

En la Figura 2 se puede observar la marcada sequía que atraviesa el sistema del Paraná desde el año 2019. Es interesante señalar que a pesar de que la alternancia entre eventos húmedos y secos era mayor en el periodo anterior a la década del 70, la sequía de los años 2020 y 2021 fue más relevante en términos de intensidad máxima y severidad.

Se puede observar que las cuencas han sido afectadas por numerosos eventos secos a lo largo de su historia. Esta particularidad es importante en la planificación a mediano y largo plazo en lo referente al manejo de los recursos hídricos.

Referencias

- Díaz, E., García, M., Rodríguez, A., Dölling, O., Ochoa, S., & Bertoni, J (2018).** Evolución temporal de las sequías hidrológicas en Argentina y su relación con indicadores macroclimáticos - Temporal evolution of hydrological drought in Argentina and its relationship with macroclimatic indicators. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 9(5), 1-32. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-01>
- Mishra, A., y Singh, V. (2010).** "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology* N° 391, (202-216).
- Yevjevich, V. (1967).** "An objective approach to definition and investigation of continental drought". *Hydrology Paper 23*. Fort Collins, USA: Colorado State University.
- Salas, J., Delleur, J., Yevjevich, V., y Lane, W. (1980).** *Applied Modeling of Hidrologic Time Series*. Water Resources Publications. Littleton, Colorado U.S.A.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE LA BARDA, DEPARTAMENTO DE CHICAL-CO, LA PAMPA

Domke Juan Agustin, Caresani Tossoni Fabrizio Nehuen, Buss Gastón y Ramirez Agustin David

Secretaría de Recursos Hídricos, La Pampa, Argentina.
Santa Rosa, 9 de Julio 280

jdomke97@gmail.com; fabrizionct@hotmail.com; gastonbuss@yahoo.com.ar; agustinramirez0297@gmail.com

Introducción

La provincia de La Pampa posee una distribución heterogénea de sus recursos hídricos lo que hace que su disponibilidad, para diversos usos y desarrollo de actividades, dependa de su calidad y cantidad en cada sector del territorio. En particular, en la zona oeste de la provincia, dado el corte arbitrario del caudal de los ríos interprovinciales, las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento, motivo por el cual, resulta trascendental conocer su disponibilidad y calidad.

La zona objetivo del presente trabajo involucra un sector acotado del departamento Chical-Có, comprendido entre las localidades de Agua de Torres y Algarrobo del Águila de la provincia de La Pampa. En esta área, caracterizada como subregión de la pediplanicie (INTA, 2004), existe una fuente de agua subterránea que sustenta la actividad ganadera local. En este sentido, surgió la necesidad de realizar una caracterización hidroquímica del acuífero que permita determinar sus posibles usos.

Área de estudio

El área de interés, comprendida entre Algarrobo del Águila y Agua de Torres, se ubica dentro de la subregión de la pediplanicie (INTA, 2004) en el extremo NO de la provincia; aproximadamente entre los meridianos 67° 30' y 68° 30' W y entre los paralelos 36° y 37° S; incluyendo el departamento de Chical-Co y parte norte de Puelén (Fig. 1). Como primera aproximación, se procedió a estudiar el sector oriental del área de interés, comprendido entre la ruta provincial 25 y la ruta nacional 151.

Las escasas precipitaciones y el gran déficit hídrico constituyen uno de los factores limitantes más fuertes de la producción agropecuaria en la región. La lluvia anual es de aproximadamente 200 mm, concentrándose en la época estival. El invierno se caracteriza por bajas precipitaciones, aunque suelen ocurrir nevadas que incrementan el porcentaje de agua que se incorpora al suelo. La temperatura es otro de los factores limitantes en esta región. Las altas temperaturas de la época estival, asociadas a la escasez de agua aportadas por las lluvias, inciden negativamente en la cantidad y calidad del forraje disponible (INTA, 2004).

Geomorfológicamente, esta subregión es relativamente homogénea y con límites bien definidos. El relieve regional es fundamentalmente plano con algunas elevaciones aisladas originadas por afloramientos rocosos (INTA, 2004).

En cuanto a geología, el área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la Hoja Geológica Agua Escondida (3769-II) (Narciso et al., 2007), la cual se extiende entre los paralelos 36° y 37° de latitud sur y los meridianos 69° y 67° 30' de longitud oeste. Son tres las unidades que participan en la elaboración de la pediplanicie: sedimentos arenosos con cantos rodados, sedimentos limo-calcáreos y afloramientos rocosos. Dentro de estos últimos, se encuentran las formaciones "Agua Escondida", "Grupo de la Pintada" y "Coladas basálticas" (INTA, 2004).

Hidrogeológicamente, los únicos antecedentes que respaldan los indicios de una capa acuífera a profundidades mayores de 50 metros son los datos aportados por los pobladores de la zona y la Administración Provincial del Agua (APA, inédito).

Metodología

La metodología seguida incluyó las siguientes actividades:

1. Recopilación y análisis de antecedentes de trabajos del área de estudio.
2. Elaboración de un censo hidrológico general de 11 perforaciones para mediciones de profundidad del nivel freático, parámetros fisicoquímicos de campo (conductividad eléctrica, pH y temperatura) y toma de muestras de agua para el posterior análisis fisicoquímico en el laboratorio "La Pampa Agrícola" con habilitación brindada por SENASA e INASE (Fig. 1).
3. Clasificación del agua de acuerdo a la concentración de sus iones mayoritarios para diversos usos:
 - a. Humano: Ley provincial 1027 (1980)
 - b. Ganadero: Bavera (2011)
 - c. Riego: clasificación Riverside USSLS (1954)
4. Cartografía de variables: ubicación de los diferentes puntos de muestreo, isopiezas e isoconcentración residuo seco (realizada mediante el método de interpolación vecinos naturales o NNI).

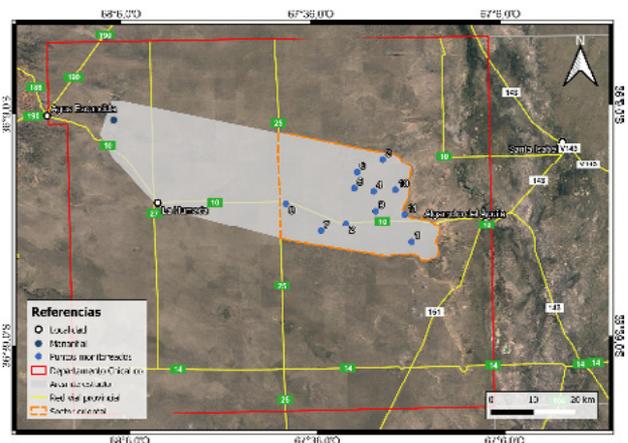


Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio y puntos monitoreados en contexto con el departamento Chical-co.

Resultados y Discusión

El acuífero de La Barda, caracterizado en este trabajo, se encuentra a profundidades variables entre 65 y 95 metros bajo boca de pozo en las 11 perforaciones privadas relevadas en un área inicial aproximada de 500 km². El nivel piezométrico pasa de 571 msnm en el punto 8 a 409,4 msnm en el punto 11, mostrando un aparente flujo subterráneo en sentido oeste-este (Fig. 2).

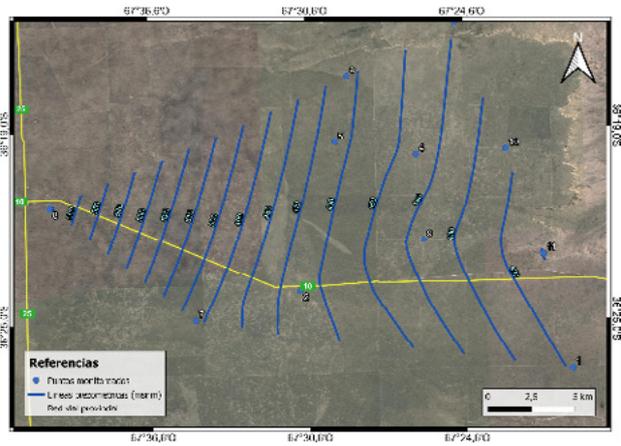


Figura 2.- Líneas piezométricas del agua subterránea de los puntos medidos.

En cuanto a hidroquímica, las aguas son en su mayoría cloruradas sódicas con conductividades que varían entre 2700 y 4800 $\mu\text{mho/cm}$ y un valor promedio de 3300 $\mu\text{mho/cm}$; el pH varía entre 7,14 y 8,03 con un valor promedio de 7,81 y residuo seco varía entre 2050 mg/l y 3350 mg/l con un valor promedio de 2392 mg/l (Fig. 3).

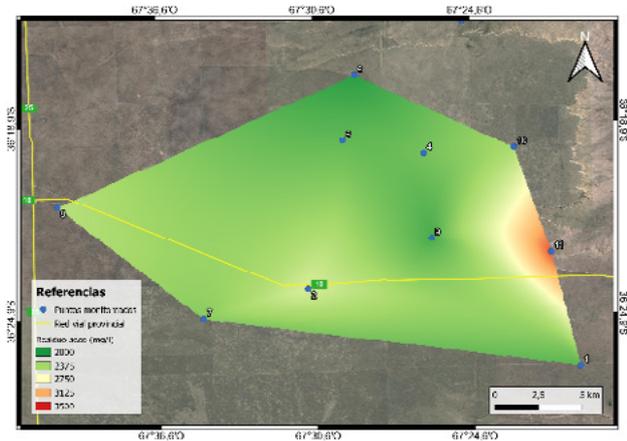


Figura 3.- Isoconcentraciones de residuo seco mediante NNI.

En lo que respecta al consumo humano, si bien hay parámetros que exceden los límites recomendados por la Ley Provincial 1.027 (1980) (residuo seco, cloruros, sulfatos, flúor y dureza), mediante el tratamiento adecuado se pueden reducir las concentraciones a niveles aceptables.

Para producción bovina, posee una muy buena a buena calidad, según los valores guía establecidos por Bavera (2011). La concentración de magnesio es baja, pero es un mineral que puede ser incorporado fácilmente mediante suplementos.

El uso para riego, siguiendo la clasificación Riverside del U.S. Salinity Laboratory (1954), se encuentra condicionado principalmente por la salinidad debido a que las aguas se clasifican principalmente como C4-S2 (salinidad muy alta y contenido medio de sodio) y en menor medida como C4-S3 (salinidad muy alta y contenido alto de sodio) y C5-S2 (salinidad excesiva y contenido medio de sodio).

Los resultados obtenidos son positivos teniendo en cuenta la crisis hídrica a la que se encuentra sometida la región y dejan la puerta abierta para futuras campañas de prospección/exploración. Es por esto que se recomienda replicar la metodología empleada en el sector occidental. De esta manera, una vez descrita la hidroquímica, sería conveniente

proceder con estudios geoelectrónicos y perforaciones de exploración, para poder así detallar la geología y comportamiento hidráulico del acuífero en cuestión.

Referencias Bibliográficas

- Bavera G. A.** (2011). Manual de aguas y aguadas para el ganado. 4ta edición. Editorial Imberti-Bavera, Córdoba, Argentina.
- INTA.** (2004). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. 2da edición. INTA, Buenos Aires, Argentina
- Ley Provincial 1027.** (1980). Régimen de Conservación y uso del Agua Potable. 1 de octubre de 1980. La Pampa, Argentina.
- Narciso, V., Zanettini, J. C., Santamaría, G. y Mallimacci, H.** (2007). Hoja Geológica 3769-II, Agua Escondida, provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 300, 54p. Segunda edición revisada. Buenos Aires.
- United States Salinity Laboratory Staff.** (1954). Soil and water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Ed. L.A. Richards. Agriculture Handbook n. 60.

PLAN INTEGRAL HÍDRICO SOCIAL Y AMBIENTAL DE LA CUENCA DE LOS ARROYOS SAN FRANCISCO Y LAS PIEDRAS

Espil Nosa, Francisco Héctor; Mosquera, Juan Pablo; Bronstein, Pablo Mario; Buono, Nicolas Enrique; Cáceres, Raúl Alejandro; Cardini, Julio Cesar; y Spirito, Martín Andrés

SERMAN & ASOCIADOS S.A., Calle Pico N°1641 5° D, C1429 CABA, Argentina
fespil@serman.com.ar; mosquera@serman.com.ar

Introducción

La cuenca de los Arroyos San Francisco y Las Piedras tiene más de 200 Km² y residen en ella más de 1 millón de habitantes. Estos arroyos como la mayoría de los ríos y arroyos de las principales cuencas que drenan el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) se encuentran muy antropizadas, con canalizaciones, rectificaciones, desviaciones, entubamientos parciales o totales y sus planicies altamente urbanizadas. Asimismo, se caracterizan por intenso vertido de residuos sólidos y efluentes cloacales. Como combinación de todos estos factores se dan procesos de inundación donde los excedentes, altamente contaminados, tienden a concentrarse en el entorno del cauce principal que ya de por sí cuenta con una conducción limitada por la inexistencia de un valle aluvional, las numerosas interferencias y residuos sólidos. El Plan se enfoca en plantear y evaluar un conjunto de medidas estructurales y no estructurales que confluyan en mejorar el medio ambiente y la salud de la población expuesta a las inundaciones, contribuyendo a la disminución de la vulnerabilidad de los sectores recurrentemente afectados por las inundaciones provocadas por eventos pluviales.

Desarrollo

Se elaboró un diagnóstico incluyendo diversos sectores temáticos que intervienen en la cuenca, y que son motivos para plantear soluciones que tiendan a mitigar las problemáticas.

Desde el punto de vista poblacional el área bajo estudio es predominantemente urbana, siendo tal aspecto absoluto en relación con los partidos de Florencio Varela, Quilmes y Avellaneda. En el único partido donde se registra población rural es en el de Almirante Brown, con un porcentaje muy limitado respecto de su población total (0,1%) aunque vale destacar que la mayor parte se encuentra incluida dentro de los límites de la cuenca.

En el marco del desarrollo de este Plan se llevó a cabo un análisis de Vulnerabilidad que fue mapeado para luego ser cruzado con el mapa de Peligrosidad (o de Amenaza en este caso de inundaciones) dando como resultado los Mapas de Riesgo Hídrico que permiten establecer prioridades a nivel espacial.

Para el abordaje del diagnóstico socio ambiental se realizó una descripción de línea de base ambiental, desarrollándose los siguientes aspectos temáticos: Climatología; Áreas protegidas y de importancia de conservación; Historial de contaminación: residuos, pasivos, industrias y antecedentes judiciales; Calidad de agua superficial antecedente; Campaña de muestreo y análisis de calidad de agua. En el marco de este estudio se efectuó una campaña de calidad de agua con toma de muestras en 25 puntos, durante el mes de febrero de 2022. Se recabó información de actores institucionales locales, resaltándose la importancia de su experiencia y percepción sobre la problemática y sus necesidades

En cuanto a los aspectos económicos, se llevó a cabo una evaluación de los costos asociados a las inundaciones. Estos costos dependen de dos factores principales. En primer lugar, la extensión total del área afectada y la altura máxima alcanzada por el agua en distintas zonas durante distintas recurrencias. En

segundo lugar, la cantidad de bienes y actividades registradas en las diferentes zonas del área afectada. Dado que se trata de un área urbana, los bienes que presentan mayor riesgo y, por ende, sufren mayores daños, son las viviendas y su contenido.

Para estimar el daño que sufrirían las viviendas, se requiere conocer sus características arquitectónicas y equipamiento. Luego, se debe calcular el monto del daño que la inundación produce al edificio de las viviendas y su equipamiento, proporcional a la altura máxima que alcanza el agua. Una vez obtenido el daño se procedió a determinar la cantidad de viviendas afectadas por las inundaciones, clasificadas por rangos de altura de inundación, y conocer sus características edilicias.

Desde el punto de vista hídrico, la problemática que enfrenta el sistema de los arroyos San Francisco-Las Piedras presenta una serie de aspectos relevantes que exigen la implementación de soluciones. Entre ellos, se destacan los siguientes:

En primer lugar, se encuentra la capacidad de conducción insuficiente en los cursos de los arroyos San Francisco y Las Piedras, la cual es consecuencia de diversos factores, tales como la escasa pendiente de los cursos naturales, la presencia de canales revestidos y entubamientos, la abundante vegetación en las márgenes y el fondo de los cursos, la invasión de infraestructura urbana sobre las márgenes, la obstrucción al escurrimiento generada por puentes muy bajos con acumulación de residuos sólidos, la acumulación de sedimentos y de residuos sólidos en el cauce, la falta de mantenimiento de las secciones revestidas y entubamientos, la influencia de los niveles del Río de la Plata en la descarga y la influencia de la napa freática. También se identifican áreas con mayor afectación por las crecidas, lo cual se deriva de la presencia de numerosas zonas bajas en la cuenca, la falta de sistemas de desagües pluviales en sectores altamente urbanizados, la insuficiencia en la capacidad de bombeo de las estaciones existentes y necesidad de nuevas estaciones, la escasez de áreas verdes disponibles para atenuación de caudales localizados, y la infraestructura hidráulica fuera de servicio y/o vandalizada. Otro aspecto importante es el alto riesgo hídrico incluso ante pequeñas recurrencias, lo cual se debe al incremento de eventos de precipitaciones intensas posiblemente por efecto del cambio climático, la ocupación de márgenes y llanuras de inundación por urbanizaciones precarias e informales, y la insuficiente estructura y logística para contingencias. Asimismo, se destaca la existencia de múltiples tramos de alta vulnerabilidad, lo que se trasunta en una muy deficiente calidad del agua vertida. Finalmente, otro aspecto a considerar, situación típica de muchas cuencas hídricas, es la afectación e intereses contrapuestos entre diversos usuarios del curso de agua, lo que implica la necesidad de una gestión coordinada y equitativa.

En consecuencia, es necesario abordar estos aspectos mediante la implementación de soluciones adecuadas que permitan garantizar una gestión sostenible y equilibrada de los recursos hídricos. Esto implica minimizar el riesgo de inundaciones, preservar la calidad del agua y satisfacer las demandas de los usuarios del curso de agua, de manera coordinada y equitativa.

A partir del diagnóstico de las áreas más afectadas por inundaciones se han propuesto y analizado alternativas de medidas de mitigación estructurales con el fin de evaluar su efectividad tanto a nivel local como a nivel de toda la cuenca.

Las tipologías de obra que se analizaron pueden dividirse en dos grandes grupos en función de su efecto de atenuación hídrica.

El primer grupo está compuesto por grandes obras de infraestructura hidráulica que tienen un efecto de atenuación a escala global o de macrocuenca, lo que significa que su impacto mitigador se extiende más allá de su ubicación geográfica, generando beneficios y un impacto positivo en los sectores y áreas urbanas ubicados aguas abajo de la obra. Entre las obras analizadas se encuentran el área de retención temporaria de excesos hídricos (ARTEH) en la cuenca alta (predominantemente rural) y un túnel aliviador hacia el Río de la Plata.

El segundo grupo de obras está conformado por aquellas que tienen una atenuación a escala local o de microcuenca, las cuales alivian o disminuyen el riesgo de inundación en las zonas aledañas donde se ubican. Entre estas tipologías de obras se incluyen el mejoramiento de cauces, la ampliación de obras de arte, los desagües pluviales urbanos, conductos locales de alivio, los canales de drenaje, pequeñas áreas de retención de excedentes y las estaciones de bombeo.

Se desarrollaron medidas no estructurales que se incluyen en el Plan Integral Hídrico Social y Ambiental de la Cuenca de los Arroyos San Francisco y Las Piedras (PIHSA CSFLP) para complementar las medidas estructurales y reducir el riesgo de inundaciones en la cuenca bajo estudio. En efecto, en poblaciones que habitan territorios expuestos al riesgo hídrico, además de las obras que puedan desarrollarse y contemplando principalmente aquellas que no podrán ser cubiertas por las mismas dada la magnitud del riesgo, se requiere la implementación de medidas no estructurales, entendiendo estas últimas como aquellas medidas en las cuales los perjuicios que pudieran ser ocasionados por inundaciones intentan ser reducidos a través de una mejor convivencia de la población con las crecidas y sus riesgos a través de gestiones, acuerdos, comunicación, etc. Estas medidas incluyen acciones sociales, ambientales, económicas e institucionales, entre otras. Se detallan a continuación algunas de estas medidas, divididas por temáticas: Mejoramiento Institucional; Planificación urbana y uso del suelo; Plan de contingencias; Plan de Comunicación, Participación y Educación Ambiental; Aspectos ecológicos del hábitat de riberas; Mejoramiento sanitario; Gestión de Residuos.

Resultados y conclusiones

Considerando la experiencia previa adquirida en el uso del modelo hidrológico e hidrodinámico SWMM (Serman and Solid, 2018), y teniendo en cuenta antecedentes de su aplicación en la región (Lecertua y otros, 2015; Re y otros, 2019; Ortiz y otros, 2017), se procedió a la implementación y operación del SWMM (Rossman, 2015), el cual incluye casi 28.000 tramos de conducción, y se elaboraron mapas temáticos de manchas de inundación (Peligrosidad), Vulnerabilidad y Riesgo resultantes.

Se ha logrado un adecuado conocimiento de las amenazas y la exposición de las personas y bienes con diferentes grados de vulnerabilidad, el cual sirve como insumo para la generación de escenarios de riesgo, los cuales permitieron definir una serie de medidas estructurales y no estructurales para su evaluación.

A partir de los resultados obtenidos de la modelación numérica se observaron las respuestas de la cuenca a los diferentes escenarios de obras planteados y para las distintas recurrencias.

Si bien las medidas estructurales mitigan parte de las afectaciones actuales que sufre la población de la cuenca, el plan se complementa con aspectos de ordenamiento territorial, alerta temprana, lineamientos de plan de contingencia, gestión de residuos y mejoramiento institucional, con el objetivo de resolver tanto los problemas de excedentes hídricos como los de

calidad de agua, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales, acciones en sintonía con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

A continuación, se presentan a modo de ejemplo los mapas de Riesgo para situación actual y con obras.

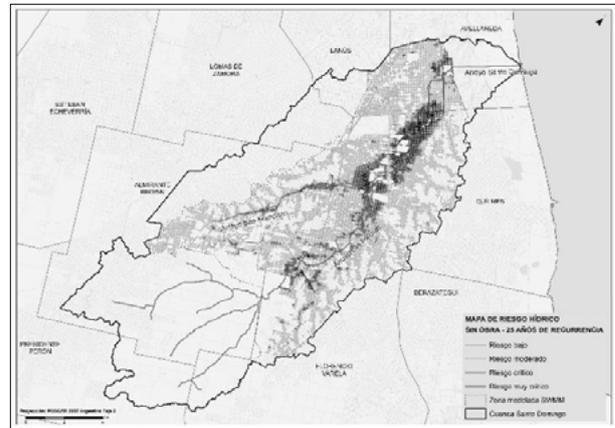


Figura 1.- Mapa de Riesgo Hídrico, Situación actual para un evento de diseño con 25 años de recurrencia.

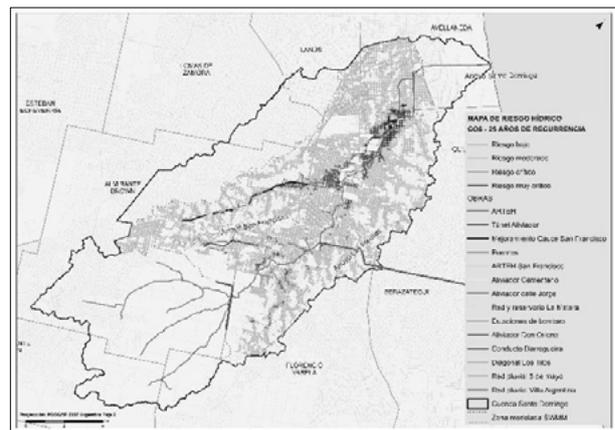


Figura 2.- Mapa de Riesgo Hídrico, Situación con obras para un evento de diseño con 25 años de recurrencia.

Referencias Bibliográficas

Serman & asociados S.A. and Solid consultoría y construcción (2018). Programa multisectorial de preinversión IV –Préstamo BID 2851/OC-AR SP No. 11 - Servicios de consultoría: “I.ee.643 – Plan maestro de drenaje pluvial con proyecto ejecutivo” – Municipalidad de Salta”

Lecertua, E.A., Kazimierski, L.D, Re, M., Badano, N.D, Storto L.G. y A. Menéndez. (2015). “Estudio de Inundaciones Urbanas por Precipitaciones Extremas en la Cuenca Sarandí – Santo Domingo”. XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Argentina.

Re, M., Kazimierski, L. D., and Badano, N. D. (2019). High-resolution urban flood model for risk mitigation validated with records collected by the affected community. *Journal of Flood Risk Management*, 12(S2):e12524.

Ortiz, N., Re, M., Kazimierski, L.D., Garcia, P.E. (2017), Caracterización de población afectada por diferentes tipos de inundaciones en una cuenca urbana, XXVI Congreso Nacional del Agua - CONAGUA 2017, Córdoba, Argentina.

Rossman, L. A. (2015). Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA

ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES EN SERIES PLUVIOMÉTRICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO. CÓRDOBA-ARGENTINA

Pierina A. Faustinielli¹, Giuliana Elcano², Ana I. Heredia L.^{1,2}, Andrea F. Rico², y M. Elisa Vijarra^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

²Instituto Nacional de Agua. Subgerencia Centro de la Región Semiárida. Córdoba, Argentina.

pierifaustinielli@mi.unc.edu.ar – giuliana.elcano@gmail.com – ana.heredia@unc.edu.ar – arico@ina.gov.ar – elisa.vijarra@gmail.com

Introducción

Los recursos hídricos son indispensables para el desarrollo sostenible de la vida. Es por ello que resulta importante conocer de manera precisa el estado y la dinámica de estos tanto en cantidad como en calidad. En el caso de no contar con mediciones sistemáticas de caudales, resulta importante caracterizar el comportamiento de la lluvia, una de las principales variables del ciclo hidrológico. Una forma de lograrlo es a través de mediciones sostenidas en el tiempo y distribuidas en el espacio, que permitan obtener series de datos pluviométricos confiables.

Cuando no es posible obtener registros completos, la estimación de datos faltantes se convierte en una herramienta necesaria para disponer de series completas. En este trabajo se presenta la aplicación de diferentes métodos de relleno de datos de precipitación (regresión lineal, de la razón normal y cuadrado del inverso de la distancia) para completar los datos faltantes en las series pluviométricas de la cuenca del río San Antonio, en la provincia de Córdoba.

Área de estudio

La cuenca del río San Antonio (de aproximadamente 500 km²), se ubica sobre el faldeo oriental de las Sierras Grandes, en la provincia de Córdoba, Argentina. Desde hace tres décadas el INA-CIRSA opera una red telemétrica con estaciones remotas automáticas de mediciones hidrológicas e hidrometeorológicas en esta cuenca serrana. Cuenta con 12 pluviómetros de alta frecuencia, distribuidos en la cuenca alta, media y baja, que permiten disponer de datos hidrometeorológicos a tiempo real (Figura 1).

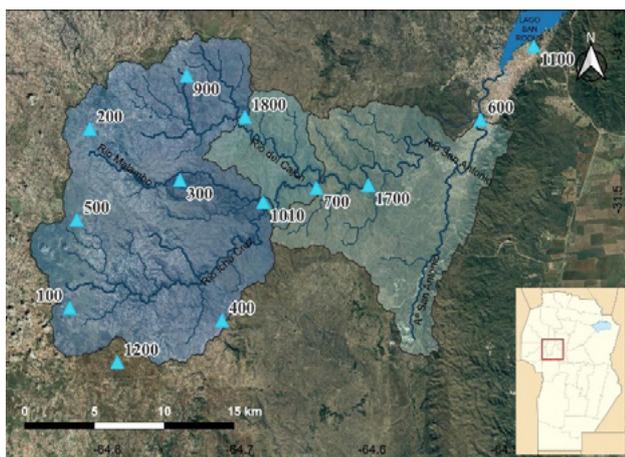


Figura 1.- Cuenca del río San Antonio, sus ríos principales y estaciones pluviométricas

Metodología

Considerando que este trabajo se enmarca en la actualización de la base de datos pluviométrica de la cuenca del río San Antonio (Colladón, 2014; Colladón, 2018), se realizó el análisis de las series de precipitación mensual para el periodo 2017-2022.

Para este período se identificaron aquellas estaciones de la red telemétrica de la cuenca del río San Antonio con datos faltantes de precipitación mensual. Luego se procedió a rellenarlas con los siguientes métodos:

- **Regresión lineal (RL):** se establece una relación lineal entre la serie de precipitación mensual de una estación base (a) que contenga los datos faltantes de la estación de estudio (x) (Gómez Guerrero et al., 2019).

$$P_x = c_1 P_a + c_2 \quad [1]$$

donde c_1 y c_2 son constantes.

- **Razón normal (RN):** se calcula la precipitación como una ponderación de la precipitación media mensual en un cierto número de estaciones auxiliares (Gómez Guerrero et al., 2019).

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \dots + \frac{N_x}{N_n} P_n \right] \quad [2]$$

donde $N_x, N_a, N_b, \dots, N_n$ es la precipitación media mensual de la estación faltante (x) y las estaciones auxiliares a, b, ..., n; y P_a, P_b, \dots, P_n es la precipitación registrada en las estaciones auxiliares del mes donde falta el dato en la estación x.

- **Cuadrado del inverso de la distancia (IDW):** los datos faltantes se estiman a partir de estaciones cercanas, utilizando como ponderador la distancia (D_i) comprendida entre la estación con datos faltantes (x) y las estaciones auxiliares (i).

$$P_x = \frac{\sum (P_i W_i)}{\sum W_i} \quad [3]$$

$$W_i = \frac{1}{D_i^2} \quad [4]$$

Para evaluar las series obtenidas con los diferentes métodos se calcularon los siguientes estimadores de errores: sesgo relativo (SE), raíz del error cuadrático medio (RMSE), coeficiente de correlación, coeficiente de eficiencia (CE) y coeficiente de determinación (R^2). Por último, se calculó la precipitación media de la cuenca con la serie completa 1992-2022.

Resultados

Las estaciones que presentaron datos faltantes en el periodo 2017-2022 fueron: 200 Puesto Pereyra; 900 Puesto Garay y 1200 El Cóndor. En la tabla 1 se muestran los porcentajes correspondientes.

Tabla 2.- Porcentaje de datos faltantes período 2017-2022

Estación	Pto. Pereyra 200	Pto. Garay 900	El Cóndor 1200
% Datos faltantes	21,7%	1,7%	8,3%

Estas tres estaciones fueron rellenadas con los métodos mencionadas anteriormente. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se presenta el gráfico de precipitación mensual registrada por la estación 200 Puesto Pereyra, y la estimada con el método de RN para el periodo 2017-2022. Se obtuvieron gráficos similares para cada uno de los métodos y estaciones.

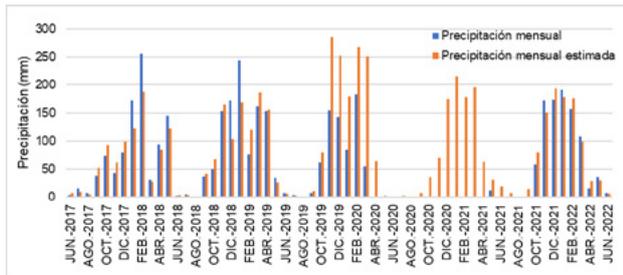


Figura 2.- Precipitación mensual de la estación 200. Periodo 2017-2022.

Se comparó el rendimiento de los métodos de relleno de datos pluviométricos y la bondad de ajuste de las estimaciones obtenidas. En la tabla 2, tabla 3 y tabla 4 se presentan los resultados de los estimadores de error para las estaciones 200 Puesto Pereyra, 900 Puesto Garay y 1200 El Cónдор, respectivamente.

Tabla 2.- Resultado de estimadores de error para la estación 200

Método	SE	CC	RMSE	CE	R ²
RL	0.57	0.89	0.44	0.78	0.78
RN	-0.03	0.93	0.35	0.86	0.86
IDW	-8.16	0.93	0.39	0.85	0.86

Tabla 3.- Resultado de estimadores de error para la estación 900

Método	SE	CC	RMSE	CE	R ²
RL	0,01	0,92	29,33	0,37	0,85
RN	49,88	0,93	61,46	0,52	0,34
IDW	-1,22	1	4,76	0,06	1

Tabla 4.- Resultado de estimadores de error para la estación 1200

Método	SE	CC	RMSE	CE	R ²
RL	55,87	0,94	26,38	0,35	0,88
RN	55,87	0,97	62,7	0,82	0,3
IDW	-1,51	0,97	18,21	0,24	0,94

Si bien los métodos RN y IDW ofrecen buenos ajustes (RN con valores de CC = 0,93 a 0,97, CE = 0,30 a 0,34 y R² = 0,86 a 0,94; e IWD con CC = 0,93 a 0,97, CE = 0,85 a 0,94 y R² = 0,86 a 0,94), se decidió rellenar las series con el método de la Razón Normal dado que los métodos basados en las distancias no tienen en cuenta la geomorfología del lugar.

Con las series rellenadas con el método RN se calculó la precipitación media de la cuenca por medio del método de polígonos de Thiessen para el periodo 1992-2022, discriminando entre cuenca alta, media y baja. En la Figura 3 se muestra la distribución mensual de la precipitación según el año hidrológico, y en la Figura 4 la precipitación media anual de la cuenca. Se puede observar claramente que durante la estación húmeda la lluvia es mayor en las cuenca alta y media.

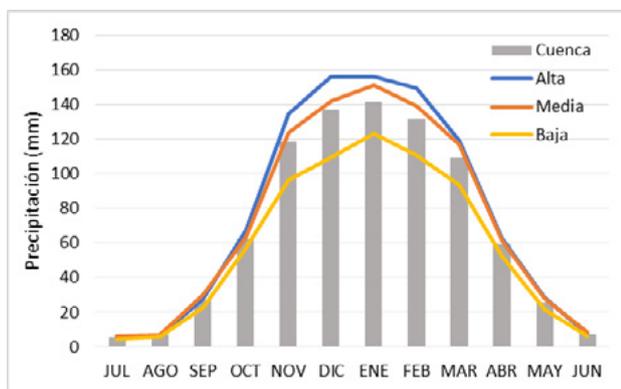


Figura 3.- Precipitación media mensual de la cuenca del río San Antonio. Periodo 1992-2022.

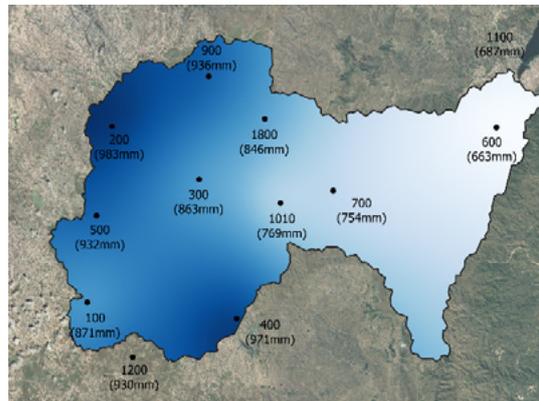


Figura 4.- Precipitación media anual de la cuenca del río San Antonio. Periodo 1992-2022.

Por último, en la Figura 5 se muestra la serie de precipitación anual de la cuenca, la cual permite distinguir periodos húmedos y secos. Se destaca un déficit de precipitación entre los años 2002 y 2013, y una sequía importante durante 2017. También se puede ver el periodo de grandes tormentas y crecidas de 2014-2016. Desde 2020 se presenta un periodo descendente de precipitaciones.

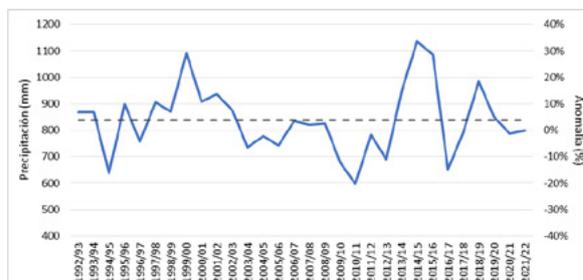


Figura 5.- Precipitación anual de la cuenca del río San Antonio. Periodo 1992-2022.

Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se aplicaron y evaluaron diferentes métodos de relleno para datos de precipitación mensual, obteniendo mejores resultados en la cuenca de estudio con el método de la Razón Normal (con dos estaciones), conforme a lo reportado en la bibliografía.

Se extendieron 5 años la serie precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río San Antonio. De esta manera se logró obtener series de 30 años de precipitaciones, lo que permite identificar y caracterizar ciclos secos y húmedos en una cuenca de gran interés regional.

Finalmente se destaca la importancia de la evaluación de los métodos de relleno de series, ya sean pluviométricas o de caudal, ya que esta información es el dato de entrada principal de modelos hidrológicos, y la calidad de los resultados dependerá fuertemente de los datos utilizados.

Referencias Bibliográficas

- Colladón, L.** (2014). Anuario pluviométrico 1992/93 - 2011/12 Cuenca del Río San Antonio. Sistema del Río Suquia - Provincia de Córdoba. *INA-CIRSA. Villa Carlos Paz, Argentina.*
- Colladón, L.** (2018). Síntesis Pluviométrica 1992/93 – 2016/17 Cuenca del Río San Antonio. Sistema del Río Suquia - Provincia de Córdoba. *INA-CIRSA. Villa Carlos Paz, Argentina.*
- Gómez Guerrero, J. S., & Aguayo Arias, M. I.** (2019). "Evaluación de desempeño de métodos de relleno de datos pluviométricos en dos zonas morfoestructurales del Centro Sur de Chile." *Investigaciones geográficas.*

EVALUACIÓN DE DATOS GRILLADOS PARA EL ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE PRECIPITACIONES EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Fernández Menéndez, Gonzalo Ezequiel y Fernández, Hugo William

Instituto de Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Argentina
gonzafer@unsj.edu.ar, hfema@unsj.edu.ar

Resumen

Este trabajo constituye parte de un proyecto de investigación donde se identificarán y caracterizarán la ocurrencia de probables eventos sequías meteorológicas, bajo distintos escenarios de cambio climático a futuro, en la provincia de San Juan.

El objetivo es obtener una base de datos grillada de precipitación, con una extensión temporal tal que permita utilizarla como información de base para el estudio referido. Para ello, se evaluó la correlación entre la grilla de precipitación elaborada por la Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), con datos históricos observados en estaciones meteorológicas distribuidas en la provincia de San Juan.

Los resultados obtenidos permiten concluir que es factible utilizar la información de precipitación grillada como información de base, a fines de realizar la identificación y caracterización de probables eventos de sequías meteorológicas futuros, bajo distintos escenarios de cambio climático.

Introducción

La creciente popularidad de los datos grillados reposa, fundamentalmente, en su gran potencial para resolver dos problemas frecuentes en investigaciones hidrológicas y climatológicas: la indisponibilidad de datos históricos y la baja calidad de las series históricas disponibles (Shelton, 2009).

La Physical Sciences Division (PSD) del Earth System Research Laboratory (ERSL) de NOAA provee una amplia gama de datos climáticos, a diferentes escalas, a lo largo de varias décadas, y para distintos puntos del globo. En todos los casos, se trata de datos grillados, interpolados a distinta resolución espacial, a partir de estaciones meteorológicas e información satelital (Casado y Picone, 2018).

Área de Estudio

La provincia de San Juan (Figura 1) se encuentra ubicada en la región centro-oeste de Argentina, en la parte occidental del país, siendo atravesada por la Cordillera de los Andes en su sector occidental, lo que le brinda un relieve montañoso imponente. Hacia el este, la topografía se va suavizando hasta llegar a las llanuras y valles fértiles, donde se concentra la actividad agrícola.

San Juan se caracteriza por tener un clima árido y continental. Las precipitaciones son escasas y se concentran, principalmente, en las zonas montañosas, mientras que las áreas más bajas y alejadas de las montañas son sumamente secas.

En los valles y oasis se han desarrollado áreas de riego donde se cultivan viñedos, olivos y árboles frutales, gracias a la disponibilidad de agua proveniente de los ríos de deshielo de los Andes.

Materiales

La serie de datos grillados de precipitación utilizada corresponde al Global Precipitation Climatology Centre (GPCC V2022) (Schneider et al., 2022), las cuales son provistas gratuitamente por el ERSL de NOAA.

Las series contienen datos mensuales de precipitación a lo largo del periodo 1891-2020, con resolución espacial de 0,50° x 0,50° de latitud/longitud, y en formato netCDF (*.nc).

Paralelamente, se obtuvieron series de precipitación mensual, provistas por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan, registrada en 43 estaciones meteorológicas, distribuidas en la provincia de San Juan (Tabla 1), en el periodo comprendido entre 1962-2009.

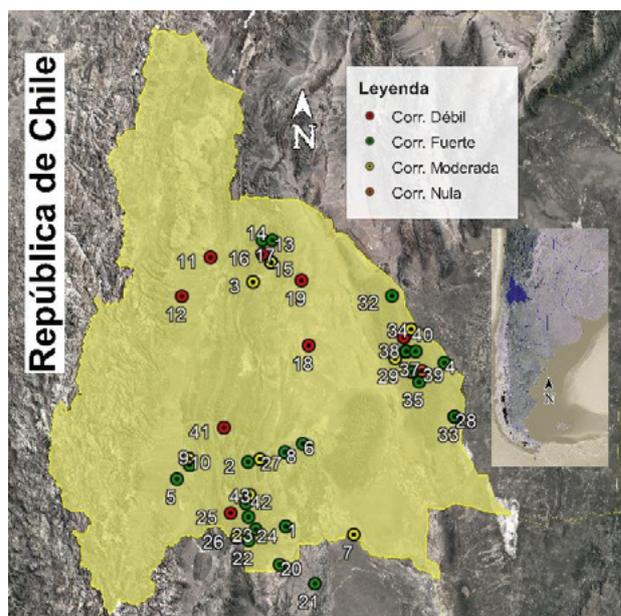


Figura 1.- Provincia de San Juan (Fuente: Elaboración propia).

Método Inverse Distance Weighting

La interpolación espacial de la precipitación, entre datos grillados y observados, se realizó asignando pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa, método conocido como Inverse Distance Weighting (IDW) (Álvarez, 2018).

Por medio del método IDW se estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos muestreados en la proximidad determinada de cada celda de procesamiento. Este método supone que, con el aumento de la distancia, el valor de la variable entre dos puntos implica menor similitud, siempre y cuando la variable sea continua en el espacio, ello justifica el uso de factores de ponderación dependiente de una función inversa de la distancia (Aragón et al., 2019), expresado como:

$$v^*_i = \frac{\sum_{i=1}^n v_i / d_i^p}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^p} \quad [1]$$

Donde:

- v^*_i : Valor por estimar para el punto j .
- n : Número de puntos usados en la interpolación.
- v_i : Valor en el punto i .
- d^p : Distancia de los n puntos de datos, elevados a la potencia p , para cada punto i .

Para el presente trabajo, se optó por cuatro (n = 4) vecinos cercanos, mientras que, para el caso de la potencia de la IDW, se seleccionó el valor unitario (p = 1).

Tabla 1.- Estaciones meteorológicas de registro utilizadas en el análisis

Nº	Estación	Latitud		Nº	Estación	Latitud	
		Latitud	Longitud			Latitud	Longitud
1	Pedralnal	-32° 0' 0"	-68° 46' 12"	23	Bachongo	-31° 56' -12"	-68° 53' -12"
2	Km 47,3	-31° 32' -12"	-68° 53' -12"	24	Durazno	-32° 1' 12"	-68° 49' 12"
3	Jáchal	-30° 14' -12"	-68° 53' -12"	25	Sombremos	-31° 54' 0"	-69° 2' -12"
4	El Polear	-30° 49' -24"	-67° 14' 24"	26	Nikes	-32° 5' -12"	-68° 59' -12"
5	Barreal	-31° 39' 0"	-69° 29' -12"	27	La Toma	-31° 31' -24"	-68° 47' -12"
6	Aeropuerto	-31° 34' 12"	-68° 25' 12"	28	La Cuyana	-31° 12' 0"	-67° 9' 0"
7	Camarico	-32° 4' -24"	-67° 59' 24"	29	Rinconada	-30° 53' -12"	-67° 31' -24"
8	Comp. Alb.	-31° 28' -24"	-68° 34' 12"	30	Las Juntas	-30° 44' -12"	-67° 34' -24"
9	Sorocay.	-31° 33' 0"	-69° 22' 12"	31	Los Bretes	-30° 44' -12"	-67° 34' -24"
10	Tamberías	-31° 30' 0"	-69° 23' -12"	32	B. del Ros.	-30° 20' -12"	-67° 41' -12"
11	Angualasto	-30° 3' 0"	-69° 11' -12"	33	Chucuma	-31° 12' 0"	-67° 9' 0"
12	J. de las A.	-30° 20' -12"	-69° 25' 12"	34	C. Grande	-30° 38' -12"	-67° 35' -12"
13	Casas V.	-29° 56' -12"	-68° 40' 12"	35	Cieneguito	-30° 57' 0"	-67° 27' 0"
14	C. Panacán	-29° 56' -12"	-68° 45' 0"	36	La Puntilla	-30° 38' -12"	-67° 35' -12"
15	Entre Ríos	-30° 5' 24"	-68° 41' -12"	37	Majaditas	-30° 44' -12"	-67° 29' -12"
16	H. Huachi	-30° 2' -12"	-68° 45' 0"	38	Chávez	-30° 47' -12"	-67° 39' 0"
17	La Ciénaga	-30° 5' 24"	-68° 41' -12"	39	Elizondo	-30° 52' 12"	-67° 26' -12"
18	Mogna	-30° 41' 24"	-68° 22' 12"	40	Usno	-30° 34' 12"	-67° 31' 12"
19	Punta del A.	-30° 13' 12"	-68° 26' -12"	41	Pachaco	-31° 17' -12"	-69° 5' -12"
20	C. Pocito	-32° 17' -12"	-68° 37' 12"	42	Córdoba	-31° 46' 12"	-68° 52' 12"
21	C. Caucete	-32° 25' 12"	-68° 19' 12"	43	Molle	-31° 50' -12"	-68° 54' 0"
22	Acequión	-32° 6' 0"	-68° 53' -12"				

Método de Análisis

En primer lugar, se definió la zona comprendida entre los 28,25° S y 32,75° S de latitud y los 66,75° O y 70,25° O de longitud, y el periodo temporal de 50 años, entre 1961 y 2010, generando una muestra de 600 datos de precipitación mensual para 54 puntos ubicados en la provincia de San Juan.

De la base de datos, se extrajeron series de precipitación mensual para las estaciones de control y la precipitación media mensual y acumulada anual para punto de la grilla sintética, utilizando estos registros como base para el análisis estadístico de las series.

La segunda etapa consistió en la determinación del grado de ajuste de las series grilladas respecto a las series registradas en las estaciones de control, mediante la prueba de correlación de Pearson (Pearson, 1968).

El coeficiente de correlación mide la fuerza de la relación lineal entre dos series de datos, mediante los valores umbrales -1 a +1, siendo más fuerte la relación lineal mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, y se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad [2]$$

Donde:

- σ_{xy} : Covarianza de (X,Y).
- σ_x : Desviación estándar de la variable X.
- σ_y : Desviación estándar de la variable Y.

La interpretación cualitativa del coeficiente de correlación de Pearson, se adoptó la siguiente clasificación (Tabla 2) (Cohen, 1988).

Resultados obtenidos.

Las estaciones, con valores fuertes y moderados de correlación, se ubican en el centro sur y centro este de la provincia, con excepción de la estación Elizondo, la cual tiene un coeficiente de correlación de 0,04 (correlación nula), mientras que las estaciones ubicadas en el norte de la provincia de San Juan presentan coeficientes de correlaciones moderados y débiles (Tabla 3).

Conclusiones

Los datos grillados del GPCC demostraron un buen ajuste con las

series registradas en distintas estaciones meteorológicas de la provincia de San Juan en el periodo 1962-2009, mientras que, para periodos anteriores, no hay disponibilidad de datos observados, a fines de poder constatar el ajuste.

Tabla 2.- Magnitud del coeficiente de Pearson (Cohen, 1988)

Valor de r	Interpretación
$0.00 \leq r < 0.10$	Correlación nula.
$0.10 \leq r < 0.30$	Correlación débil.
$0.30 \leq r < 0.50$	Correlación moderada.
$0.50 \leq r < 1.00$	Correlación fuerte

Tabla 3.- Valores de coeficiente de Pearson para estaciones meteorológicas de San Juan

Nº	Estación	r	Nº	Estación	r	Nº	Estación	r
1	Pedralnal	0.50	16	H. Huachi	0.24	31	Los Bretes	0.52
2	Km 47,3	0.54	17	La Ciénaga	0.52	32	B. del Ros.	0.65
3	Jáchal	0.47	18	Mogna	0.20	33	Chucuma	0.54
4	El Polear	0.79	19	Punta del A	0.13	34	C. Grande	0.26
5	Barreal	0.66	20	C. Pocito	0.81	35	Cieneguito	0.53
6	Aeropuerto	0.75	21	C. Caucete	0.50	36	La Puntilla	0.31
7	Camarico	0.38	22	Acequión	0.69	37	Majaditas	0.56
8	Comp. Alb.	0.64	23	Bachongo	0.72	38	Chávez	0.39
9	Sorocay.	0.69	24	Durazno	0.50	39	Elizondo	0.04
10	Tamberías	0.30	25	Sombremos	0.18	40	Usno	0.40
11	Angualasto	0.20	26	Nikes	0.47	41	Pachaco	0.25
12	J. de las A.	0.15	27	La Toma	0.33	42	Córdoba	0.45
13	Casas V.	0.62	28	La Cuyana	0.51	43	Molle	0.55
14	C. Panacán	0.50	29	Rinconada	0.67			
15	Entre Ríos	0.32	30	Las Juntas	0.47			

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J. (2018). *Análisis de la disponibilidad de agua superficial ante distintos escenarios de oferta y demanda en la Cuenca del Rio San Antonio, Provincia de Córdoba*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Aragón, J.; Aguilar, G.; Velázquez, U; Jiménez, M. y Maya, A. (2019). *Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación*. Ingeniería, investigación y tecnología. 20(2).
- Casado, A. y Picone, N. (2018). *Aplicabilidad de los datos grillados para el análisis espaciotemporal de las precipitaciones, provincial de Buenos Aires (Argentina)*. Párrafos Geográficos. 17(1). 46-62.
- Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates. 567 p.
- Díaz, E. (2016). *Sequías Hidrológicas en la República Argentina y su relación con Variables Macroclimáticas*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Pearson, K. (1984). "Contributions to the Mathematical Theory of Evolution". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. A, 185, 71-110.
- Schneider, U.; Hänsel, S.; Finger, P.; Rustemeier, E. y Ziese, M. (2022). "GPCC Full Data Monthly Product Version 2022 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historical Data". DOI: 10.5676/DWD_GPCC/CLIM_M_V2022_050.
- Shelton, M. (2009). *Hydroclimatology: perspectives and applications*. Cambridge University Press.

ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD ENTRE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA DEL ARROYO DEL AZUL

Fornés M.^{1,2}, Dietrich S.^{1,2}, Marcovecchio R.^{1,2}, Zabala M.E.^{1,2}, Gregorini C.A.^{1,2}, Golin A.^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA C1425FQB, Buenos Aires, Argentina

² Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina, +542281432666
fornes.magali@ihlla.org.ar; sebadietrich@ihlla.org.ar; rmarcovecchio@ihlla.org.ar; mzabala@ihlla.org.ar; cgregorini@ihlla.org.ar; agolin@ihlla.org.ar

Introducción

La conectividad hidrológica es la transferencia de materia, energía y organismos entre los elementos del ciclo hidrológico (Freeman et al., 2007). El análisis de la conectividad es esencial para conservar el equilibrio ecológico del sistema (Sophocleous, 2002). Su comprensión y cuantificación son necesarias para alcanzar un uso responsable y eficiente de los recursos hídricos de una cuenca, en un contexto con distintos grados de explotación y antropización (LaBaugh and Rosenberry, 2008). En el presente trabajo se utilizó el enfoque de la conectividad para estudiar la interacción entre el agua superficial y subterránea en un sector de la cuenca del arroyo del Azul, en el centro de la provincia de Buenos Aires.

La cuenca abarca una superficie aproximada de 6.237 km² y en ella se reconocen diferentes características geomorfológicas que permiten dividirla en tres sectores según el relieve (Varni, 2013): cuenca alta (serranías), cuenca media (piedemonte), y cuenca baja (llanura). A escala local, se analizó un sector ubicado en cuenca alta dentro de un campo denominado La Firmeza (Figura 1).

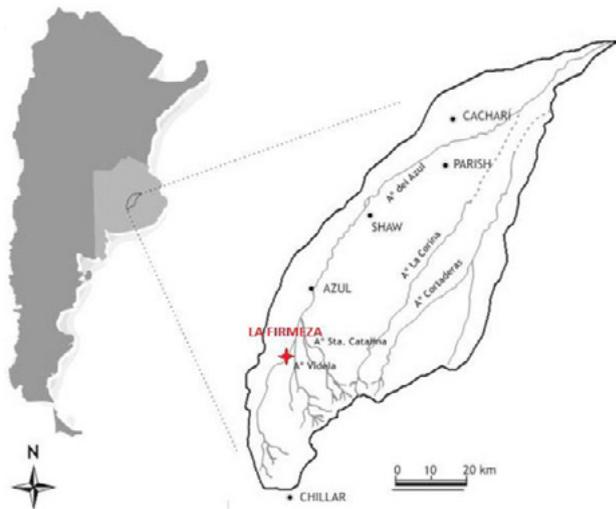


Figura 1.- Ubicación de La Firmeza dentro de la cuenca del arroyo del Azul (modificado de Zabala, 2013).

El área se caracteriza por suaves ondulaciones en el terreno, con pendientes entre 0.5 y 0.8%, y niveles freáticos que oscilan entre 1 y 2 m de profundidad en promedio. El clima de la región es, según la clasificación de Thornthwaite, subhúmedo-húmedo, mesotermal, prácticamente sin déficit hídrico con un promedio de precipitación media anual de 914.2 mm (1901-2022, SMN).

Materiales y métodos

El análisis se realizó a partir del registro continuo de la altura del arroyo y de los niveles freáticos medidos en tres pozos situados sobre una transecta de 60 m de longitud (Figura 2),

ubicada perpendicularmente al curso. El estudio abarca un período desde el 01/08/2022 al 01/04/2023.

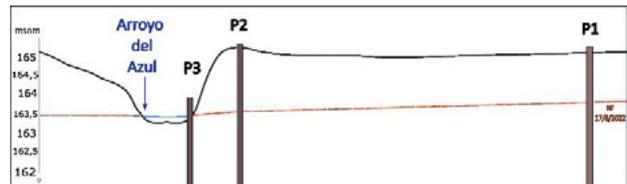


Figura 2.- Ubicación de pozos freáticos formando una transecta perpendicular al arroyo del Azul. Nivel freático (rojo) para el 17/08/2022.

Los primeros dos pozos, P1 y P2 están situados en la llanura de inundación del arroyo, con una distancia de 50 m entre ellos. El tercero (P3) se encuentra dentro del cauce del arroyo.

Cada uno de los pozos mencionados contiene un sensor de pozos (Diver) que registra de forma continua la temperatura y la presión del agua en intervalos de una hora.

En forma adyacente se encuentra una estación telemétrica perteneciente a la red del sistema de alerta temprana de inundaciones de la ciudad de Azul, a partir de la cual se obtuvieron datos horarios de presión atmosférica, precipitación acumulada y altura del arroyo dentro de una cámara de quietamiento. Con esta información fue posible realizar la compensación barométrica de los datos de presión medidos en los pozos. Durante las salidas al campo, la altura del arroyo se registró a partir de la observación de la regleta instalada en el cauce del mismo, para corroborar las lecturas del sensor. Todas las mediciones se nivelaron a un punto de referencia del cual se conoce su altura absoluta.

Resultados

En la Figura 3 se presenta un gráfico de evolución temporal que integra los datos de niveles freáticos (correspondientes a P1, P2, y P3), alturas del arroyo y precipitación acumulada. A partir de la interpretación de este gráfico se pudo definir el sentido del flujo entre el acuífero y el arroyo, y su variación en función del tiempo.

La precipitación acumulada para el período entre 01/08/2022 al 01/04/2023 es de 557 mm, siendo la mínima diaria registrada de 0.2 mm y la máxima de 50 mm. Los valores diarios máximos ocurren en otoño.

Tanto el nivel freático como la altura del arroyo responden de forma inmediata frente a eventos pluviométricos significativos (precipitación acumulada diaria mayor a 15 mm), los cuales son más frecuentes en primavera.

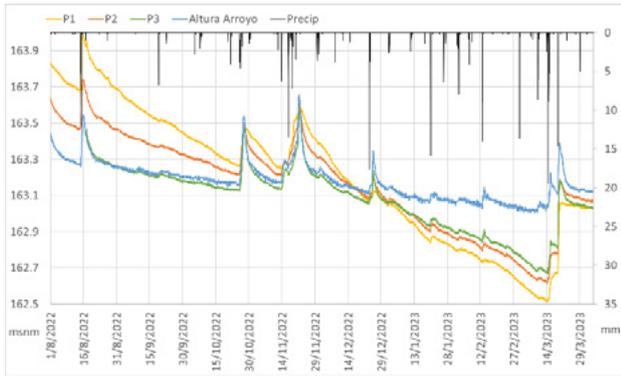


Figura 3.- Gráfico de evolución temporal de los niveles freáticos medidos en los pozos y la altura del arroyo, respecto a las precipitaciones.

En la Tabla 1 se presentan las diferencias máximas y mínimas que alcanzaron los valores de los niveles freáticos de cada pozo, respecto a la altura del arroyo del Azul, durante el período estudiado. En los pozos, los niveles alcanzan un máximo de altura, y diferencia máxima respecto al arroyo en el mes de agosto. El mínimo, en cambio, se registró durante el mes de marzo, muy por debajo del nivel del arroyo.

Tabla 1.-Diferencia máxima y mínima de los niveles de los pozos respecto a la altura del Arroyo del Azul.

	P1-A	P2-A	P3-A
Diferencia Máxima	0.544	0.262	0.050
Diferencia Mínima	-0.612	-0.473	-0.389

La variación a lo largo del tiempo de los niveles freáticos de los pozos, en comparación a la altura del arroyo, se puede observar en la Figura 4. Las máximas diferencias con el Arroyo se registran siempre en P1.



Figura 4.- Variación de la diferencia entre los niveles freáticos en los pozos y la altura del Arroyo del Azul.

Durante las estaciones de invierno y primavera, el arroyo se comporta como efluente o ganador ya que recibe agua del acuífero, con una diferencia máxima entre niveles de 54 cm (Tabla 1). Aunque durante el invierno se observa un descenso progresivo de los niveles, esta dinámica se mantiene.

La dinámica de flujo se invierte en verano, cuando se observa un marcado descenso de los niveles en los pozos y una diferencia negativa respecto al arroyo (Figura 4). Esto provocó que el arroyo se convierta en influente o perdedor.

Las lluvias registradas para este período no fueron suficientes para recargar el acuífero debido a la intensa evapotranspiración y las numerosas olas de calor que afectaron la zona. El valor de precipitación acumulada durante los últimos doce meses fue un 20% menor al año anterior y un 5% por debajo del promedio histórico (1901-2022, SMN).

Los niveles se recuperaron considerablemente a partir del mes de marzo, aunque la interacción acuífero-arroyo aún mantiene la misma dinámica, pero con una diferencia mínima entre los niveles (Figura 4).

Conclusiones

Del análisis de los niveles freáticos con las precipitaciones, durante el período agosto 2022-marzo 2023, se observa que los niveles tanto del acuífero como del arroyo aumentan en respuesta a eventos de lluvia significativos. Durante invierno y primavera, el acuífero freático descarga al curso de agua superficial, junto con las precipitaciones. Sin embargo, durante el verano, los niveles de agua descienden a tal punto que ésta dinámica se invierte, produciéndose un flujo de agua desde el curso superficial hacia el acuífero.

Este estudio ha demostrado que la condición de ríos ganadores que se determina frecuentemente en los ambientes de llanura no es permanente a lo largo del tiempo.

La variabilidad temporal en la conectividad entre el acuífero y el curso de agua superficial responde a diferentes variables hidrológicas, la magnitud y ocurrencia de las precipitaciones, la temperatura, y las características geomorfológicas de la zona.

Agradecimiento

El trabajo fue realizado en el marco del Proyecto UE N°22920200100035CO, financiado por el CONICET, cuyo objetivo es el análisis multidimensional de la conectividad en los ambientes de llanura bajo un contexto de cambio global.

Se agradece especialmente a la Mag. Georgina Cazenave, responsable de red de alerta temprana de inundaciones de la ciudad de Azul, por el aporte de la información meteorológica sin la cual no sería posible este análisis.

Referencias

- Freeman, M.C., Pringle, C.M., Jackson, R.C. , (2007).** “Hydraulic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales”. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 43, No. 1, February 2007, pp. 5–14.
- LaBaugh, J.W., Rosenberry, D.O. , (2008).** *Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water*: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4-D2, 128 p.
- Sophocleous, M. , (2002).** “Interactions between groundwater and surface water: the state of the science”. *Hydrogeology Journal*, Vol. 10, No. 1, February 2002, pp. 52–67. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>.
- Varni, M., y Custodio, E., (2013).** “Estimación de la recarga al acuífero del Azul: 1. Análisis de las características climáticas”. *VIII Congreso Hidrogeológico Argentino y VI Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea*. La Plata, Buenos Aires, Argentina. <https://doi.org/10.13140/2.1.4000.2560>.
- Zabala, M.E., (2013).** “El origen de la composición química del acuífero freático en la cuenca del arroyo del Azul”. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, p.490 (Unpublished).

CAUDALES ECOLÓGICOS Y GESTIÓN – DIFERENCIAS ENTRE METODOLOGÍAS – APLICACIÓN AL RÍO LAS JUNTAS

Funes, María Fernanda; Reyna, Teresa; Lábaque María; Fulginiti, Fabián y Reyna, Santiago

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

E-mail: funes95@gmail.com, teresa.reyna@unc.edu.ar, mlabaque@gmail.com, fabianfulginiti@unc.edu.ar, santiago.reyna@gmail.com

Introducción

Los servicios ecosistémicos son aquellos que la naturaleza provee a los seres vivos y al planeta y garantizan la vida. Los mismos pueden ser recibidos en forma de valores, bienes o de servicio.

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) los ríos, son el motor del medio ambiente. Este cambio de paradigma del agua como servicio ambiental implica una mirada sistémica del agua dulce.

El agua dulce y su necesidad como elemento vital para los ecosistemas es uno de los focos del desarrollo sostenible. Los objetivos 15 (Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad), y 6 (Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos) son imprescindible de considerar cuando se plantea un aprovechamiento hídrico de los cursos de agua (ONU, 2015).

Los ríos conforman complejos ecosistemas y nos proporcionan servicios y beneficios. Es importante el cuidado de este para un desarrollo sostenible. Constituyen una pequeña fracción del agua dulce en el planeta, sin embargo, desempeñan un papel importante en sustentar la vida en la Tierra y el desarrollo humano. Los beneficios que nos provee un río pueden ser recibidos en forma de valores (servicio cultural), bienes (servicio de aprovisionamiento) o de servicio (servicio de regulación y servicios de soporte).

El agua es un recurso limitado e insustituible que es clave para el bienestar humano y solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado. El agua puede suponer un serio desafío para el desarrollo sostenible, pero, gestionada de manera eficiente y equitativa, el agua puede jugar un papel facilitador clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales, económicos y ambientales a la luz de unos cambios rápidos e imprevisibles.

En este contexto se avanzó con el trabajo de definición de caudales para la provincia de Catamarca (Reyna y otros, 2022) considerando la necesidad de caudales consensuados que permitan el desarrollo local preservando los servicios ambientales.

Ubicación

La situación de escasez de agua en vastas regiones de nuestro país y el crecimiento de la población exigen soluciones hídricas para garantizar el uso del agua. El planteo de diferentes obras debe considerar las diferentes necesidades para permitir el crecimiento sin hipotecar nuestro futuro. En Catamarca el problema de agua ha sido acuciante, los recursos hídricos son limitantes de la expansión poblacional y productiva. Una de las principales cuencas en esta provincia es la del río Del Valle que concentra poblaciones y actividad agrícola e industrial a lo largo de su recorrido. Frente a esta situación se buscó determinar el caudal ecológico del río Las Juntas y en función de ello definir herramientas de gestión que permitan establecer usos del recurso que sean sustentables priorizando por una parte las necesidades de agua potable y por otra proteger la biodiversidad de esta zona.

La zona de análisis se ubica muy próximo aguas abajo de Las Juntas. Las Juntas es una villa turística situada en el Departamento Ambato. Cuenta con alrededor de 900 habitantes residentes, pero en temporada estival el número asciende

considerablemente debido a la actividad turística. El nombre Las Juntas proviene del hecho de que en esta localidad se encuentra la confluencia de tres ríos importantes: el Río Las Juntas, el Río Las Salvias y el Río Las Trancas. (Figura 1).

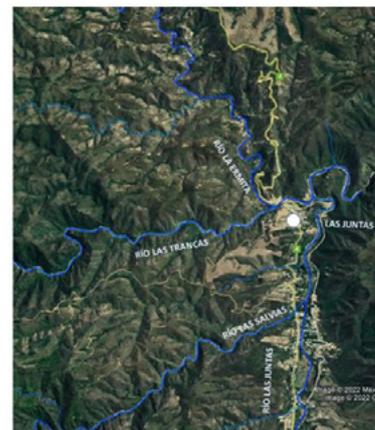


Figura 1.- Ubicación

Hidrología

La cuenca del Río Las Juntas se desarrolla en el valle de Catamarca y forma parte de la cuenca alta del Río del Valle que, junto con el río Tala son las principales fuentes de agua, para las actividades que se desarrollan en el área productiva de la Región Central de la Provincia de Catamarca y la capital de esta. El área total de la cuenca es de 240 km² aproximadamente. La zona pertenece a la Cuenca Falda Oriental del Ambato. Esta cuenca se desarrolla en el valle de Catamarca, que se haya dividido longitudinalmente por varias serranías, alargadas en sentido norte-sur. El nacimiento del río Del Valle se origina en el departamento Ambato y está conformada por las subcuencas de los ríos Los Puestos, Huallumil, Las Juntas y Ambato. En la parte superior de la cuenca, en las proximidades aguas abajo de donde el río Las Juntas se une con el río Las Trancas y el río Las Salvias, es la zona propuesta de cierre total con una pequeña presa para el proyecto de un aprovechamiento multipropósito.

Caudal Ecológico

El caudal ecológico, comprende dos enfoques, uno que hace referencia al caudal relacionado con la hidráulica y la ingeniería aplicada a entender la dinámica de fluidos, el adjetivo ecológico que, se relaciona con la biología y los recursos naturales. González del Tánago y García de Jalón (1998), proponen la terminología de caudal ecológico como “la cantidad y calidad de los niveles de agua que permite mantener de forma sostenible, la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado ecológico en un río”. Para alcanzar el buen estado ecológico, los caudales ecológicos, no deben ser un valor constante para todo el año, sino un régimen hidrológico en la corriente que garantice la sostenibilidad, y productividad a largo plazo de los ecosistemas fluviales y sus ambientes ribereños (Naiman et al., 2008).

Modelación

Para el análisis de caudales ecológicos se utilizó el software RHYHABSIM (River Hydraulics and Habitat Simulation System) es un programa computacional que sigue la metodología IFIM. La modelación de la idoneidad del hábitat se basó en la

simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil (HPU) con las características hidráulicas en los tramos seleccionados. Los datos hidráulicos fueron obtenidos a través de la modelación hidráulica del río realizada. Las curvas de idoneidad que se utilizaron fueron las trucha arco iris de Bovee 1978, Railegh et al. 1984 y las curvas de Tongariro. El departamento de Ambato es un lugar turístico en donde se practica la pesca deportiva de la trucha arcoíris por lo cual era un condicionante de proyecto poder mantener un régimen hidrico que preservara esta especie.

A partir del caudal medio y de la modelación para la especie utilizada como bioindicador y para las distintas etapas del ciclo de vida de esta se plantearon los distintos caudales mensuales (ver Tabla 1).

Tabla 1.- Caudales mensuales obtenidos

Mes	Caudal medio m ³ /s	Caudal mínimo m ³ /s	Caudal óptimo m ³ /s	Caudal consensuado m ³ /s	10 % Módulo
Julio	0,399	0,399	0,740	0,399	0,071
Ago	0,548	0,500	0,740	0,500	0,071
Sep	0,537	0,500	0,740	0,500	0,071
Oct	0,504	0,160	1,000	0,800	0,071
Nov	0,528	0,160	1,000	0,800	0,071
Dic	0,764	0,160	1,000	0,800	0,071
Enero	1,453	0,500	2,000	1,600	0,071
Feb	1,106	0,500	2,000	1,600	0,071
Marzo	0,877	0,500	2,000	1,600	0,071
Abril	0,671	0,500	0,740	0,500	0,071
Mayo	0,607	0,500	0,740	0,500	0,071
Junio	0,470	0,470	0,740	0,470	0,071

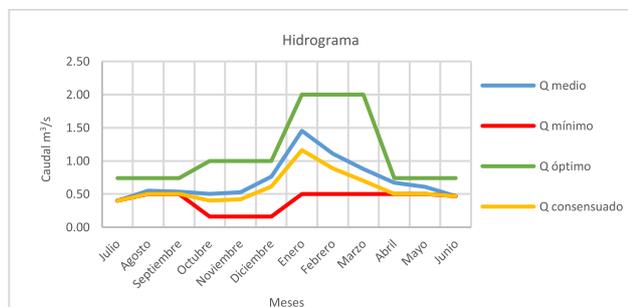


Figura 2.- Hidrograma

En la figura 2 la curva azul son los caudales medios del río. La curva roja son los caudales mínimos, por debajo de esos caudales la especie tendría una severa degradación, el caudal erogado no debe ser menor que éste. La curva verde es el caudal óptimo obtenido a partir de los resultados de la modelación. La curva amarilla es la consensuada con el diseño del aprovechamiento multipropósito.

La curva de caudales consensuados considera las necesidades socioambientales de la zona de estudio. Entre abril y septiembre es la época más crítica de la especie para que la reproducción se produzca correctamente y preservarla el caudal no debe ser inferior al 0,5 m³/s. Para los meses de junio y julio donde el caudal medio es inferior a 0,5 m³/s se propone que se mantenga el caudal medio correspondiente a cada mes ya que la especie está adaptada a esos caudales, los mismo son de 0,39m³/s para junio y 0,47 m³/s y 0,47m³/s para Julio.

De octubre a enero son los meses donde hay mayores precipitaciones y donde se producen los mayores caudales y crecidas. Las crecidas juegan un rol importante en el ecosistema.

Las crecidas permiten acceder a la banda ripariana y a la llanura de inundación, de esta manera gran parte de la biomasa producida en esta zona llega al cauce, integrándose al continuo fluvial y constituye un recurso trófico adicional para la fauna y flora acuática. Se propone que se erogue el 80% del caudal medio. Como se observa la curva de caudal consensuados se encuentra por encima de los valores de caudales mínimos, es decir que con estos caudales propuestos no se verá afectada el hábitat disponible para la especie.

Conclusiones

El caudal ecológico es un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, estableciendo la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad aguas abajo del embalse en el curso de agua.

Los resultados de los modelos de simulación de hábitat/hidráulicos sobre las especificaciones de caudales muestran que es mejor adoptar un hidrograma de caudales ecológicos durante el año. Este hidrograma debe de acompañar el patrón de caudales del río debido a que las crecidas y el estiaje que regulan numerosos procesos ecológicos como también permiten proteger los ciclos de vida de los especies dado que los peces tienen requerimientos distintos según la etapa del ciclo de vida y se adaptan a los regimenes naturales. Por ello no es apropiado ni conveniente mantener un caudal uniforme durante todo el año.

Recomendaciones

De los estudios realizados se recomienda el uso de modelos de hábitat-hidráulicos en los proyectos que se desarrollen especialmente en los cursos de agua donde el recurso no es abundante y donde las variaciones de caudales a lo largo del año son importantes.

Mucho de los ríos de Argentina tiene un hidrograma anual muy variado entre estiaje y los periodos de crecida lo que hace que los estudios de los caudales ecológicos sean fundamentales antes de tomar una decisión sobre la gestión adecuada de los mismos.

Para los estudios de los caudales ecológicos sería importante generar grupos interdisciplinarios que permitan un enfoque de las diferentes especialidades, especialmente teniendo en cuenta que desde el punto de vista del desarrollo sostenible se deben abordar las dimensiones físicas del ambiente, social y económicas y sus interrelaciones.

Por otra parte, sería importante aplicar los modelos de hábitat hidráulicos considerando escenarios de cambio climático locales para poder adoptar estrategias de gestión a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- Gonzalez del Tanago, M., C. Morla, D. Garcia De Jalon y colaboradores. (1992).** Estudio de las riberas de los principales ríos de la Cuenca del Duero. Bases para su gestión y conservación. D.G. Medio Natural, Junta de Castilla-León.
- Jowett, I.G. (1989):** "River hydraulic and habitat simulation, RHYHABSIM computer manual". New Zealand Fisheries Miscellaneous Report 49, Ministry of Agriculture and Fisheries, Christchurch, New Zealand.
- Reyna, T., Reyna, S., Funes, M.F., Lábaque, M., Fulginiti, F. (2022)** "Caudales Ecológicos en Ríos de Montaña – Provincia de Catamarca". XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Brasil.
- ONU (2015)** "Objetivos de Desarrollo Sostenible". <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naiman R. J.; Decamps, H. y Pollock, M. M. (2008)** The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity. DOI: 10.2307/1941822.
- Bovee K. D. and Milhous, R. (1978)** Hydraulic simulation in instream flow studies: Theory and techniques. Instream Flow Information Paper 5, Cooperative Instream Flow Service Group, Fort Collins
- Raleigh, R. F., Hickman, T., Hickman, Solomon, R.C., Nelson, P. C. (1984)** Habitat suitability information: Rainbow trout. U.S. Fish Wildl. Serv. FWS/OBS-82/10.60. 64pp.

ESTUDIO DE PROCESOS HIDROLÓGICOS SUPERFICIALES EN ÁREAS URBANAS Y RURALES APLICANDO EL MODELO GEOESPACIALES GeoQ.

Fernanda J. Gaspari^{1,2}, Fabio A. Montealegre Medina^{2,3}, Sebastián I. Besteiro^{1,2} y Mariano Velazquez¹ y M. Isabel Delgado^{1,4}

¹Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

² CEIDE (Centro de Estudio Integrales de la Dinámica Exógena). Facultad de Cs. Agr. y Ftaleas., UNLP, Arg.

³ Becario de CICPBA, Arg. – ⁴ CONICET, Arg.

fgaspari@agro.unlp.edu.ar, fabio.montealegre@agro.unlp.edu.ar, sebastesteiro@agro.unlp.edu.ar, marianovel88@gmail.com
isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Introducción

El cambio y variaciones climáticas en las últimas décadas generó interés en analizar el efecto de eventos pluviales a nivel geoespacial con sistemas de información geográfica (SIG), analizando el cambio del uso del suelo en cuencas de llanura. El estudio de esta dinámica superficial con SIG permite el procesamiento de variables hidrológicas, como escurrimiento-infiltración, que pueden ser automatizadas por geoprocesos.

El método de cálculo de lámina de escurrimiento denominado número de curva (NC), fue automatizado, por este grupo de investigadores, con el módulo GeoQ en el software QGIS, donde con dicho proceso, se obtiene la distribución geoespacial de variables hidrológicas como lámina de escurrimiento, infiltración y abstracciones iniciales, y sus coeficientes hidrológicos respectivos.

El objetivo del trabajo fue el estudio espacio temporal de procesos hidrológicos superficiales en áreas urbanas y rurales, aplicando el modelo geoespacial GeoQ.

Materiales y Métodos

El caso de estudio fue la cuenca del A° Las Conchitas, del sudeste del Gran Buenos Aires (Figura 1). Los límites de esta cuenca se definieron en QGIS (QGIS, 2023) mediante el procesado del modelo digital de elevaciones (MDE-Ar v2.1, IGN) y ajuste con cartas topográficas 1:50.000 (IGN, 2023).



Figura 1.- Ubicación de la cuenca

Para el estudio y modelización del escurrimiento superficial se utilizó una actualización de la herramienta de procesamiento automático GeoQ (Montealegre y Gaspari, 2021), con la cual es posible aplicar el método NC (Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005) para una lámina de precipitación acumulada, distribuida espacialmente en formato ráster, la cual pretende alcanzar una mayor representatividad espacial en el análisis.

El módulo GeoQ, integrado al QGIS, permite la combinación de los parámetros del NC para obtener los coeficientes de escurrimiento, infiltración y abstracciones iniciales para una determinada lluvia. Para ello se considera la Condición de Humedad Antecedente de suelo (CHA) II (medio). El Grupo Hidrológico (GH) fue obtenido de las clases texturales del suelo (Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990; Gaspari *et al.*, 2009, 2019), provenientes del Plan piloto de Gestión de las Cuencas Hídricas de Pequeñas Dimensiones, Cuencas Arroyos Conchitas-Plátanos y Baldovinos (UIDD-GA, 2011), y el tipo de cobertura

del suelo fue adaptado de Calvo *et al.* (2014) y verificado mediante técnicas de interpretación sobre imágenes, principalmente Google Earth. Estos parámetros fueron codificados para el modelo GeoQ (Montealegre y Gaspari, 2021). Las capas de imágenes con la precipitación fueron descargadas del CHRS Data Portal, del Centro de Hidrometeorología y Percepción Remota (Saldeghi *et al.*, 2021), con una resolución espacial de 0,25° (aprox. 27,8km). Se definió que la fecha que responde a una lluvia diaria acumulada de mediana intensidad fue 07/02/2014. Es importante señalar que el componente temporal está dado porque las coberturas utilizadas representan los usos del suelo para 5 períodos decádicos entre 1970 al 2020.

Resultados

En la Figura 2 se observa la precipitación diaria acumulada en formato ráster, con una amplitud de 28mm de lámina entre la cabecera y desembocadura de la cuenca. Por su parte, se visualizan los GH que responden a texturas francas a arcillosas, estas últimas concentradas sobre el cauce del A° Las Conchitas, indicando suelos con medio a alto de escurrimiento.

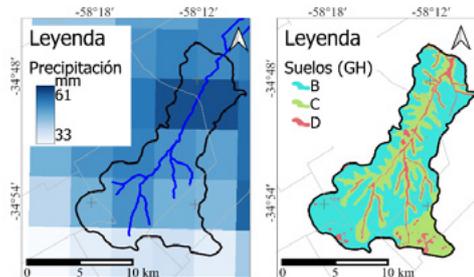


Figura 2.- Mapas de distribución de Ubicación de la cuenca

La distribución espacio-temporal de coberturas del suelo (Figura 3), permite diferenciar dos sectores contrastantes, al sur con mayor superficie de uso rural y, al norte, con un avance intenso de la urbanización en el período de estudio, siendo evidente en el área “Urbano intensivo” por sobre el uso “Semi urbano”, en las décadas 70’ a 80’, y sobre el Rural en el resto del período.

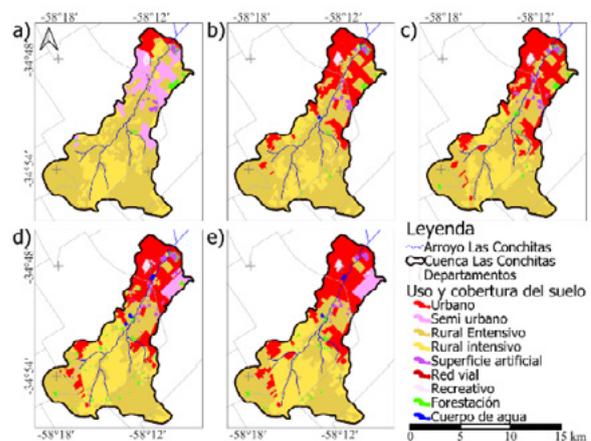


Figura 3.- Zonificación de coberturas: 1970’(a), 1980’(b), 1990’(c), 2000’(d) y 2010’(e).

En el Figura 4 se representa el cambio de uso del suelo, es decir, la variación de la ocupación en superficie de las coberturas en el periodo. Se estableció que las coberturas dominantes son: Urbano (U), Rural Intensivo (RI) y Rural extensivo (RE), con más del 90% de ocupación, y que estas manifestaron un incremento de superficie, como ser de U (+23,7%) y RI (+3,5%), y un detrimento, en el caso de RE (-17,7%). Sin considerar la década del 70 de este análisis, se visualiza que la tendencia se manifiesta de forma lineal, abarcando un cambio medio decádico de +2,05km² para U; +1,19km² para Semi urbano; +3,33km² para RI, y -6,66km² para RE.

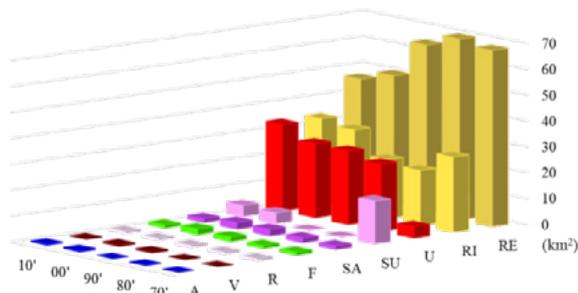


Figura 4.- Cambios del área de las coberturas del suelo en la Cuenca del A° Las Conchitas a lo largo de 5 décadas

Los resultados alcanzados con el GeoQ expresan la zonificación de los coeficientes de escurrimiento, infiltración y abstracciones, indicando que cada escenario temporal representa la respuesta suelo-vegetación sobre el escurrimiento. En la Figura 5, se observa del coeficiente de escurrimiento para la zona de estudio. Se evidencian variaciones leves del coeficiente de escurrimiento (CE), en su escala temporal frente a los cambios de uso del suelo y su interacción con el GH. Esto se debe a que los cambios de cobertura, aunque notorios, no representan grandes variaciones respecto a los coeficientes de escurrimiento, o a los de infiltración y abstracciones, debido a que los valores de NC asignados automáticamente por el modelo, son definidos además por el GH de cada uso, que depende de la distribución del agua en el suelo.

Se estima que la heterogeneidad de las lluvias representa otro factor de variación que dificulta la obtención de resultados contrastantes. En el caso en estudio, se trabajó con láminas diarias acumuladas de mediana intensidad, cuyo mayor valor se registró en el sector norte de la cuenca. La modelización respondió con rangos de escurrimiento medios de la interacción entre el cambio de uso del suelo y la variación geoespacial del GH, donde en la zona norte de la cuenca, el avance de la urbanización sobre el GH B amortiza la producción de escurrimiento, mientras que la zona rural extensiva apoyada sobre GH D, al sureste de la cuenca, mantuvo su CE. Las zonas industriales han generado parches de exceso de escurrimiento, siendo el CE mayor.

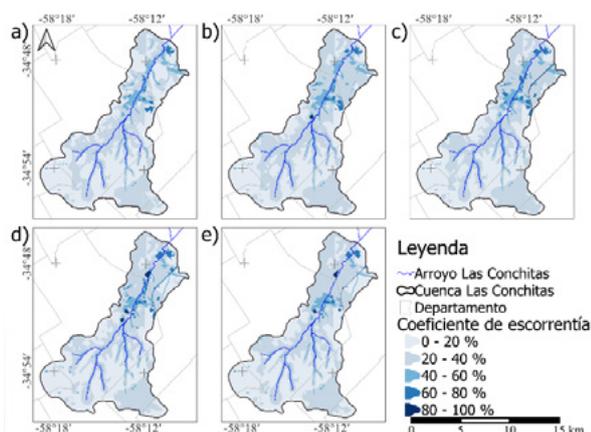


Figura 5.- Evolución de coeficientes de escurrimiento en Cuenca del A° Las Conchitas, décadas 70^a(a), 80^a(b), 90^a(c), 00^a(d) y 10^a(e).

Se concluye que la implementación de imágenes satelitales de la distribución de lluvias permite modelar con mayor precisión y demostrar la heterogeneidad del fenómeno y su respuesta hidrológica ante el complejo suelo-vegetación. Es importante mencionar la necesidad de efectuar trabajos de campo que permitan validar los coeficientes obtenidos en el modelo GeoQ.

El estudio del efecto de los cambios de uso del suelo en la dinámica hídrica de estos ambientes de baja pendiente y cambio de uso de suelo es esencial para un correcto manejo del recurso y para que los tomadores de decisiones sobre los recursos naturales posean elementos de análisis frente a las consecuencias del cambio climático y a las complejidades del avance de la urbanización y ocupación del suelo industrial, que provocan la impermeabilización del suelo.

Referencias

- Calvo, G. H., Cipponeri, M., Salvioli, M. L., Trovatto, M. M., y Álvarez, P. (2014). Análisis multitemporal del uso efectivo del territorio en la cuenca del arroyo Las Conchitas-Plátanos. [<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58795>]
- Carpesa, R. M., y Rodríguez, A. R. (2005). *Hidrología agroforestal*. Mundi-Prensa.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., y Montealegre Medina, F. A. (2019). Manejo de cuencas hidrográficas: Herramientas de sistemas de información geográfica (U. N. de La Plata (ed.)). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87641>
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A. M., y Besteiro, S. (2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas (1st ed.).
- Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN. (2023). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina - MDE-Ar v2.1_30m. Recuperado: 01/04/2023 <https://www.ign.gob.ar>
- Mintegui Aguirre, J. A., y López Unzué, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. In Departamento de Agricultura y Pesca (Ed.), Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco.
- Montealegre Medina, F. A., y F. J. Gaspari. (2021). "GeoQ: Herramienta geoespacial para la zonificación de la escorrentía en QGIS®". Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal, 9(2), 170-192.
- QGIS.org. (2023). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Sadeghi, M., Nguyen, P., Naeini, M. R., Hsu, K., Braithwaite, D., and Sorooshian, S. (2021). "PERSIANN-CCS-CDR, a 3-hourly 0.04° global precipitation climate data record for heavy precipitation studies". Scientific Data 8, no. 1: 1-11. Recuperado: 21/04/2023 - <https://chrdata.eng.uci.edu/>
- UIDD-GA. (2011). Plan piloto de gestión de las Cuencas de los arroyos Conchitas – Plátanos y Baldovinos, Convenio (UIDDGA – FI – UNLP). Autoridad del Agua (ADA) y Consejo Federal de Inversiones (CFI). [<http://surl.li/igljo>]

ESTIMACIÓN DE TURBIDEZ DE UNA LAGUNA MEDIANTE MUESTREOS DE CAMPO Y TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL NEA

Gauto, Víctor^{1,2}; Utgés, Enid¹; Hervot, Elsa¹; Tenev, Daniela¹; Farías, Alejandro¹

¹Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia, Argentina

²victor.gauto@ca.frre.utn.edu.ar

Introducción

Uno de los Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2016) es garantizar el acceso universal y equitativo al agua potable, y reducir su contaminación. Los ecosistemas de agua dulce, como las lagunas, arroyos, ríos y humedales son los más amenazados en nuestro planeta (Hestir et al., 2015), debido a los cambios de uso del suelo y la variabilidad climática. Por ello, es imprescindible realizar el control y seguimiento de la calidad del agua; para tal fin, el monitoreo mediante plataformas satelitales es una herramienta de utilidad. La disponibilidad en el uso de satélites de observación de la tierra (Bonansea et al., 2019) y el desarrollo de algoritmos para estimar indicadores de calidad de agua (Ferral et al., 2017; Nechad et al., 2016), hacen de la teledetección satelital (Chawla et al., 2020) una herramienta práctica para brindar datos sobre el estado de salud de los cuerpos y cursos de agua (Huovinen et al., 2019). El uso de sensores con múltiples bandas espectrales permite observar la respuesta generada por una superficie iluminada, desde un lugar remoto, que de otra manera sería imposible de lograr. La aplicación de estas técnicas, para determinar la calidad de agua, en el NEA argentino es escasa. La modificación de las propiedades ópticas del agua, asociadas a la presencia de materia en suspensión, puede ser registrada y correlacionada con variables como la turbidez (Ritchie et al., 2003). Sentinel-2 (S2) es una constelación de dos plataformas espaciales, desarrolladas por la Agencia Espacial Europea. La captura de las imágenes la realiza el sensor MultiSpectral Instrument (MSI). S2-MSI proporciona imágenes ópticas precisas (Phiri et al., 2020), con elevada resolución espacial y un catálogo de acceso libre y gratuito.

El Río Negro atraviesa la ciudad de Resistencia, capital del Chaco. Desemboca en el Río Paraná (Poi de Neiff et al., 2003), dejando meandros y lagunas en su recorrido sinuoso.

El objetivo del presente estudio fue relacionar mediciones fisicoquímicas, a partir de muestreos de campo, con datos satelitales a través de un algoritmo, para estimar la turbidez del agua de una laguna en la ciudad de Resistencia.

Materiales y métodos

El sitio elegido para efectuar los muestreos fue una laguna artificial de agua dulce (27° 25' 25,6" S 58° 57' 53,4" O), con características mínimas de actividad antrópica, emplazada en el interior del barrio privado La Ribera en Resistencia, Chaco. La laguna tiene un área de 20,4 km² y una profundidad de 3 a 5 m. Sin embargo, esos valores pueden modificarse en función de las precipitaciones (Aliaga, 2020). El agua de la laguna es mayormente turbia con un color verde amarronado por la presencia de algas y sólidos en suspensión. Mantiene su nivel de agua principalmente por precipitaciones y a través de los conductos pluviales del barrio que la rodea. Los muestreos se realizaron semanalmente, durante los días en ausencia de nubes, coincidentes con la adquisición de S2. Se seleccionaron tres puntos georreferenciados en el espejo de agua (LR1, LR2, LR3) para la toma de las muestras. Para caracterizar el agua de la laguna se efectuaron mediciones in situ y en laboratorio. Los parámetros determinados in situ fueron: pH, conductividad y profundidad de disco de Secchi (PDS). Para los análisis fisicoquímicos de laboratorio se tomaron muestras de agua en recipientes de vidrio de 1 L, opacos a la luz. Los parámetros

medidos (por duplicado) fueron: clorofila-a (10200 H), turbidez (2130 B), sólidos totales (2540 B) y sólidos suspendidos (2540 D), donde se indica la referencia de la técnica empleada según Métodos Normalizados (Apha et al., 1992).

El producto satelital utilizado fue S2-MSI L2A. Sus características son: 10 m de resolución espacial, 5 días de tiempo de revisita, en reflectancia de superficie (R_s), con corrección atmosférica realizada por el procesador Sen2Cor (Main-Knorn et al., 2017). La alta resolución espacial, espectral y temporal permitió su aplicación para el cuerpo de agua estudiado. El acceso a los datos fue posible de manera gratuita mediante la plataforma Copernicus Open Access Hub.

Se generó una base de datos que contenía las R_s de las bandas espectrales de S2-MSI, junto con los datos de turbidez, correspondientes a cada sitio muestral. Se consiguieron 23 muestras, entre septiembre y diciembre de 2022. Los datos fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: uno de entrenamiento (75% del total), con el que se obtuvo el algoritmo de estimación; y el segundo grupo (25% restante) se mantuvo reservado únicamente para la etapa de validación del modelo, y calcular las siguientes métricas de desempeño: coeficiente de determinación de Pearson (R²), raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y error absoluto medio (MAE). Para la elección definitiva del modelo se consideró su simplicidad y métricas de desempeño.

Resultados y discusión

La tabla 1 resume las características del cuerpo de agua a partir de los análisis fisicoquímicos de laboratorio y las mediciones in situ. Se muestran los valores promedio y los desvíos estándar, para los tres sitios muestrales dentro de la laguna. Los valores observados dan cuenta de la elevada presencia de la clorofila-a y turbidez, con gran variabilidad en la clorofila-a. Esto se ve reflejado en los bajos valores de PDS, ya que, a mayor presencia de componentes coloreados en el agua, es menor su valor.

Tabla 1.- Propiedades promedio y desvío estándar (entre paréntesis) de la laguna, por sitio muestral.

Parámetro	LR1	LR2	LR3
Clorofila-a (mg/L)	134,4(216,8)	111,3(126,6)	108,6(124,8)
Cond. (µS/cm)	894,3(129,3)	890,6(129,2)	895,0(130,2)
pH	8,5(0,5)	8,5(0,5)	8,6(0,6)
PDS (cm)	40,4(15,9)	40,8(15,3)	39,4(14,1)
Sól. Susp. (ppm)	14,6(12,6)	11,8(11,7)	8,7(9,5)
Sól. totales (ppm)	555,7(46,2)	551,2(48,3)	552,6(45,8)
Turbidez (NTU)	42,4(10,8)	43,3(10,6)	42,1(8,7)

La ecuación 1 muestra la relación entre la turbidez (turb, NTU) a partir de la interacción entre las bandas espectrales B03 y B05, del producto S2-MSI L2A, a 559 nm y 704 nm, respectivamente. B03 se encuentra en la región visible correspondiente al color verde. B05 se ubica en la zona del infrarrojo cercano del espectro electromagnético y es sensible a la presencia de sólidos (da Silva et al., 2021). Ambas bandas suelen tener correlaciones elevadas con la turbidez (Ma et al., 2021).

$$turb = -86,6 + 319,7 \cdot B03 + 746,6 \cdot B05 - 2035,9 \cdot B03 \cdot B05 \quad [1]$$

La figura 1 muestra los valores de turbidez estimados por la

ecuación 1 y los medidos en laboratorio; la línea continua indica la pendiente entre datos. La línea punteada marca la diagonal a 45°. Los círculos de la figura 1 representan los puntos utilizados para el entrenamiento del modelo y, las cruces, los de validación. En la esquina superior izquierda se listan las métricas de desempeño del modelo, obtenidos a partir del subconjunto de datos de validación, y la cantidad total de muestras.

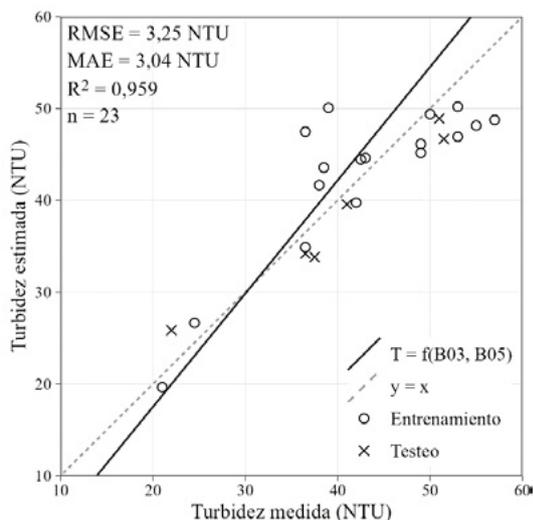


Figura 1.- Relación entre valores de turbidez medida y estimada, agrupados por datos de entrenamiento (círculo) y testeo (cruz).

La figura 2 muestra la distribución espacial de turbidez del cuerpo de agua, para el 01/01/2023. Los sitios muestrales se indican mediante triángulos sobre la laguna, que se encuentra rodeada por el Río Negro. La máscara de agua de la laguna se obtuvo aplicando el índice normalizado de diferencia de agua modificado, MNDWI (Xu, 2006). Cada píxel tiene 10 m de lado, de acuerdo a las características del producto empleado.

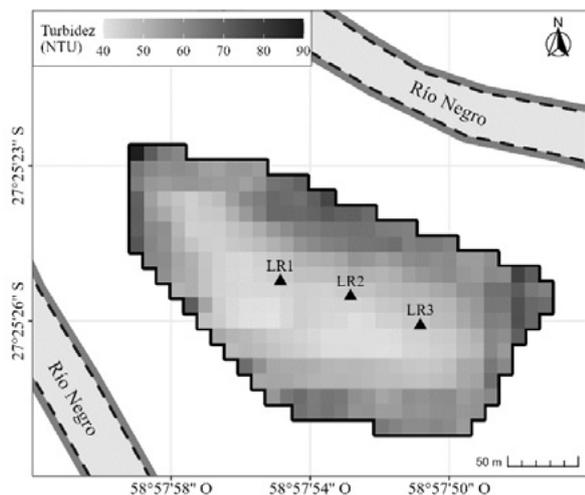


Figura 2.- Mapa de la distribución espacial de turbidez en la laguna, indicando los sitios muestrales LR1, LR2 y LR3.

Puede verse que los valores de turbidez más bajos se hayan en el centro de la laguna. Los píxeles ubicados en los límites del cuerpo de agua presentan valores elevados de turbidez.

Conclusión

Los muestreos de campo permitieron la caracterización físicoquímica de una laguna de Resistencia, Chaco. Con la combinación con datos satelitales, provenientes de S2-MSI L2A, se creó una base de datos que fue dividida para entrenar el modelo y validarlo. El algoritmo elegido consiste en la combinación de

las bandas espectrales B03 y B05. A partir de los datos reservados para la validación, el modelo mostró un buen desempeño, con R^2 0,959, RMSE 3,25 NTU y MAE 3,04 NTU. Se consiguió visualizar la distribución superficial de la turbidez a partir de la confección de un mapa y se identificaron zonas de alta y baja turbidez.

La aplicación de herramientas de teledetección satelital permitió el desarrollo de un modelo semiempírico de estimación de turbidez del agua en una laguna, pudiendo monitorear el parámetro de manera remota y evaluar su distribución espacial.

Referencias bibliográficas

- Aliaga, V. S. (2020). "Variabilidad climática de la Región Pampeana y su efecto sobre las lagunas de la región." *Huellas*, 24(1), 243–249. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2020-2413>
- Apha, Awwa, & WPCF. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS Para el análisis de aguas potables y residuales*.
- Bonansa, M., Ledesma, M., Bazán, R., Ferral, A., German, A., O'Mill, P., Rodríguez, C., & Pinotti, L. (2019). "Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 imagery for water clarity assessment in a reservoir." *Journal of South American Earth Sciences*, 95 (May), 102265. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102265>
- Chawla, I., Karthikeyan, L., & Mishra, A. K. (2020). "A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes." *Journal of Hydrology*, 585 (March), 124826. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>
- da Silva, E. F. F., Novo, E. M. L. de M., Lobo, F. de L., Barbosa, C. C. F., Noernberg, M. A., Rotta, L. H. da S., Cairo, C. T., Maciel, D. A., & Flores Júnior, R. (2021). "Optical water types found in Brazilian waters." *Limnology*, 22(1), 57–68. <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00633-z>
- Ferral, A., Solis, V., Frery, A., Orueta, A., Bernasconi, I., Bresciano, J., & Scavuzzo, C. M. (2017). "Spatio-temporal changes in water quality in an eutrophic lake with artificial aeration." *Journal of Water and Land Development*, 35(1), 27–40. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0065>
- Hestir, E. L., Brando, V. E., Bresciani, M., Giardino, C., Matta, E., Villa, P., & Dekker, A. G. (2015). "Measuring freshwater aquatic ecosystems: The need for a hyperspectral global mapping satellite mission." *Remote Sensing of Environment*, 167, 181–195. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.023>
- Huovinen, P., Ramírez, J., Caputo, L., & Gómez, I. (2019). "Mapping of spatial and temporal variation of water characteristics through satellite remote sensing in Lake Panguipulli, Chile." *Science of the Total Environment*, 679, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.367>
- Ma, Y., Song, K., Wen, Z., Liu, G., Shang, Y., Lyu, L., Du, J., Yang, Q., Li, S., Tao, H., & Hou, J. (2021). "Remote sensing of turbidity for lakes in Northeast China using sentinel-2 images with machine learning algorithms." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 9132–9146. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3109292>
- Main-Knorn, M., Pflug, B., Louis, J., Debaecker, V., Müller-Wilm, U., & Gascon, F. (2017). "Sen2Cor for Sentinel-2." In L. Bruzzone, F. Bovolo, & J. A. Benediktsson (Eds.), *Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIII* (p. 3). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2278218>
- Naciones Unidas. (2016). "Marco de indicadores mundiales para los objetivos de desarrollo sostenible y metas de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible." *Labor de La Comisión de Estadística En Relación Con La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible*, 23.
- Nechad, B., Dogliotti, A., Ruddick, K., & Doxaran, D. (2016). "Particulate backscattering retrieval from remotely-sensed turbidity in various coastal and riverine turbid waters." *European Space Agency*, (Special Publication) ESA SP, SP-740(May).
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). "Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review." *In Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Poi de Neiff, A. S. G., Patiño, C. A., Neiff, J. J., & Ramos, A. O. (2003). "CALIDAD DEL AGUA EN EL TRAMO BAJO DEL RIO NEGRO (CHACO, ARGENTINA)." *FACENA*, 19, 67–83.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., & Everitt, J. H. (2003). "Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6), 695–704. <https://doi.org/10.14358/PERS69.6.695>
- Xu, H. (2006). "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery." *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

¿CÓMO RESPONDE EL OLIVAR SUPERINTENSIVO A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO?

Luciana Gentili^{1*}, Martin Tivani¹, Valerio Mastio¹, Flavio Capraro², Analuz Defazio⁴, Cibeles Contreras¹, Mariela Torres¹, Damián Maestri³, Pierluigi Pierantozzi^{1*}

¹Estación Experimental Agropecuaria San Juan, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), San Juan, Argentina.

² Instituto de Automática, Universidad Nacional de San Juan-CONICET, Argentina

³ Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

⁴ Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina

* Luciana Gentili, gentili.luciana@inta.gob.ar * Pierluigi Pierantozzi, pierantozzi.pierluigi@inta.gob.ar

Instrucción

El agua se ha convertido desde hace ya varios años, en el recurso natural más valioso debido a su escasez, haciendo que su disponibilidad para el desarrollo de los cultivos sea una limitante en la productividad de los mismos.

Sin embargo, el diseño de algunas estrategias de riego, principalmente las estudiadas en el olivo, han permitido lograr un ahorro del recurso hídrico en determinados periodos fenológicos, sin afectar significativamente al rendimiento (Fereris y Soriano, 2007).

Aunque en cada uno de estos estudios se ha obtenido información valiosa sobre la influencia del aporte hídrico en distintas fases del cultivo, no hay antecedentes sobre estrategias que combinen la aplicación de riego deficitario en distintas fases fenológicas, en forma alternada y en un único ensayo, a lo largo de todo el ciclo del cultivo. El objetivo del presente trabajo es evaluar los efectos de dos estrategias de riego deficitario (RD Controlado y RD Sostenido) sobre parámetros vegetativo, fisiológico, y productivo en olivares bajo condiciones de cultivo superintensivo.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo durante dos ciclos de cultivo 2021-2022 y 2022-2023, en plantaciones de 'Arbosana' (Fig. 1) ubicadas en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA-INTA-SAN JUAN), Departamento Pocito (provincia de San Juan). Las plantas poseen 3 años de edad, dispuestas en un marco de plantación de 1,75 m x 4m, bajo un modelo de cultivo superintensivo.

El suministro de agua a los árboles se llevó a cabo empleando riego por goteo.



Figura 1.- cv. Arbosana.

La programación del riego se realizó siguiendo la metodología propuesta por Allen et al. (1998) utilizando una simplificación del método del balance hídrico. Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (Etc) se utilizó la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo \times Kc \times Kr$$

donde ETo es la evapotranspiración de referencia, Kc es el coeficiente de cultivo, y Kr el coeficiente de reducción por superficie sombreada.

Los distintos tratamientos de riego deficitario (RD) utilizados fueron:

- **Tratamiento RDC50:** En los periodos críticos de pre-floración/floración (PC1), endurecimiento de endocarpo (PC2) y final de la fase de acumulación de aceite (PC3), las plantas se regaron según las completas necesidades teóricas; el resto del año recibieron aportes equivalentes al 50 % de la Etc.
- **Tratamiento RDC25:** En PC1 las plantas se regaron según completas necesidades teóricas, mientras que en PC2 y PC3 recibieron el 75 % de la Etc. El resto del año recibieron aportes equivalentes al 25 % de la Etc.
- **Tratamiento RDS70:** Los árboles se regaron todo el año al 70% de sus necesidades teóricas (70 % de la Etc).

Además, se implementó un tratamiento control (T100), sin déficit hídrico, en el que los árboles se regaron todo el año según las completas necesidades teóricas (100 % de la Etc). El diseño fue en bloques al azar con 4 tratamientos de riego, cada uno con 4 bloques (n = 4) con parcelas de 5 árboles cada una.

Se evaluaron los efectos de los distintos tratamientos de riego deficitario sobre parámetros vegetativo (volumen de copa), fisiológico (potencial hídrico de tallo $\Psi_{xilemático}$) y productivos (rendimiento kg/planta).

Resultados

Las láminas de agua recibida por cada tratamiento se indican en las tablas 1 y 2, se puede observar que los tratamientos RDS70, RDC50 y RDC25 permitieron un ahorro de agua de 28.1, 29.3 y 49.4 %, en el primer ciclo, y el 29.3, 30.1 y 48.9 %, en el segundo ciclo, respecto al T100.

Tabla 1.- Riego, Precipitaciones efectiva, cantidad de agua total, de los diferentes tratamientos de riego durante el primer ciclo del cultivo

Tratamiento	Riego [mm]	Precipitaciones Efectiva [mm]	Cantidad de agua total [mm]	%
T100	492,11	33,74	525,85	100
RDS 70	344,48	33,74	378,22	71,9
RDC 50	337,65	33,74	371,39	70,62
RDC 25	232,12	33,74	265,86	50,55

Tabla 2.- Riego, Precipitaciones efectiva, cantidad de agua total, de los diferentes tratamientos de riego durante el segundo ciclo del cultivo.

Tratamiento	Riego [mm]	Precipitaciones Efectiva [mm]	Cantidad de agua total [mm]	%
T100	504,27	13,51	517,78	100
RDS 70	352,99	13,51	366,5	70,68
RDC 50	348,45	13,51	361,95	69,9
RDC 25	250,70	13,51	264,21	51,02

En la Figura 2 y 3 se muestra la evolución del potencial hídrico del tallo (PHT) durante ambos periodos, se observó que todos los tratamientos de RD presentaron diferencias significativas en el potencial hídrico del tallo con respecto al control. Los tratamientos RDC fueron los que presentaron valores de por debajo de los -2,5 MPa durante los dos ciclos evaluados.

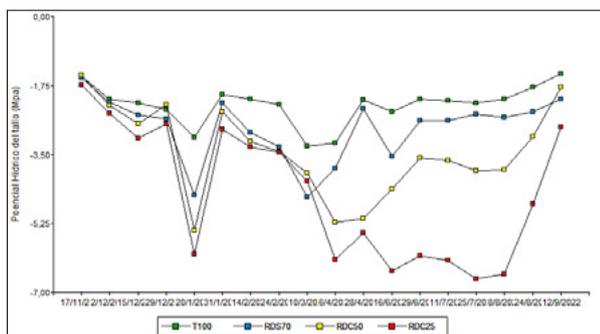


Figura 2.- Variación estacional del potencial hídrico del tallo (PHT), durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T100, RDS70, RDC50, RDC25) en el primer ciclo de cultivo.

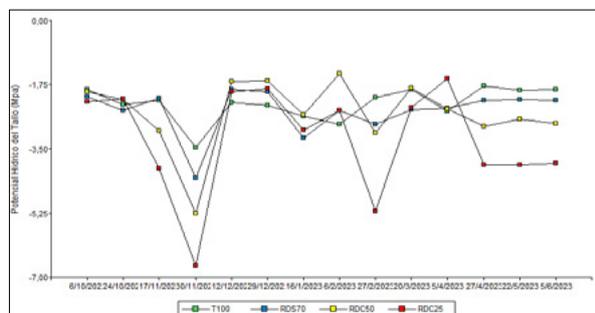


Figura 3.- Variación estacional del potencial hídrico del tallo (PHT), durante el periodo de aplicación de los tratamientos de riego (T100, RDS70, RDC50, RDC25) en el segundo ciclo de cultivo.

La productividad del tratamiento RDC25 se vio afectada negativamente por las restricciones hídricas aplicadas, mientras que los tratamientos RDS70 y RDC50 alcanzaron una producción similar a la del tratamiento más regado, durante el primer ciclo del cultivo. Sin embargo, durante el segundo ciclo, los tratamientos RDC25 y RDC50 fueron los más afectados por la restricción. El tratamiento RDS70 por su parte, se diferenció de todos los tratamientos ensayados, mostrando producciones intermedias.

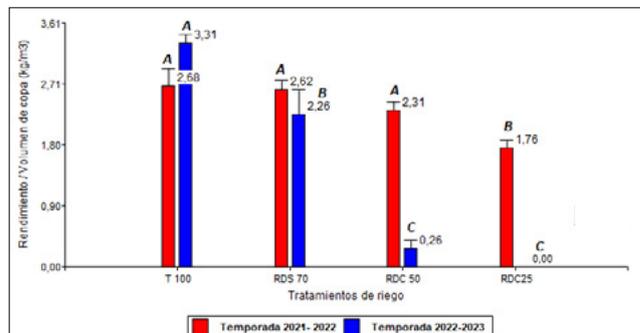


Figura 3.- Relación entre productividad y volumen de copa para los tratamientos de riego (T100, RDS70, RDC50, RDC25) durante los dos ciclos de cultivo.

Conclusiones

Los resultados del presente trabajo proporcionan información acerca del impacto del déficit hídrico en el cultivo, siendo la estrategia de riego deficitario sostenido (RDS 70) la que permitiría la mejor combinación entre ahorro de agua y productividad, durante los dos ciclos de cultivos evaluados, en olivares superintensivos.

Referencias Bibliográficas

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome. AOCS. (1998). Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, 5th edn., AOCS Press, Champaign.

Fereres, E., Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58: 147-159.

DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL COEFICIENTE DE CULTIVO DEL TOMATE PARA INDUSTRIA CON LISÍMETRO DE DRENAJE

Geri Agustin⁽¹⁾, Muzi Enrique⁽²⁾⁽³⁾, Reinoso Lucio⁽³⁾, Martinez Roberto Simon⁽²⁾⁽³⁾

(1) Ministerio de Producción y Agroindustria, Provincia de Río Negro, Argentina (2) EEA INTA Valle Inferior del Río Negro, Argentina (3) Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica, Argentina. ageri@mpya.rionegro.gov.ar, muzi.enrique@inta.gob.ar, lreinoso@unrn.edu.ar, martinez.roberto@inta.gob.ar

Introducción

En el Valle Inferior de Río Negro, el tomate con destino a industria constituyó un cultivo iniciador e históricamente una de las principales especies hortícolas cultivadas. Para dicho cultivo, la gestión inadecuada del recurso hídrico trae asociados problemas de productividad, calidad inadecuada del fruto, mayor incidencia de enfermedades, menor eficiencia en el uso del agua, energía y fertilizantes (Muzi, 2022).

Para realizar un correcto manejo del riego es necesario conocer cuál es la demanda de agua de los cultivos. Por lo tanto, es necesario cuantificar la evapotranspiración de los cultivos (ETc), fenómeno mediante el cual se consume el agua almacenada en el suelo por la combinación de dos procesos separados que ocurren simultáneamente: evaporación de la superficie del suelo y transpiración del cultivo (Allen *et al.*, 2006).

La ETc es un componente importante utilizado en la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de riego (Güngör, 1990). Dado que la ETc depende en gran parte del suelo y de las condiciones climáticas, sus valores se deben estimar para cada cultivo en las diferentes regiones donde se produzca (Ertek *et al.*, 2004).

Existen distintos métodos para medir o estimar la ETc. El método del balance hídrico, propuesto por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) consiste en estimar la evapotranspiración de un cultivo hipotético, que se asemeja a una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, utilizando la fórmula de Penman-Monteith (ETo); y multiplicar el valor obtenido por un coeficiente de cultivo (Kc) (Requena *et al.*, 2012).

Los lisímetros de drenaje son grandes contenedores o “macetas” que contienen una masa aislada de suelo y se instalan dentro del lote con el objetivo de ser lo más representativos posible. Su diseño permite realizar un balance hídrico mediante el cálculo de todo ingreso (precipitación y riego) y egreso (drenaje) de agua que se produzca dentro de esta masa aislada de suelo y de esta manera estimar la ETc (Gonzalez *et al.*, 2017).

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue estimar la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo para el cultivo de tomate industria en el Valle Inferior de Río Negro durante la campaña 2018/2019 mediante un modelo de balance hídrico construido a partir del uso de un lisímetro de drenaje.

Materiales y Métodos

El ensayo se llevó a cabo en la E.E.A. Valle Inferior del Río Negro (40° 48' S) durante la campaña 2018/2019. El híbrido utilizado fue el PS 247002 de la empresa Monsanto, por ser el más difundido entre por los productores de la región. mediante la utilización de un lisímetro de drenaje de 1 m³ de capacidad (Figura 1).

El 23/11/2018 se trasplantó dentro del lisímetro 4 plantines de tomate en estado de 3 hojas verdaderas. El marco de plantación utilizado fue de 0,25 metros entre plantas y 1,40 metros entre hileras.

A partir del primer día posterior al trasplante el aporte de agua se manejó mediante el uso del sistema de fertiirrigación. La programación del tiempo de riego se controló mediante el uso del programador Hunter® X-core instalado en el cabezal de riego.

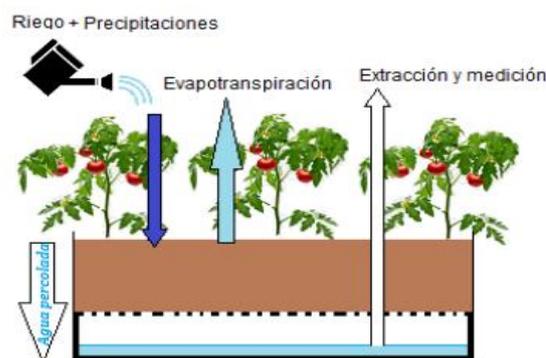


Figura 1.- Esquema de funcionamiento de un lisímetro volumétrico de drenaje.

Durante el transcurso del cultivo, el mismo se fertilizó siguiendo el esquema recomendado por la Asociación Tomate 2000 (2016). Se utilizó como fuente Ácido Fosfórico, Urea y Poly Feed. Además, se realizaron 2 pulverizaciones foliares con calcio y boro utilizando como fuente AMINOQUELANT® Ca.

Se realizaron tres desmalezados manuales durante la etapa inicial, específicamente el día 23, 43 y 50 posterior al trasplante. Una vez que la cobertura vegetal del cultivo cerró el surco, ya no fue necesario continuar estas tareas.

Para monitorear el grado de humedad del suelo, variable que puede afectar el resultado del balance hídrico, se instalaron sensores de capacitancia a 25 cm de profundidad. La marca comercial de los sensores utilizados fue Decagon® y el modelo ECH2O.

El cultivo fue regado diariamente mediante un lateral con goteros autocompensados de 1,2 L.h⁻¹ distanciados cada 0,30 m. La medición del agua de drenaje se realizó en periodos de 10 días y la información se recabó en una planilla de datos que posteriormente permitió estimar la ETc para cada periodo utilizando la Ecuación 1 de Allen *et al.*, 2006 simplificada de la siguiente forma:

$$ETc = P + I - D \quad [1]$$

donde: P= Aporte de agua dado por las precipitaciones, I= Aporte de agua por la irrigación, ETc= Evapotranspiración de cultivo y D= agua de drenaje.

Para la determinación de los coeficientes de cultivos (Kc) se utilizó la Ecuación 2, dividiendo la ETc, proporcionada por el lisímetro, por la evapotranspiración de referencia (ETo), calculada con datos de la estación meteorológica ubicada a 60 metros de la parcela, según la fórmula de Penman-Monteith.

$$Kc = ETc / ETo \quad [2]$$

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presenta de manera resumida los resultados del balance hídrico. El lisímetro registró un consumo total de 484 mm en todo el ciclo de cultivo.

Durante la fase inicial del cultivo, coincidente con el periodo vegetativo, se encontraron valores promedio de evapotranspiración de 3,84 mm.día⁻¹. Durante el transcurso de la fase intermedia de cultivo, se registró el pico máximo de ETC, coincidente con la etapa fenológica de inicio de cuajado, registrando valores de 6,71 mm.día⁻¹. Estos datos son coincidentes a los señalados por Steduto *et al.*, (2012) quienes reportaron valores máximos de evapotranspiración cultivo de tomate en un rango de 4-7 mm.día⁻¹ durante el máximo periodo de crecimiento del cultivo.

Tabla 1.- Evapotranspiración de cultivo (ETc) calculada por balance hídrico.

Nº Período extracción	Fechas del periodo	Etc LISIMETRO	
		(mm/periodo)	(mm promedio/día)
1	23/11/18 al 30/11/18	15	1,84
2	01/12/18 al 10/12/18	13	1,29
3	11/12/18 al 20/12/18	22	2,21
4	21/12/18 al 31/12/18	19	1,93
5	01/01/19 al 10/01/19	18	1,79
6	11/01/19 al 20/01/19	35	3,50
7	21/01/19 al 31/01/19	67	6,13
8	01/02/19 al 10/02/19	66	6,57
9	11/02/19 al 20/02/19	67	6,71
10	21/02/19 al 28/02/19	47	5,89
11	01/03/19 al 10/03/19	53	5,29
12	11/03/19 al 20/03/19	46	4,64
13	21/03/19 al 27/03/19	16	2,22
TOTAL		484	

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Doorenbos y Kassam (1980), quienes reportaron que las necesidades totales de agua para un cultivo de tomate industria producido a campo se encuentran en el rango de 400 a 600 mm. Asimismo, Mossande, *et al.*, (2015) señalan una evapotranspiración de 432 mm para todo el ciclo del cultivo, valor similar al obtenido en este trabajo.

Por otra parte, los resultados obtenidos son inferiores a los señalados por Hanson y May (2006) y por Rodríguez y Pire (2008), quienes calcularon los requerimientos hídricos para tomate industrial, obteniendo valores anuales que fluctuaron entre desde 572 hasta 742 mm y desde 512 hasta 613 mm, respectivamente.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de cultivo obtenidos para cada etapa de cultivo según el criterio tomado por Allen *et al.*, (2006). Además, se presentan los valores de Kc bibliográfico que utiliza el software Cropwat para la programación del riego en tomate industria de manera de poder realizar una comparación.

Analizando los valores, se puede comprobar que los valores de Kc tabulados sugeridos por la FAO (Allen *et al.*, 2006) se asemejan a los obtenidos en este trabajo para las fases media y final, sin embargo, los valores difieren en la etapa inicial.

Tabla 2.- Coeficientes de cultivo (Kc) según días después del trasplante (DDT).

	DDT	LISIMETRO	Allen <i>et al.</i> , (2006)
Kc Inicial	40	0,33	0,6
Kc Medio	105	1,14	1,15
Kc Final	130	0,95	0,7 a 0,9

Conclusiones

La cantidad de agua evapotranspirada por el cultivo de tomate industria cv. PS 2407002 en el Valle Inferior del Río Negro durante la campaña 2018/2019 fue de 484 mm con un rendimiento comercial cercano a 100 t.ha⁻¹. Los valores de Kc obtenidos fueron: 0,33 para el Kc Inicial, 1,14 para el Kc Medio y 0,95 para el Kc Final.

La utilización del lisímetro de drenaje para determinar la evapotranspiración del cultivo de tomate industria demostró ser una técnica útil y posible de ser aplicada. Se debería continuar trabajando con esta línea de investigación para lograr un ajuste del método que permita calcular el Kc de los principales cultivos de la región.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje. Cuaderno N° 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Doorenbos, J., y kassam, A.H. (1980). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos* (No. 631.587 338.16). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Doorenbos, J., y Pruitt, W.O. (1977). *Crop Evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 194 pp.
- Ertek, A.; Sensoy, S.; Kücükymuk, C.; Gedik, I. (2004) "Irrigation frequency and amount affect yield components of summer squash (*Cucurbita pepo* L.)". *Agricultural Water Management* 67: 63–76.
- González M., C.A., Q.R. Quintero B., V.J. Flórez R., M.F. Quintero, C. (2017) "Lisímetros volumétricos". En: Flórez R., V.J. (Ed.). *Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 135-166.
- Güngör, H. (1990). "Research on a empirical method for determining of plant water consumption". *Eskişehir Research Institute Publ.*, No: 223, Technical Publ., 23: 73 s.
- Hanson, B. y D. May. (2006). "Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato". *Agricultural Management* 81: 381- 399.
- Mossande, A. R., Brown Manrique, O., y Mujica, A. (2015). "Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 5-10.
- Muzi, E. (2022) Efecto del riego por goteo subterráneo, acolchado plástico y frecuencia de riego en el cultivo de tomate para industria en el valle inferior del río negro. Tesis de Magister en Horticultura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 95 pp.
- Requena, A., Mañueco, L., Castillo, E. (2012). "Evapotranspiración y coeficientes de cultivo del manzano en su tercera temporada de crecimiento". *Jornadas de Actualización en Riego y Fertilización*, vol 6, 11 pp.
- Rodríguez, R. y Pire, R. (2008). "Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada". *Agronomía Tropical*, 58(1), 73-76.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (2012). *Crop yield response to water* (Vol. 1028). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

ESTRATEGÍAS DE RIEGO EN SUELO DE ESCASA RETENCIÓN HÍDRICA. LA IMPORTANCIA DEL PORCENTAJE DE SUELO MOJADO EN EL CULTIVO DE NOGAL (JUGLAWS REGIA L.)

Giardina, C.⁽¹⁾; Morábito, J.⁽²⁾; Podestá, L.⁽²⁾

- (1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Rama Caída. Calle El Vivero s/n Rama Caída. (5603) San Rafael. Mendoza. Argentina.
(2) Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo). Facultad de Ciencias Agrarias. Mendoza. Argentina. giardina.claudio@inta.gov.ar

Introducción

El nogal en Argentina incrementó su superficie en las últimas décadas incorporando nuevas tecnologías, entre ellas el riego presurizado; aunque esta “tecnificación” no siempre ha asegurado un incremento de producción, sobre todo en suelos con problemas edáficos que limiten la expansión radical.

El desarrollo radicular de las plantas está definido genéticamente, por lo tanto, varía de acuerdo a la especie y a las características del portainjerto (Gutiérrez et al. 2006). Sin embargo, las condiciones del medio pueden limitar o estimular el desarrollo de las raíces como, por ejemplo, las características edáficas (resistencia a la penetración de las raíces, compactación natural o provocada, capas impermeables, etc.) y las prácticas culturales (sistema de riego, densidad de plantación, labranzas, etc.). En términos generales: a mayor desarrollo radicular, mayor producción (Ferreira, 2004).

Normalmente las raíces de las plantas exploran un volumen de suelo mayor que el que humedece un emisor de riego localizado. Esto tiene como resultado que, una parte importante del sistema radicular se mantiene en un suelo menos húmedo que ocasionalmente se moja con las lluvias.

El manejo inadecuado del riego puede provocar estrés hídrico, y reducir el crecimiento y desarrollo de los nogales, disminuyendo la producción y calidad de las nueces. La distribución del agua en un volumen mayor de suelo, podría ser una solución a este problema.

Por lo tanto, además de asegurar una alta eficiencia de aplicación y de uniformidad de distribución en el riego presurizado; se debe diseñar adecuadamente el sistema (teniendo en cuenta la textura edáfica), para lograr un alto porcentaje de volumen de suelo mojado (VSM) facilitando así la distribución del agua en el perfil, mejorando el balance agua-aire y por ende aumentando el desarrollo vegetativo-productivo de la planta.

Objetivos

- Estudiar el efecto del volumen de suelo mojado sobre parámetros de crecimiento y producción en plantas de nogal cv. Chandler.
- Contribuir a optimizar el riego presurizado en nogales.

Hipótesis de trabajo

En plantaciones de nogal regadas con riego presurizado ubicadas en suelos de escasa retención hídrica, un aumento del volumen de suelo mojado incrementa el crecimiento vegetativo (raíces, tronco y área foliar), modifica la distribución de raíces y aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos.

Materiales y Métodos

Se ensayó en un monte frutal de la variedad Chandler sobre Juglans hindsii con riego presurizado, en San Rafael (Mendoza-Argentina) para evaluar la respuesta a distintos volúmenes de suelo mojado (VSM) sobre parámetros de crecimiento vegetativo y productivo.

Los tratamientos fueron; T1: 44% de VSM con doble línea de goteros por hilera de plantación; T2: 56% de VSM con cuádruple línea de goteros por hilera de plantación y T3: 42% de VSM a través de una línea de microaspersores por hilera de plantación. Se suministró el 100% de los requerimientos hídricos del cultivo, calculando las necesidades netas y brutas de agua de riego según lo propuesto por Pizarro (1996). Se controló humedad de suelo (gravimetría) y estado hídrico de la planta (potencial hídrico xilemático al mediodía) para evitar déficit hídrico. El desarrollo radicular, se evaluó al inicio y al final del ensayo. También se evaluó el crecimiento del área de sección transversal del tronco (ASTT) y el área foliar de cada tratamiento.

Para evaluar los rendimientos, se registró el peso de producción (kg de nueces con cáscara) por planta en cada tratamiento. También se extrajo una muestra de 100 frutos por tratamiento y se determinó peso individual de la nuez con cáscara, y sin cáscara (pulpa). Además, se midió el calibre longitudinal y ecuatorial de cada nuez; y el porcentaje de llenado de la misma.

Para conocer el comportamiento del agua en el perfil edáfico de cada tratamiento, se procedió a extraer muestras de suelo, 48 hs posteriores al riego. La extracción se realizó tomando muestras con barreno tipo holandés a profundidades de 0,0-0,2 m, 0,2-0,4 m, 0,4-0,6 m y 0,6-0,8 m; y en una cuadrícula superficial de 0,2 m por 0,2 m con centro en la planta elegida y cubriendo una posible área de exploración radicular de 4,0 m a ambos lados de la hilera y 1,5 m de radio a ambos lados de cada planta, en el sentido de la hilera.

Resultados y Conclusión

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos fueron integrados mediante el programa SURFER (Golden Software, 1986) con el fin de obtener isolíneas de igual contenido hídrico.

Tabla 1.- Escala de color para las categorías de humedad de suelo.

Categoría	Color
Mayor a capacidad de campo (Wc)	
Entre capacidad de campo (Wc) y 40% de agotamiento	
Entre 40% de agotamiento y punto de marchitez permanente (PMP)	
Menor a punto de marchitez permanente (PMP)	

Para mejorar la interpretación de las mismas, se agruparon los rangos para diferenciar 4 categorías como muestra la tabla 1.

En la figura 1 se aprecia el contenido hídrico del suelo 48 hs posteriores al riego para el tratamiento con dos mangueras de goteo (T1). El valor cero en el eje de abscisas representa la ubicación de la planta. Los valores negativos en el eje de ordenadas representan la profundidad de suelo.

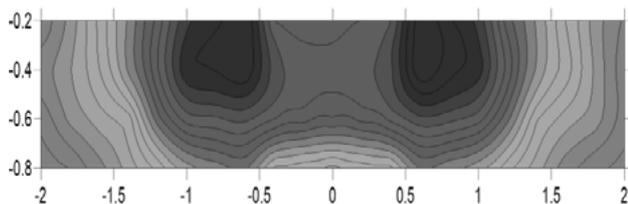


Figura 1.- Distribución de humedad edáfica en T1 en el plano perpendicular a la hilera de plantación.

Se observa el mayor contenido de humedad a los 0,60 m de distancia a ambos lados de la planta coincidente con la ubicación de los emisores. Además, se aprecia la unión de los bulbos húmedos con contenidos de humedad aprovechable por la planta.

Para T2, la distribución de los contenidos de humedad 48 hs posteriores al riego mostró la ubicación de las cuatro mangueras distanciadas aproximadamente a 0,6 m y 1,2 m, ambos lados de la planta. Los bulbos húmedos se solaparon perfectamente. En la figura 2 se observa un importante desarrollo del volumen de suelo mojado (VSM), que en superficie alcanza alrededor de 3,4 m de ancho y en profundidad, alcanza los 0,75 m.

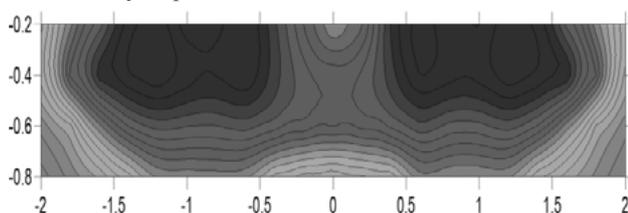


Figura 2.- Distribución de humedad edáfica en T2 en el plano perpendicular a la hilera de plantación.

En el T3 regado por microaspersión (figura 3), la distribución de la humedad, 48 hs posteriores al riego, es muy particular ya que, en superficie el emisor mojó un radio de 1,5 m desde la planta, pero a medida que se profundiza en el perfil, la humedad se concentró en un diámetro de 2,0 m. La profundidad de mojado resultó menor, próxima a los 60 cm.

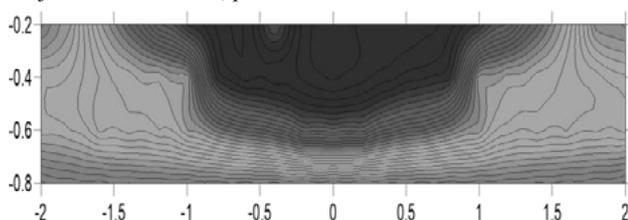


Figura 3.- Distribución de humedad edáfica en T3 en el plano perpendicular a la hilera de plantación.

Las mediciones de potencial hídrico xilemático (Ψ_x) realizadas a mediodía, indican que no existió déficit hídrico en las plantas entre mediados y fines del verano según lo mencionado por Ferreyra y Selles (2001).

Un parámetro importante a analizar es la distribución de raíces. Se aprecia en T1, una exploración radicular muy importante en las franjas más superficiales al comienzo del ensayo. Si bien, la presencia de raíces en el perfil edáfico se registra hasta una profundidad de 1,20 m; la mayor cantidad de ellas (más del 90%), se muestran en los primeros 0,80 m. Al finalizar el ensayo, se observa que el desarrollo radicular se extendió hasta el 1,40 m de profundidad; manteniendo el volumen de raíces (más del 90%) concentrado en 1,00 m de perfil edáfico. El incremento de raíces menores de 2 mm de diámetro fue de 50%.

En T2, al comienzo del ensayo, la exploración radicular se concentró en los primeros 1,20 m de perfil, siendo muy importante en el estrato de 0,0 a 0,80 m. Al finalizar el ensayo, se registró la presencia de raíces hasta los 1,40 m de profundidad, pero manteniendo la concentración del sistema radicular en el primer metro. El incremento de raíces durante el ensayo fue del 62 % para T2.

En T3, las raíces inicialmente presentaron un desarrollo hasta 1,0 m de profundidad; aunque su mayor distribución se aprecia en los primeros 0,80 m. Al finalizar el ensayo, el sistema radicular no modificó su desarrollo vertical, pero incrementó su densidad por franja; especialmente en las más superficiales (hasta los 0,60 m). El incremento de raíces entre el inicio y la finalización del ensayo fue de 40%.

Al evaluar el incremento de área de sección transversal del tronco (ASTT), se encontró que todos los tratamientos tuvieron incremento, pero el mayor incremento fue para el tratamiento de 4 laterales de riego (T2). Igual comportamiento presentó T2 al analizar el área foliar, donde se diferenció significativamente de los demás tratamientos.

En el rendimiento promedio por planta, se aprecia que los tratamientos de 4 mangueras de goteo (T2) y microaspersión (T3) se diferenciaron del T1.

En los tres tratamientos, el rendimiento aumentó en forma sostenida durante los tres años de evaluación y si se toma como referencia el rendimiento promedio del oasis sur de Mendoza, que ronda los 3000 kg/ha (IDR, 2016), T1 se encuentra muy cerca de ese promedio mientras que, los restantes dos tratamientos han superado esa media en un tiempo relativamente corto. En T1 y T2 se obtuvo mayor porcentaje de nueces comerciales. Semejante comportamiento se observó en el calibre de nueces sin cáscara. El color predominante de la semilla fue claro o blanco en todos los tratamientos.

Considerando que el volumen total de suelo disponible y potencialmente explorable por las raíces de la planta fue de 19,2 m³, T1 presentó un porcentaje total de suelo mojado del 44%; el T2 tuvo un 56% y el T3 del 42%.

En conclusión, T2 logró el mayor porcentaje de suelo mojado; mientras que T1 y T3 presentaron valores muy parecidos. El porcentaje de incremento de raíces menores y mayores a 2 mm en T2 también fue mayor (62% y 78% respectivamente) y muy por encima de los restantes tratamientos. T2 logró un incremento significativo de la variación del área de la sección transversal del tronco (ASTT), y del desarrollo del área foliar.

Todos los tratamientos incrementaron sus rendimientos (kg.planta⁻¹), siendo mayores los rendimientos logrados en T2 (10,67 kg.planta⁻¹) y T3 (10,06 kg.planta⁻¹) que el alcanzado por T1 (7,3 kg.planta⁻¹).

Ante la presencia de suelos pocos profundos y/o de escasa retención hídrica resulta relevante incrementar el volumen de suelo mojado en la parcela frutal.

Referencias Bibliográficas

- Ferreyra, R. y Sellés, G. (2001). Riego deficitario controlado en nogales. Estrategias de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales. Boletín INIA # 58. Chile.
- Ferreyra, R. y Sellés, G. (2004). Riego en nogales. INIA-La Platina. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Golden Software, Inc. (1986). SURFER. 809 14th Street, Golden, Colorado, USA. <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>
- Instituto de Desarrollo Rural, (2016). Censo de propiedades productoras de frutos secos de Mendoza. Mendoza. Argentina
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo, micro aspersión y exudación. 3ra edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES EN ACUÍFEROS SOMEROS, PARTIDOS DE FLORENCIO VARELA Y BERAZATEGUI

Gil, Joaquín^{1,2}, María Marta Trovatto¹; Mónica Salvio³

¹ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (CEIDE- FCNyM- UNLP), 1 y 45, La Plata, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

³ UIDET-Gestión Ambiental, Dpto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP. 47 y 116. La Plata Argentina. joagil6@gmail.com; mmtrvatto65@gmail.com; msalvioli@ing.unlp.edu.ar

Introducción

En el marco del proyecto de diagnóstico e indicadores de gestión de cuencas, se lleva adelante desde el año 2010 a la actualidad, el monitoreo de niveles de agua subterránea en acuíferos someros en la cuenca del arroyo Conchitas – Plátanos, en los partidos de Florencio Varela y Berazategui. Dicho arroyo se ubica en un ambiente de llanura del noreste de la provincia de Buenos Aires, en la región Pampa Húmeda dentro de la unidad geomorfológica Pampa Ondulada. El agua subterránea contenida en los acuíferos someros, freático Pampeano y semiconfinado Puelche, representa la fuente principal de abastecimiento para el uso doméstico, rural intensivo, residencial e industrial (acuífero Puelche), y en menor medida, el uso florihortícola y doméstico (acuífero Pampeano), (Trovatto et al., 2013, Gil, 2021). La cuenca del arroyo Conchitas-Plátanos presenta una configuración sub-rectangular con drenaje de tipo dendrítico, emplazada sobre dos geoformas principales, la Llanura Alta y la Llanura Costera, esta última fuera del área de estudio. La primera se caracteriza por el modelado fluvial que desarrolló un paisaje ondulado sobre depósitos de loess pampeano, con cotas topográficas en el orden de 30 m s. n. m. en el sector superior o de cabeceras. Las unidades hidrogeológicas presentes en esta región son: los sedimentos pampeanos de edad Pleistocena – Holocena (limos lessoides de origen eólico, con espesores de 20 a 45 m), alojándose en su parte superior el acuífero libre Pampeano, y en su base presenta un limo-arcilloso de 6 m de espesor, de carácter acuitardo de baja conductividad. Continúan en profundidad arenas finas a medias de origen fluvial, de edad Plio – Pleistocena de espesores de 20 a 30 m, donde se aloja el acuífero Puelche. Estos depósitos de arena se disponen sobre arcillas verdes de origen marino (Formación Paraná), de edad miocena, de comportamiento acuícludo, consideradas en este estudio como base del sistema.

Materiales y métodos

En campañas anuales de monitoreo en los años 2010, 2018, 2019, 2022, y 2023, con interrupciones entre los años 2011 a 2017, y 2020-2021, ha sido registrada la profundidad del nivel de agua subterránea de ambos acuíferos en varias perforaciones ubicadas en la zona de cabeceras y en la cuenca media del arroyo Conchitas-Plátanos (Figura 1).



Figura 1.- Ubicación de pozos de monitoreo de nivel.

Los mismos conforman la red de monitoreo de agua subterránea de la cuenca. Se analiza el comportamiento de los niveles registrados, en relación al evento de sequía sucedido en los últimos tres años y los diferentes usos del recurso hídrico subterráneo. Se trabajó con datos de precipitación y temperatura de la estación Observatorio La Plata, para el lapso de los últimos 40 años mediante la realización de un balance hídrico modular aplicando la metodología planteada por Thornthwaite-Mather (1957). Se plantearon balances seriados de los últimos 5 años (2018 a 2022) empleando el programa Balshort 3.0. (Carrica, 1993), con registros de precipitación y temperatura diaria, con el fin de dar resolución a los balances para años con valor de precipitación anual acumulada muy por debajo de la media anual. Los datos de niveles medidos en el acuífero Pampeano (Pm) y en el acuífero Puelche (Pch) se utilizaron para analizar la posición y el comportamiento de los niveles, representar redes o mapas de flujo e identificar la diferencia de carga hidráulica entre ambos acuíferos.

Hidrometeorología

Para el módulo 1909-2022, la temperatura media anual es de 16,3 C°, donde las máximas temperaturas se distribuyen en el trimestre diciembre - enero (verano) y las mínimas (invierno) en el trimestre junio - agosto, respondiendo ambas a un patrón estacional. La precipitación media anual para el período de 114 años es de 1045 mm/año y la evapotranspiración real de 793 mm/año, con excesos hídricos anuales de 252 mm, distribuidos entre los meses de abril a noviembre, con el máximo medio mensual en julio (46 mm).

Se detallan los excesos hídricos resultantes para los diferentes años, 2010 (408 mm), 2018 (528 mm), 2019 (417 mm), 2020 (128 mm), 2021 (45 mm), 2022 (8 mm) y principios de 2023 (0 mm). Es posible relacionar el mayor valor del año 2018 con el ascenso de los niveles en el año 2019 (Figura 2), como respuesta al proceso de infiltración y recarga, una vez satisfecha la capacidad hídrica del suelo.

A partir del año 2020 hasta el 2022 y 1er trimestre de 2023, se observa una disminución de los excesos hídricos calculados, indicando un menor ingreso de agua al sistema, para valores de precipitación por debajo de la media anual (856 mm, 810 mm, 576 mm, y 99 mm, respectivamente).

Análisis de Carga hidráulica

Con los datos niveles de ambos acuíferos registrados en perforaciones próximas entre sí, se calcularon las diferencias de carga hidráulica entre los pozos Pm 35-Pch 45, y Pm 0-Pch 1, ubicados en las nacientes de la cuenca, y para los pozos Pm 15-Pch 34 y Pch 5-Pm 6, situados en el límite oeste-noroeste y sector norte del área de estudio, respectivamente. En la Tabla 1 se presentan los valores de nivel de agua subterránea en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m), agrupados por par de pozos a ambos acuíferos, y la diferencia de carga hidráulica (ΔH) para cada posición temporal registrada. Los valores obtenidos mantienen un orden de magnitud semejante para cada posición

temporal. Se reconoce mayor diferencia de carga hidráulica en 2010, mínima o nula diferencia en 2018, una diferencia creciente para 2019, pero menor que en 2010, y una diferencia en aumento para 2022.

Tabla 1. Niveles freáticos-piezométricos (m s.n.m) y diferencia de carga hidráulica ΔH (m).

Pozo / Año	2010	2018	2019	2022	2023
Pm 15	-6,24	-9,3	-7,54	-10,96	-12,2
Pch 34	-10,8	-10,13	-8,87	-14,64	-17,19
ΔH	4,56	0,83	1,33	3,68	4,99
Pm 0	19,99	15,68	17,88	11,4	9,52
Pch 1	16,78	15,58	16,46	14,8	9,16
ΔH	3,21	0,1	1,42	-3,4	0,36
Pm 6	-5,38	-	-3,29	-4,99	-6,71
Pch 5	-10,39	-	-6,85	-8,87	-
ΔH	5,01	-	3,56	3,88	-
Pm 35	-	-	23,58	19,4	15,27
Pch 45	-	-	22,26	17,34	14,76
ΔH	-	-	1,32	2,06	0,51

La diferencia de carga hidráulica presenta valores positivos a favor del acuífero Pampeano (excepto Pch1 – Pm 0 en 2022). Para el año 2023 se reconocen diferencias de ΔH semejantes a los años anteriores, a excepción de par Pm 15-Pch 34 donde presenta más de 4m de diferencia a favor del acuífero Pampeano. Se evidencia un descenso continuo en los niveles de ambos acuíferos durante los tres últimos años registrados (Figura 2).

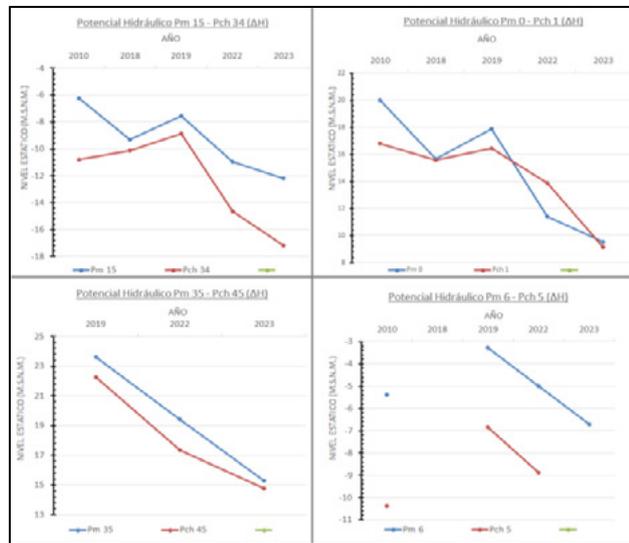


Figura 2.- Posición de niveles y diferencia de carga hidráulica en acuíferos Pampeano y Puelche.

La diferencia de carga hidráulica es positiva a favor del acuífero Pampeano, condición todavía favorable para el proceso de recarga por filtración vertical descendente hacia el acuífero Puelche.

Modelo conceptual

En la Figura 3 se presenta el modelo conceptual de funcionamiento del sistema geohidrológico, donde se sintetiza la

interacción entre la actividad antrópica en superficie, la extracción de los acuíferos y las condiciones dinámicas del ciclo hidrológico (Figura 3).

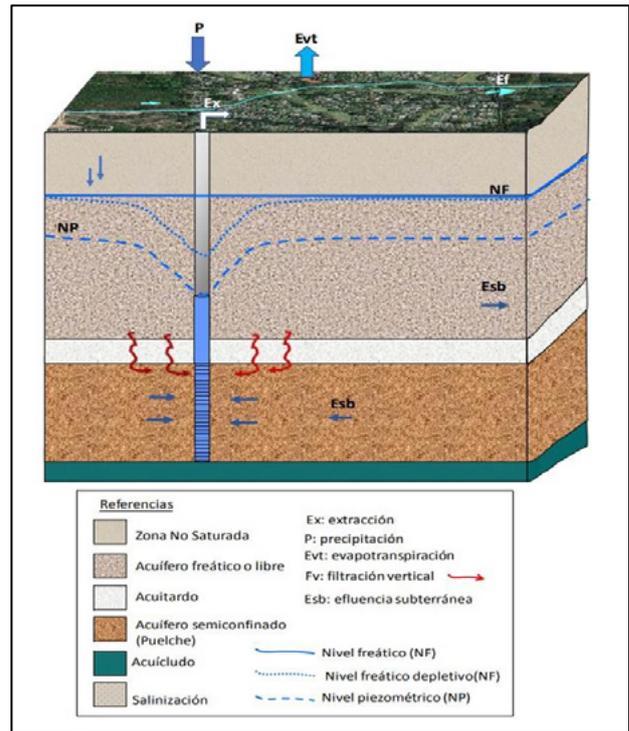


Figura 3.- Modelo conceptual del sistema de acuíferos someros en Llanura Alta.

Se reconoce un descenso de los niveles por la disminución de los aportes pluviales, inferiores a la precipitación media anual, y por la influencia de la extracción intensiva del recurso hídrico, determinando una menor recarga al acuífero Pampeano. El aporte de agua al sistema se asocia a los mayores excesos hídricos calculados para el año 2018, reflejado en el ascenso del nivel freático en el acuífero Pampeano para el 2019.

La precipitación registrada en los años 2020, 2021, 2022 y principios de 2023, por debajo del promedio anual, indica menor disponibilidad de excesos hídricos. Desde el año 2010 a la actualidad, el descenso de los niveles freáticos (fenómeno de depleción o agotamiento) y de niveles piezométricos (extracción intensiva), afecta a usuarios particulares sin acceso a red de agua potable (profundización de perforaciones), identificando el conflicto en el uso del recurso hídrico.

Referencias

- Carrica, J. (1993). Balshort: "Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental Pampeana." *Actas XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Tomo XXXX Buenos Aires, 111-111.
- Gil, J. (2021). "Caracterización hidrogeológica de los acuíferos someros en el ámbito de la cuenca alta de los arroyos Conchitas-Plátanos." Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de La Plata (inédito). 68 p. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Thornthwaite, C. W., y Mather, J. R. (1957). "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance." *Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology*, 3(10), 183-311.
- Trovatto, M.M., Álvarez, M. P., González, N., y Hernández, M. A. (2013). "Evidencias hidrodinámicas de explotación intensiva en cuencas del noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina." En Nilda González, E. Kruse, M. M. Trovatto y P. Laurencena (Editores): *Agua subterránea recurso estratégico*. Tomo I. 84:91. La Plata.

FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA LAGUNA LAS BARRANCAS, MODELADO Y BALANCE HIDROLÓGICO.

Gil, Joaquín^{1,2}, Rodríguez Capitulo, Leandro^{1,2}, Fucks, Enrique^{1,3}

¹ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE- FCNyM- UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

E- mail: joagil6@gmail.com; leandrorodriguescapitulo@gmail.com; efucks@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

La laguna Las Barrancas se encuentra ubicada en un ambiente de llanura en el ámbito de la Pampa Deprimida, del centro-este de la Provincia de Buenos Aires. La misma pertenece al sistema fluvio-lacustre de Lagunas Encadenadas de Chascomús, siendo este sistema el más destacado tributario del río Salado. Las Barrancas posee una superficie aproximada de 900 Ha, una profundidad media de 1,6 m y está situada en altitudes cercanas a los 6 m s.n.m.- metros sobre el nivel del mar- (Dangavs 2009). La cuenca hidrográfica del río Salado, posee una pendiente regional menor a 0,007%, destacándose pequeñas elevaciones asociadas a acumulaciones eólicas, como la presente en el margen Este de la laguna. Se encuentra en la cuenca baja, dentro de su afluente de mayor jerarquía (las lagunas encadenadas de Chascomús), siendo la Laguna las Barrancas la última de esta sucesión de lagunas antes de desembocar en el Río Salado a través del arroyo La Horqueta (Figura 1). Las vías de acceso a la Laguna son a través de caminos rurales vinculados a la RP 57, la cual vincula las localidades de Pila y de Lezama, o también desde la RP 2 que va desde la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a la Ciudad de Mar del Plata. El clima es templado-húmedo con una marcada estacionalidad térmica. La temperatura media anual es de 15,1°C y las precipitaciones medias anuales rondan los 1000 mm



concentradas en los meses de verano.

Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

El objetivo de este trabajo es el de caracterizar la dinámica hidrológica y formular un modelo conceptual de funcionamiento de la laguna; en base a material antecedente, datos de precipitaciones y niveles de agua subterránea; realizar el balance hidrológico y analizar aquellas variables que condicionan su comportamiento. Los datos de precipitaciones y temperaturas son provistos por el Servicio Meteorológico Nacional. Para la realización del modelo conceptual 3D, se procesan imágenes satelitales, Modelos Digitales de Elevación (MDE), registros de aguas superficiales y subterráneas e información geológica superficial y de subsuelo reconocida en campo en afloramientos y perforaciones. Las imágenes utilizadas fueron SPOT 5 (2,5 m de

resolución espacial), provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales. En tanto que las capas ráster del MDE, con resolución espacial de 30m se descargarán de la página oficial del Instituto Geográfico Nacional. Los distintos niveles de información se integrarán en un SIG (QGIS 2.16.)

Balance Hidrológico

El balance hídrico, según lo establecen Custodio y Llamas (1983), no es más que la aplicación del principio de la conservación de la masa (ecuación de continuidad) a una región definida por ciertas condiciones de contorno. Para su realización, en este trabajo, se utilizó un modelo bajo régimen no permanente, del tipo:

$$\text{Ingresos} - \text{Egresos} = \pm \text{Variación del Almacenaje}$$

Esto es, la diferencia entre el total de las entradas y el total de las salidas, en el período de tiempo considerado, debe ser igual a la variación en el almacenamiento en este caso expresado como volumen, dado que se puede considerar como constante el valor de densidad.

La expresión clásica para resolver el balance hidrológico de una cuenca exorreica es:

$$P + A_{fsp} + A_{fsb} + A_i - E_{vt} - E_{fsp} - E_{fsb} - A_e = \pm S_{sp} \pm S_{sb}$$

donde:

P = Precipitación A_{fsp} = Afluencia superficial

A_{fsb} = Afluencia subterránea A_i = Agua importada

E_{vt} = Evapotranspiración

E_{fsp} = Efluencia superficial

E_{fsb} = Efluencia subterránea A_e = Agua exportada

S_{sp} = Almacenamiento superficial

S_{sb} = Almacenamiento subterráneo

La ecuación simplificada a utilizar es la siguiente:

$$P + A_{fsp} + A_{fsb} - E_{vt} - E_{fsp} - E_{fsb} = \pm S_{sp} \pm S_{sb}$$

Ya que en el área de estudio no existe A_i ni A_e . Los términos A_{fsb} , A_{fsp} se pueden considerar como los excesos hídricos calculados en el balance hídricos. Los excesos hídricos calculados están distribuidos entre E_{sub} y sup y el S_{sup} y sub . Y parte va al S_{sup} y sub . Considerando los $E=A$, se estiman los valores de reserva/almacenaje Sup y Sub .

Hidrometeorología

Para el cálculo de la precipitación y la evapotranspiración, se realizó un balance hídrico para el módulo de 28 años (período 1994-2021). Se utilizaron datos históricos de precipitaciones y temperaturas de la Estación Meteorológica Dolores Aero (36° 19' de latitud sur, 57° 42' de longitud oeste, altitud 10 m s.n.m.). A través de la metodología de Thornthwaite-Mather (1957), se elaboró: el balance hídrico con los insumos de precipitación y temperatura medias mensuales, el cálculo de la Evapotranspiración potencial y la Evapotranspiración real, considerando un valor de capacidad de campo de 150 mm para la zona de estudio (Dangavs y Dallsalda, 1977). El balance hídrico para el período analizado muestra una evapotranspiración potencial y real con un valor de 679,7 mm, los excesos

hídricos anuales de 295,8 mm, los cuales se encuentran distribuidos en todos los meses del año a excepción de diciembre, siendo en marzo, abril, julio y agosto superiores a los 30 mm. Se identificaron los excesos y déficits hídricos, y su localización intra-anual, para el periodo analizado (Figura 2). Esta condición favorable de los excesos hídricos, junto con la geomorfología del área con pendientes extremadamente bajas, favoreciendo la presencia de los cuerpos lentos.

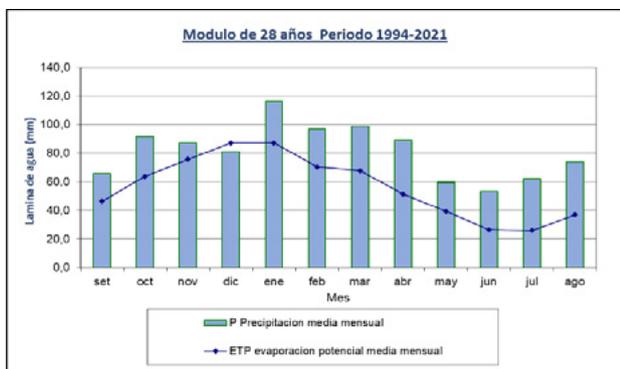


Figura 2.-Precipitación y Evapotranspiración Potencial media mensual.

Caudales superficiales y balance hidrológico

Los caudales registrados por Mirinsky (2001) en el arroyo desembocadura de la Laguna de Chascomús (arroyo Girado), presentaron valores de caudales medios anuales de 11,5 Hm³, con variaciones de 0 hm³ en los meses estivales, y un valor medio de 20 Hm³ para los meses invernales, en coincidencia con los meses de mayores precipitaciones. Este valor de caudal de 11,5 Hm³/año es considerando como el caudal que ingresa a la laguna Las Barrancas, dado que pertenece al sistema de la subcuenca de las Encadenadas de Chascomús, siendo el termino de Afluencia superficial (Afsup) en la ecuación del balance hidrológico. Además, Mirinsky (2001) menciona que: “el caudal de agua subterránea está desplazado unos meses con respecto al de agua superficial, siendo importante recién en la primavera de 1999. El aporte del agua subterránea resultó aproximadamente el 25 % del aporte del agua superficial. El tiempo de residencia promedio de la masa de agua en la laguna durante el año de estudio, determinado como relación entre el volumen de la laguna y la suma de aportes entrantes, resultó de aproximadamente 4 meses”. Con esta información de residencia del agua de las lagunas y siendo el valor de volumen de agua de la laguna Las Barrancas de 10,63 Hm³; el valor de caudal del Almacenamiento superficial (±Ssp) anual es de 31,89 Hm³/año.

Utilizando la ecuación de $Q=V.A$ para pasar todos los términos a Hm³/año, Donde: Q= Caudal; V= Velocidad; A= área; y sabiendo que el área de estudio es de 300 km² (área de ocupación del sector medio e inferior de la subcuenca de las Encadenadas de Chascomús). Se agregan estos valores a la fórmula:

$$292,5 \text{ Hm}^3/\text{año} + 11,5 \text{ Hm}^3/\text{año} + \text{Afsup} - 203,9 \text{ Hm}^3/\text{año} - \text{Efsup} - \text{Esub} = \pm 31,89 \text{ Hm}^3/\text{año} \pm \text{Ssb}$$

Se despeja el Almacenamiento subterráneo (Ssb) asumiendo que agua superficial y subterránea que ingresa y egresa al sistema son iguales (Asup=Esup y Asub=Esub), pudiendo anularse estos términos, la ecuación queda:

$$\text{Ssb} = 292,5 \text{ Hm}^3/\text{año} - 203,9 \text{ Hm}^3/\text{año} - 31,89 \text{ Hm}^3/\text{año} = 56,71 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

Luego del análisis, calculo y recopilación antecedente de los términos que involucran la ecuación del balance hidrológico, se presentan los valores de cada termino en unidades de Volumen (Hm³/año) y en Altura de lámina de agua (mm), (Tabla 4).

Tabla 1.- Valores calculados de los términos del Balance hidrológico.

	Volumen [Hm ³ /año]	Altura [mm]
P	292,5	975
Evt	203,9	679,7
Afsup = Efsup	11,5	38,3
Afsub = Efsup	-	-
Ssp	31,9	106,3
Ssb	56,7	189

Modelo conceptual de funcionamiento

A continuación, se plantea el modelo conceptual para una comprensión general del funcionamiento del sistema geohidrológico (Figura 3), desarrollado en la parte superior de la secuencia sedimentaria contemplando esencialmente a la laguna el lunette y, llegando hasta una profundidad del orden de 50 m. Geológicamente el sistema comprende:

- Pleistoceno superior: incluye a “limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas” de la Formación Pampeano y la parte inferior de los pellets de arcilla propios del lunette.
- Holoceno temprano: refiere a los “pellets de arcilla” y paleosuelos relacionados a barreras depósitos superiores del lunette. (Formación Barrancas).
- Holoceno tardío: representado por las “arcillas limosas” propios de los sedimentos lacustres.

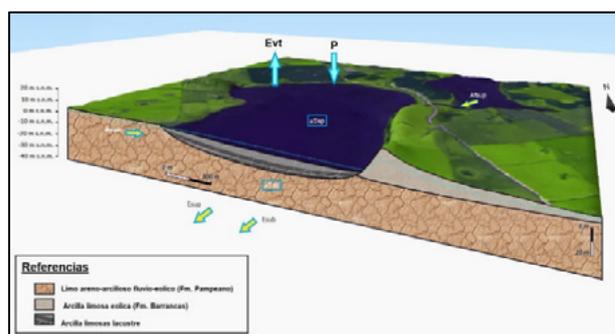


Figura 3.- Modelo conceptual hidrológico de la Laguna Las Barrancas.

Este sistema geohidrológico se caracteriza por su continuidad hidráulica, entre los niveles acuíferos y el agua de la laguna. La capa freática se recarga naturalmente en forma directa por infiltración de los excesos hídricos de la precipitación, siendo esto más manifiesto en los sectores topográficamente más altos como es el lunette al Este de la laguna, el cual alcanza valores topográficos de 24 m s.n.m., siendo que el resto de los márgenes de la laguna se encuentra entre los 6 y los 9 m s.n.m.

Referencias

- Custodio, E., y Llamas, M. R. (1983). “Hidrología subterránea”. Omega. Barcelona.
- Dangavs, N. V. & L. H. Dallasalda. (1977). “Geología, sedimentología y limnología de la laguna Yalca, partido de Chascomús, provincia de Buenos Aires, Rep. Argentina.” Comisión de Investigaciones Científicas. Buenos Aires, informe 24, 67 pp.
- Dangavs, N. V. (2009). “Los paleoambientes cuaternarios del arroyo La Horqueta, Chascomús, provincia de Buenos Aires.” Publicado en “Revista de la Asociación Geológica Argentina”, 64(2), 249-262.
- Hernández, M. A. (1993). “Método para estudios hidrológicos en una cuenca endorreica”. Conferencias de Limnología, Instituto de Limnología “Dr. A. Ringuelet”. La Plata. Buenos Aires.
- Miretzky, P. S. (2001). “Procesos geoquímicos en la Cuenca baja del río Salado, provincia de Buenos Aires”. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Thornthwaite, C. W. (1957). “Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance.” Publications on “Climatology”, 10, 185-310.

EQUIFINALIDAD EN MODELOS DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA CUENCA DEL ARROYO DEL AZUL, ARGENTINA

Aile Sellenne Golin^{1,2}, Luis Sebastián Vives¹, Erik Daniel Zimmermann^{2,3}

¹Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA). Italia 780 C.C. 47 Azul, Buenos Aires B7300, Argentina.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Rivadavia 1917, CABA, Buenos Aires C1425FQB.

³Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM). Riobamba 245 bis, Rosario 2000, Santa Fe, Argentina.

Contactos: +54 02281-432666 (IHLLA); agolin@ihlla.org.ar, lvives@ihlla.org.ar y erikz@fceia.unr.edu.ar

Introducción

Los flujos regionales en extensas llanuras, como es el caso de la zona de estudio (Figura 1), se comportan como sistemas hidrológicos no típicos (SHNT), expresándose preferentemente en el sentido de la vertical como una marcada interacción entre la hidrología superficial y la subterránea; la motivación de muchos trabajos es cuantificar los procesos dominantes respecto a las evoluciones de niveles freáticos y flujos con la atmósfera.

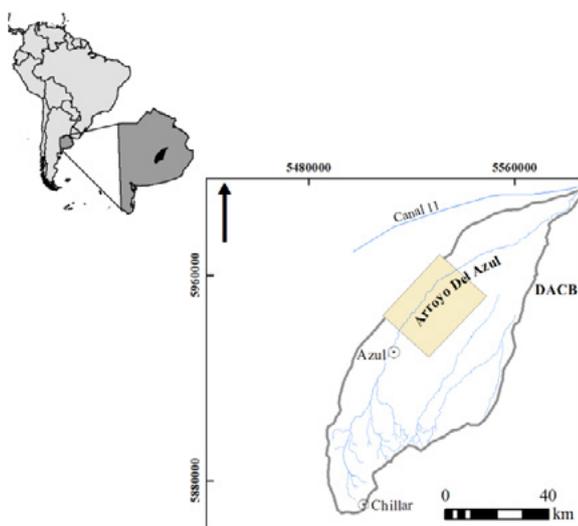


Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio.

Reproducir el funcionamiento real de una cuenca mediante la calibración de un modelo hidrológico conceptual es una tarea extremadamente complicada debido a la multidimensionalidad del problema de optimización (Shokry, 2018), se pueden representar con modelos que se comportan de formas distintas, es decir, en los que los procesos que generan los flujos (superficial, inter flujo y base) repartidos de forma diferente (Beven y Binley, 1992). Por otro lado, la ciencia intenta definir una única descripción verdadera de la realidad, por lo que llegar a la conclusión de que debe haber múltiples representaciones factibles: no es esperable, incluso por los usuarios de investigación, pudiendo interpretar la ambigüedad resultante de las predicciones como un fracaso, más la “equifinalidad” de las representaciones no es incompatible con la ciencia (Beven, 2006). En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar de la variedad de modelos, generados a partir dos enfoques diferentes, sus conjuntos de parámetros y condiciones de borde, que a primera vista podrían generar predicciones de salida similares o ajustes aceptables a los datos de observación disponibles para su uso en la calibración de modelos en la zona de estudio. Este trabajo busca reflexionar sobre esta diversidad y sus implicaciones.

Materiales y Métodos

Tomamos como punto de partida el trabajo de Zimmermann et al (2020) donde se construyó un modelo de flujo subterráneo de

carácter distribuido con celdas cuadradas 1 km, 696 celdas (24 filas, 29 columnas), en una porción de la cuenca media del arroyo del Azul entre las localidades de Parish y Shaw. Consecuente con la hipótesis de flujo paralelo en el espesor de 0 a 40m de profundidad, acuerdo a las observaciones piezométricas indiferenciadas entre el acuífero freático y más profundos (Zabala, 2010); con entradas y parámetros uniformes en el dominio estudiado, para dar respuesta a preguntas científicas desde el enfoque de la eco hidrología.

Se simuló desde octubre de 2014 hasta abril de 2019, con paso de tiempo de 1 día. Se consideró un período de calentamiento desde el inicio hasta abril 2017, y de calibración para el resto.

Se calibró globalmente con la transmisividad del acuífero, el coeficiente de almacenamiento, un coeficiente de recarga, una profundidad crítica para la evapotranspiración y un coeficiente de forma para la curva evapotranspiración vs. profundidad freática.

Se contó con series discontinuas de niveles freáticos observados sobre una transecta en el límite aguas arriba, utilizadas como condición de borde de nivel fijo (sur) que se completaron con una regresión lineal entre anomalías diarias de diferencias entre precipitación y evapotranspiración potencial. Complementariamente se impuso la condición de control de flujos regionales hacia el río Salado en el borde norte. No se simuló la interacción con el arroyo Del Azul.

Se obtuvieron coeficientes de Nash Sutcliffe para la comparación de los niveles freáticos calculados y las medidas en los 6 pozos de observación dentro de la zona de estudio, entre los valores 0.58 y 0.72. En el periodo de simulación de 43 meses, de características levemente secas, la recarga constituyó el 17 % de la precipitación, y el 87 % de la misma evapotranspiración. Se obtuvo también que el acuífero abastecería el 12.7 % de la evapotranspiración potencial del periodo.

Se propone luego un enfoque que pretende optimizar los recursos de observación para su posterior utilización en modelos de conectividad hidrológica, de flujos superficial-subterráneos. Para la simulación numérica del movimiento del sistema subterráneo se utilizó el código MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1984), que resuelve la ecuación de flujo de agua subterránea mediante el método de Diferencias Finitas. El sistema se consideró bidimensional (componente vertical despreciable), se lo modeló como medio poroso de una única capa de espesor constante, libre, saturado, con homogeneidad e isótropo, evaluado para un régimen temporal transitorio. El dominio modelado consistió en un rectángulo de 31 km en sentido SO-NE y de 39 km en sentido NO-SE (Figura 2), con una discretización espacial con una malla regular y uniforme (elementos cuadrados de 500m). En vertical, se consideró el flujo entre los niveles superficiales de DEM (SRTM v3) y una superficie a -40m del mismo extendiendo los límites del enfoque previo.

Se implementó el paquete de Río (River), para caracterizar el tramo del arroyo Del Azul en la zona de estudio.

En el proceso de calibración, el primer paso se resolvió un estacionario y posteriormente un transitorio. En el régimen estacionario se calibró manualmente con $K_{x,y}=5\text{m/d}$ coincidiendo con la interpretación de ensayos de bombeo y de modelación de estudios previos donde se estimó valores de permeabilidad equivalente $K_x=K_y=5\text{m/d}$ (Varni, 1997). La recarga (R) es

uniforme de 12.4 mm/año (1,4 % de la precipitación promedio anual). Para el régimen transitorio se consideraron los mismos periodos que el enfoque previo, con paso de tiempo de 30 días.

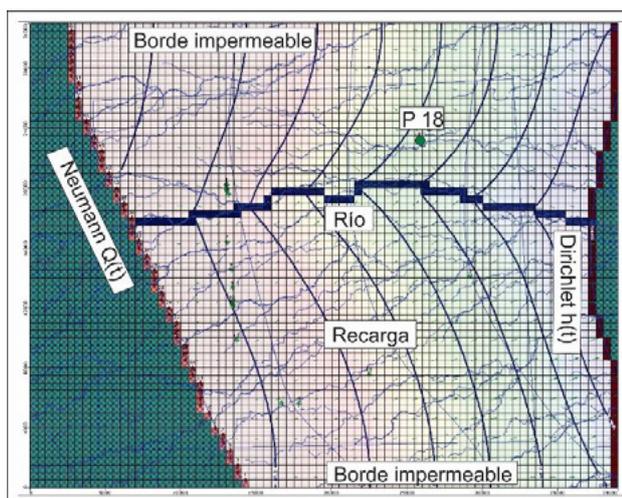


Figura 2.- Condiciones de borde régimen transitorio.

Como condiciones iniciales se utilizaron los valores obtenidos en el estacionario aguas arriba nivel constante 110m y aguas abajo 70m. Los contornos de la malla paralelos al flujo son impermeables (celdas nulas). Todo el tramo del río es de conductancia 2500 m/d, y el tirante 0.5 m.

Luego, sobre la isofreática de 110m, se asignó caudal fijado. Se mantiene el nivel fijo aguas abajo. La recarga se estimó mensualmente como proporción (10%) de los datos de precipitación. Para las celdas de río se consideró conductividad y tirante constantes 2500 m²/d y 0.5 m, respectivamente. El modelo se calibró manualmente, se obtuvo un rendimiento específico (Sy) de 6 %.

En ambos casos se contó con la base de datos hidrológicos del Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) de la cual se obtuvieron los caudales y alturas del arroyo Del Azul (en las estaciones de Parish y Cacharí), y los niveles piezométricos de dos redes de control, una freática (6m) y otra profunda (30m), que cubren toda la Cuenca del arroyo Del Azul. Se utilizaron las precipitaciones diarias del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación Aero Azul.

Resultados

El análisis del balance hídrico neto indica que durante el período calibrado (de mayo 2017 hasta febrero 2018), el acuífero aportó al arroyo en el sector de estudio un promedio de 0.17 m³/s. La tendencia de las piezometrías observadas y calculadas fue satisfactoria, se presenta como ejemplo la evolución temporal en el pozo 18 (Figura 3). La piezometría resultante sugiere que el flujo fluye hacia el arroyo Del Azul en la zona de estudio con gradientes que son menores a 2 m/km (Figura 2).

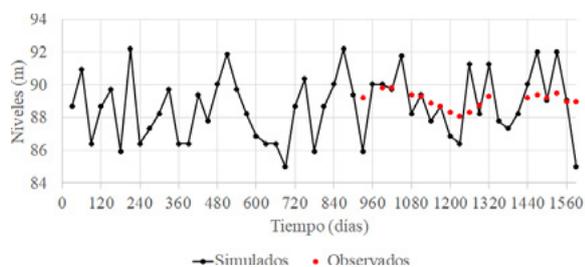


Figura 3.- Evolución temporal de los niveles en el pozo 18 para el período simulado, la línea continua son los valores calculados, los puntos son las observaciones cada 30 días.

Discusión

Ambos enfoques resuelven la misma ecuación, con diferentes métodos, mallas, paso de tiempo y condiciones de borde.

Los modelos como herramientas experimentales ayudan a mejorar la comprensión de los procesos dominantes además de la predicción, también se los utiliza para verificar si existen explicaciones teóricas coherentes de los procesos físicos.

Es fundamental mejorar los criterios para evaluar la calidad de las predicciones de los modelos, para ello se deben considerar tanto criterios cuantitativos como cualitativos, así como observaciones en el terreno para medir su éxito (Kykyby, 1996).

Para la misma zona de estudio y durante igual período de tiempo; de octubre de 2014 a abril de 2019 en Zimmerman (2020) se evaluó la calidad de la representación de los niveles freáticos, con observaciones y mediciones precisas de la distribución espacial y temporal del agua en la zona no saturada para responder preguntas científicas de ecología del paisaje; el nuevo enfoque busca maximizar el recurso de observación para optimizar la calibración, siendo esta una herramienta de expresión de la cuantificación del grado de creencia en las hipótesis factibles.

En el contexto de la equifinalidad, se reconoce que diferentes modelos hidrológicos pueden alcanzar resultados similares, pero a través de diferentes combinaciones de parámetros y estructuras. Esto implica que existen múltiples soluciones posibles para un mismo problema hidrológico, lo que destaca la importancia de considerar la variedad en la investigación hidrológica.

Conclusión

Se concluye que la variedad favorece la diversidad de preguntas científicas, lo que es esencial para avanzar en el conocimiento.

La pluralidad de modelos conceptuales no limita la producción óptima de previsiones de balances hidrológicos, ya que lo valioso es generar salidas de modelos que, incluso con sus incertidumbres, puedan ser utilizadas como datos en estudios posteriores para abordar los desafíos en la gestión sostenible de los recursos hídricos. En resumen, la equifinalidad en la modelación de sistemas de llanuras ofrece una oportunidad para abordar la hidrología de manera multidisciplinaria y utilizarla como herramienta para la gestión responsable del agua a largo plazo.

Referencias

- Beven, K. (2006). A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology*, 320, 18-36.
- Beven, K., Binley, A. (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6, 279-298.
- McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. (1984). A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, U.S. Geological Survey. *Techniques of Water Resources Investigations*, Book 6.
- Shokri, A., Walker, J.P., van Dijk, A.I.J.M., Wright, A.J., Pauwels, V.R.N. (2018). Application of the patient rule induction method to detect hydrologic model behavioural parameters and quantify uncertainty. *Hydrological Processes*, 32, 1005-1025.
- Varni, M., Vives, L., Weinzettel, P., Usunoff, E., Rivas, R. (1997). Estimación de la recarga en la zona central del acuífero del arroyo del Azul. *I Congreso Nacional de Hidrogeología*.
- Zabala, M. E., Manzano, M., Vives, L. (2010). Estudio preliminar del origen del fondo químico natural de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo del azul. *En I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras Azul*, Buenos Aires, Argentina.
- Zimmermann, E., Fajardo, L., Entraigas, I. (2020). Modelación preliminar del flujo subterráneo en un sector de la cuenca inferior del arroyo del azul (Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos del CURIHAM*, 26, 21-30.

CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA, ARGENTINA

Danielle Gomes da Silva Listo¹, Claudia Eleonor Natenzon² y Fabrizio de Luiz Rosito Listo¹

¹Universidad Federal de Pernambuco
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 6º andar, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil.
CEP: 50.670-901. +55-81-2126-8278.

danielle.listo@ufpe.br, frabrizio.listo@ufpe.br
²Universidad de Buenos Aires
Puan 480, Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina
(C1406CQJ)
cnatenzon@gmail.com

1. Introducción

Las sequías son fenómenos naturales, históricos y comunes en las regiones áridas y semiáridas del mundo, que ocurren gradualmente en el espacio y el tiempo. Como su comienzo y final suele ser difícil de identificar, ellas acumulan efectos adversos durante largos períodos causando importantes impactos negativos.

La sequía meteorológica se entiende como un fenómeno natural en el que las precipitaciones producen una reducción paulatina de la disponibilidad de agua principalmente para los grupos vulnerables (Wilhite, 2011). Dada la relevancia de sus impactos, se han realizado diferentes estudios en el contexto del cambio climático, abordando tanto los aspectos físicos (previsiones de temperatura y precipitación a partir de modelos climáticos globales) como la vulnerabilidad de poblaciones y territorios (Santos *et al.*, 2019).

Según el 6º Informe de Evaluación del Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), es probable que las zonas áridas y semiáridas se encuentren entre las regiones más afectadas por el cambio climático, con mayor frecuencia e intensidad de las sequías, lo que conducirá a una fuerte reducción en la disponibilidad de agua (Tavares *et al.*, 2019).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar las vulnerabilidades ante la ocurrencia de eventos que inducen escasez meteorológica en la Provincia de La Rioja, Argentina, con el fin de comprender su dinámica, considerando el potencial del ambiente árido y semiárido, en base a la medición y el análisis de variables relativas a la vulnerabilidad a la sequía.

2. Metodología

El presente trabajo adaptó la metodología aplicada por Rosendo (2014), que ha posibilitado identificar con mayor precisión qué áreas fueron más vulnerables a la sequía, a través de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad de afrontamiento.

Los datos fueron recolectados de CONAE, INTA, Y los Censos de Población 2010 y Agropecuario 2018 (INDEC), por ser los datos más recientes y confiables. Las variables que han integrado el índice de vulnerabilidad fueron:

2.1 Exposición: a) El evento: índice de anomalías de lluvia, índice de aridez e hipsometría del terreno; b) La población: población rural, residentes de 0 a 4 años, residentes mayores de 65 años, y vivienda - tierra o ladrillo suelto; c) La actividad: establecimientos agropecuarios con agricultura de regadío, cultivos permanentes y/o temporales, dependencia industrial de la materia prima agrícola, exposición de cultivos agrícolas y/o de rebaños.

2.2 Sensibilidad: a) Características socioeconómicas: mano de obra desempleada; b) Características tecnológicas: familias no atendidas por aljibe (en funcionamiento), por cisternas, y/o por camión cisterna, ausencia de cloacas y uso de pesticidas agrícolas; c) Características de la producción agropecuaria:

propiedades mecanizadas y áreas agrícolas degradadas o no aptas para la agricultura.

2.3 Capacidad de Afrontamiento: Capacidades sociales y económicas: tasa de analfabetismo, población que no recibe algún tipo de prestación y fuerza de trabajo que depende de la agricultura.

Con base en estos indicadores, se elaboró un mapa de vulnerabilidad a la sequía mediante el método multicriterio con ponderación de variables *Analytic Hierarchy Process* - AHP. En esta ponderación, la comparación por pares constituye un juicio mediante la atribución de pesos, donde se intenta determinar la importancia relativa de cada elemento de un nivel jerárquica con respecto a cada criterio en el siguiente nivel superior (Saaty, 1991). Estos pesos están determinados por una escala de juicios (*Fundamental Saaty Scale*) que varía entre 1 (cuando los criterios tienen la misma importancia) y 9 (para la importancia absoluta de un criterio sobre otro). Para asignar pesos a las variables se utilizaron como referencia los trabajos de Rosendo (2014), Olimpio (2017), Oliveira (2017), Sena (2017) y MMA-Brasil (2017).

3. Resultados

El resultado del índice de vulnerabilidad a la sequía obtenido mediante la comparación por pares de las dimensiones Exposición, Sensibilidad y Capacidad de Afrontamiento a través del AHP para la Provincia de La Rioja (Figura 1), demuestra que el condicionante más importante de la vulnerabilidad a los desastres por sequía fue la dimensión Exposición, con una influencia del 52% en el valor final. El segundo criterio condicionante más importante fue la dimensión Sensibilidad, con 34% de influencia para la vulnerabilidad. Sumado a estos, la dimensión Capacidad de Afrontamiento obtuvo un 14% de influencia.

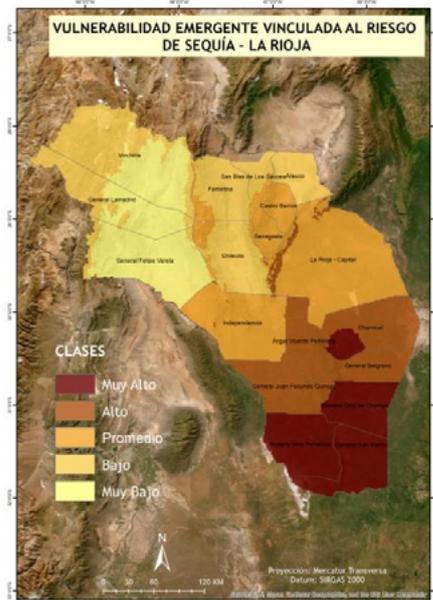
Estos valores son consistentes con los estudios de vulnerabilidad socioambiental a las sequías realizados para el semiárido brasileño elaborados por Rosendo (2014), Olimpio (2017), Oliveira (2017) y Sena (2017). El índice de consistencia obtenido para el escenario de vulnerabilidad fue de 0,05, indicando que los juicios presentaron una consistencia aceptable, es decir, menor a 0,10 (Saaty, 1991; 2008). De esta manera, los pesos se comportaron de manera coherente y podrían usarse para modelar la vulnerabilidad que surge del peligro de sequía.

De acuerdo con la modelación, los departamentos que presentaron un índice de vulnerabilidad **muy alto** fueron: General Belgrano, General Ortiz de Ocampo, Rosario Vera Peñaloza y General San Martín; seguido de los Departamentos Ángel Vicente Peñaloza, Chamental y General Juan Facundo Quiroga, con un **alto** índice de vulnerabilidad.

Los resultados de estos departamentos se deben a la relación entre las características de la población, esencialmente rural y económicamente dependiente de la agricultura, con las

características del evento, donde las anomalías pluviométricas son muy elevadas.

Figura 1: Mapa de Vulnerabilidad a la Sequía de la Provincia de La Rioja



Por su parte, los departamentos de Vichina, General Lamadrid, Coronel Felipe Varela, Famatina, Chilecito, San Blas de Los Sauces y Aruco presentaron una mezcla de Vulnerabilidad **muy baja** y **baja**, principalmente por la presencia de la Cordillera de los Andes y el sistema serrano la Famatina que, a pesar de aumentar la escasez de lluvias por su altitud y posición geográfica, tiene una alta oferta hídrica influenciada por el deshielo de las zonas más altas de las montañas, posibilitando el almacenamiento de agua subterránea. En estos departamentos, las familias campesinas poseen grandes superficies de tierra con agricultura de riego y se benefician de cisternas y pozos, que reducen la sensibilidad de los efectos prolongados de las sequías.

Los departamentos Castro Barros, Sanagasta, La Rioja – Capital e Independencia presentaron vulnerabilidad **moderada**, en función del equilibrio entre el número de población rural, hectáreas con agricultura temporal irrigada y el número de hatos expuestos a la intemperie.

4. Conclusión

Los resultados obtenidos son satisfactorios, y permiten una evaluación eficiente de la vulnerabilidad emergente ante el peligro de la sequía. Sin embargo, es necesario considerar que esta evaluación no es una ciencia exacta, y puede presentar ciertas incertidumbres. Así, los resultados obtenidos constituyen una predicción que depende de la calidad de los datos utilizados.

Aunque la sequía es un fenómeno físico y natural para la dinámica de determinados ecosistemas, sus efectos no lo son para la sociedad. Las medidas para combatir la sequía pasan fundamentalmente por fortalecer las estructuras de oportunidad que se brinden socialmente, garantizando un incremento en la capacidad de los grupos sociales para enfrentar las adversidades conocidas desde hace mucho tiempo.

Se espera que la información contenida en esta investigación sea un instrumento que fomente el debate sobre la gestión de los riesgos existentes en esta región, especialmente mediante la racionalización de las acciones a realizar permanentemente y no solo cuando ocurren periodos secos.

5. Agradecimientos

A la Universidad de Buenos Aires/Secretaría de Ciencia y Tecnología por financiar el Proyecto n°. 20620190100007BA y al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq/Brasil) por financiar el Proyecto 200393/2022-7.

6. Referencias

del Moral, D.; Antúnez, N; Vallejos, C. (2018) *Términos de referencia para la elaboración del Plan Director de Recursos Hídricos de la Provincia de La Rioja*. Universidad Nacional de La Rioja/ Facultad de Ingeniería de la UBA. CABA/La Rioja, diciembre. Documento de trabajo inédito, 82 p

INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-10-02-004-2010>. (Consulta: 20/11/2022).

INDEC (2018). *Censo Agropecuario 2018*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>. (Consulta: 20/01/2023).

IPCC (2022) *Climate change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 328p. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. (Consulta: 15/02/2023).

Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2017) *Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto das mudanças do clima*. Brasília: WWF-Brasil, 125p.

Olímpio, j. L. S. (2017) *Análise Multicritério do Risco de Desastres Naturais: um estudo sobre a seca na região Nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado), UFC. 242p.

Oliveira, R. B. (2017) *Vulnerabilidade à seca para a região semiárida: estudo de caso de quatro municípios do estado da Paraíba*. Dissertação (Mestrado), UFPB/CCEN. 115p.

Rosendo, E. E. Q. (2014). *Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira*. Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT. 137p.

Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: Mcgraw-hill.

Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and Its generalization in decision making why Pairwise comparisons are Central in mathematics for the measurement of intangible factors the Analytic Hierarchy Process. *Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. – RACSM*. v.102, n. 2, 251–318.

Santos, R. B.; Menezes, J. A.; Confalonieri, U.; Madureira, A. P.; Duval, I. B.; Garcia, P. P.; Margonari, C. (2019) “Construção e Aplicação de um Índice de Vulnerabilidade Humana à Mudança do Clima para o Contexto Brasileiro: a experiência do Estado do Espírito Santo” *Saúde Soc.*, v.28, n.1, pp. 299-321.

Sena, A. R. M. (2017) *Seca, vulnerabilidade e saúde: impactos no semiárido brasileiro*. Tese (Doutorado), FIOCRUZ. 266p.

Tavares, V. C.; Arruda, I. P. Silva, D. G. (2019) “Desertificação, Mudanças Climáticas e Secas no Semiárido Brasileiro: Uma Revisão Bibliográfica”. *Geosul*, Florianópolis, v. 34, n. 70, pp. 385-405.

Wilhite, D. A. (2011) “Breaking the Hydro-Illogical Cycle: Progresso or Status Quo for Drought Management in the United States.” *European Water*, 34, pp.5-18.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA FORESTACIÓN SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE SENSORAMIENTO REMOTO

Javier Gregorio¹, Elisabet Walker^{1,2}, Virginia Venturini^{1,2} y Jimena Alonso³

¹ Centro de Estudios Hidro-Ambientales, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Argentina.

³ Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

javiergregorio@gmail.com; ewalker@fich.unl.edu.ar; vventurini@fich.unl.edu.ar; jalonso@fing.edu.uy

Introducción

En Uruguay la actividad forestal ha tenido un significativo incremento a partir de la promulgación de la ley N° 15.939 del año 1987, aumentando la superficie de bosques plantados con especies de rápido desarrollo tales como *Eucalyptus spp.* y *Pinus spp.* Esto determinó que el uso del suelo en algunas zonas del país pasara de una producción ganadera extensiva a uso casi exclusivamente forestal, generando cambios que inciden directamente sobre los procesos hidrológicos y edafológicos del lugar (Silveira y col., 2016).

La evapotranspiración (ET) es un componente principal del balance hídrico, siendo de gran interés entender la distribución espacio-temporal de esta variable y evaluar el impacto que genera la actividad forestal en la misma. Sin embargo, a pesar de su importancia, las mediciones precisas de ET se realizan con instrumentos con un alto costo de instalación y mantenimiento (Tikhmarine y col., 2020).

La comunidad científica ha desarrollado diferentes metodologías que estiman la ET a partir de información remotamente sensada con diferentes resoluciones espacio-temporales (Knipper y col., 2017; Walker y col., 2019; Liu, 2022). El modelo propuesto por Walker y col. (2019) se basa en los enfoques tradicionales de ET combinados con información satelital, destacándose por incorporar información sobre la textura y el contenido de humedad del suelo (HS). No obstante, hasta el momento, este algoritmo se ha aplicado con mapas de HS de misiones satelitales o bases de datos climáticos con resoluciones espaciales del orden de kilómetros (Walker y col., 2019; Walker y Venturini, 2019).

En este trabajo se propone utilizar el método de Regresión Lineal Múltiple (RLM) para modelar HS con información satelital para así obtener mapas de HS con buena resolución espacial. Dichos mapas serán incorporados a la expresión de Walker y col. (2019) para monitorear la ET y evaluar el efecto que genera la actividad forestal en este proceso.

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el departamento Paysandú, Uruguay. Dos microcuencas experimentales, 'Don Tomás' (DT) y 'La Cantera' (LC), con diferentes coberturas vegetales serán estudiadas en este trabajo.

La microcuenca DT (2,12 km²) está sometida al manejo forestal, cuenta con el 56% de su superficie cubierta por una plantación de *Eucalyptus Dunii* replantada en 2015. La superficie restante incluye cortafuegos y zonas ribereñas cubiertas de pastos naturales y matorrales. Por otra parte, el uso de la microcuenca de referencia LC (1,20 km²) es de ganadería extensiva con baja carga animal y variable en el tiempo con vegetación de pasturas naturales (*Baccharis sp.*, *Bromus sp.*, *Paspalum sp.* y *Stipas sp.*). La distancia entre los centros de gravedad de las cuencas experimentales es de aproximadamente 5 km (Silveira y col., 2016).

La microcuenca DT está situada sobre la cañada Baigorria

mientras que LC está situada sobre la cañada La Quinta, ambos cauces son afluentes del arroyo Capilla Vieja (ver Figura 1). El área de estudio se caracteriza por una temperatura promedio anual de 18°C y una precipitación anual media de 1218mm. Las características geomorfológicas y de los suelos son similares en ambas microcuencas.

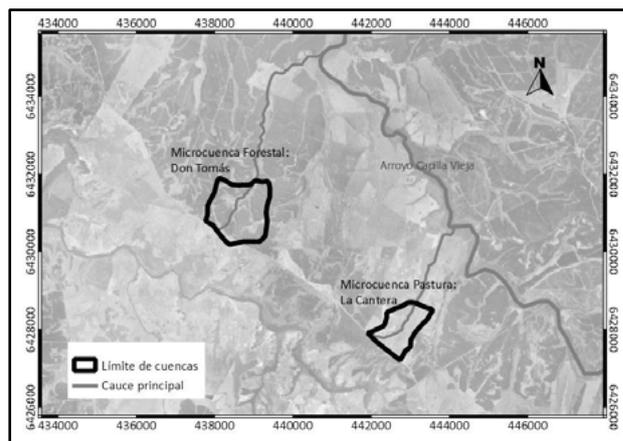


Figura 1.- Ubicación de las microcuencas Don Tomás y La Cantera.

Materiales y métodos

A. Datos

En este trabajo se utilizaron datos *in-situ* de HS con imágenes satelitales para modelar HS en cada microcuenca mediante la técnica de RLM. Luego, los mapas de HS obtenidos junto con un mapa de propiedades del suelo y variables climáticas de modelos climáticos globales se utilizaron para calcular ET.

Las microcuencas se encuentran instrumentadas desde el año 2013 para registrar la HS mediante sensores ubicados en parcelas. Concretamente, DT cuenta con cuatro parcelas y LC con dos. Los datos satelitales y de bases de datos climáticas fueron adquiridos del catálogo de Google Earth Engine (GEE) (Gorelick y col., 2017). Se utilizaron imágenes de la misión Landsat 8 que cubre el período de datos observados de HS con un período de revisita de 16 días y una resolución espacial de 30 mt. Las variables climáticas se obtuvieron del modelo climático NCEP. Este modelo brinda datos cuatro veces al día con una resolución de 0.2° (Saha y col., 2014). La variabilidad espacial de las propiedades del suelo, específicamente de la humedad del suelo de saturación (HSsat) se obtuvo con el mapa publicado por Walker y Venturini (2019).

B. Metodología

En este trabajo se propuso aplicar la metodología de RLM para modelar la HS a partir de información satelital para cada microcuenca. Este método estadístico ajusta una función lineal a un conjunto de variables independientes que aproximan a una variable dependiente. Para ello se utilizarán los datos *in-situ* de HS y los datos satelitales de Landsat 8. Se usarán como variables explicativas el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

(NDVI), el Índice de Diferencia de Agua Normalizado (NDWI), el Índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificado (MNDWI), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Optimizado (OSAVI), el Índice de Proporción de Agua (WRI) y la temperatura de la superficie (TS). El conjunto de datos será separado para realizar la calibración y validación del modelo y la performance de los mismos se evaluará con el coeficiente de correlación (r) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE).

Con los mapas de HS, HSSat y las variables climáticas, se propone utilizar la metodología de Walker y col. (2019) para monitorear la ET en el área de estudio. Dicha metodología modifica el modelo propuesto por Venturini y col. (2008) utilizando la relación HS/HSSat para representar los procesos físicos de la ET (ver Walker y col., 2019). Los mapas serán codificados en GEE.

Resultados

En primer lugar, se procesaron los datos *in-situ* de HS. Se calcularon los valores medios diarios de HS por sitio y luego se promediaron para obtener por fecha un promedio areal. Se aplicó el método de RLM con los datos de calibración en cada microcuenca y se seleccionaron las variables mediante el método de stepwise. Los modelos obtenidos para DT (HS_{DT}) y LC (HS_{LC}) son los siguientes:

$$HS_{DT}=1.84-0.47*MNDWI+1.40*NDVI+1.71*NDWI-0.005*TS \quad [1]$$

$$HS_{LC}=1.83-0.09*MNDWI+0.66*NDVI+0.86*NDWI-0.005*TS \quad [2]$$

Los modelos HS_{DT} y HS_{LC} fueron validados con fechas no utilizadas en la calibración y se obtuvieron los estadísticos r y RMSE. Ambos modelos mostraron altas correlaciones con los datos *in-situ* de HS, alcanzando un r de 0.91 y 0.99 para DT y LC respectivamente. El RMSE fue de 0.07 m³/m³ para DT y 0.02 m³/m³ para LC (19 y 15% del valor medio observado).

Los mapas de HS se utilizaron para estimar la ET con la expresión de Walker y col. (2019). Se realizaron los mapas de ET para un año moderadamente húmedo (2019), para una fecha de verano (20/03/2019) y una de invierno (08/06/2019). La figura 2 muestra los mapas de NDVI, HS y ET para cada fecha analizada y para cada microcuenca. Se puede observar que en DT los valores de NDVI son mayores a los de LC, ya que se corresponde con la microcuenca forestada. Tanto para la fecha de verano como para la de invierno DT presentó una HS mayor que la de LC, principalmente en las zonas del cauce del afluente del arroyo. Se observa una mayor ET en DT que en LC, tanto para la fecha de verano como para la de invierno. Asimismo, la ET calculada para la fecha 20/03/2019 es mayor que la obtenida para el 08/06/2019, mostrando una correlación directa con HS.

Conclusión

Mediante el uso de imágenes satelitales y datos observados de HS, se obtuvieron modelos de HS para cada microcuenca, que luego se utilizaron para estimar y mapear la ET. Se observaron mayores niveles de ET en la microcuenca forestada con respecto a la de referencia (LC), tanto para la fecha de verano como la de invierno. Estos resultados coinciden con lo presentado por Silveira y col. (2016), demostrando que existen variaciones en la ET de una cuenca cuando la misma pasa de pasturas naturales a forestal. Esta metodología permite estimar la ET utilizando información satelital y bases de datos climáticas, con la posibilidad de utilizar otras fuentes de datos con diferentes resoluciones espacio-temporales. En este trabajo se analizaron fechas de un año normal-húmedo (2019), sin embargo, se espera analizar el efecto de la forestación en períodos más extensos

como estaciones y años.

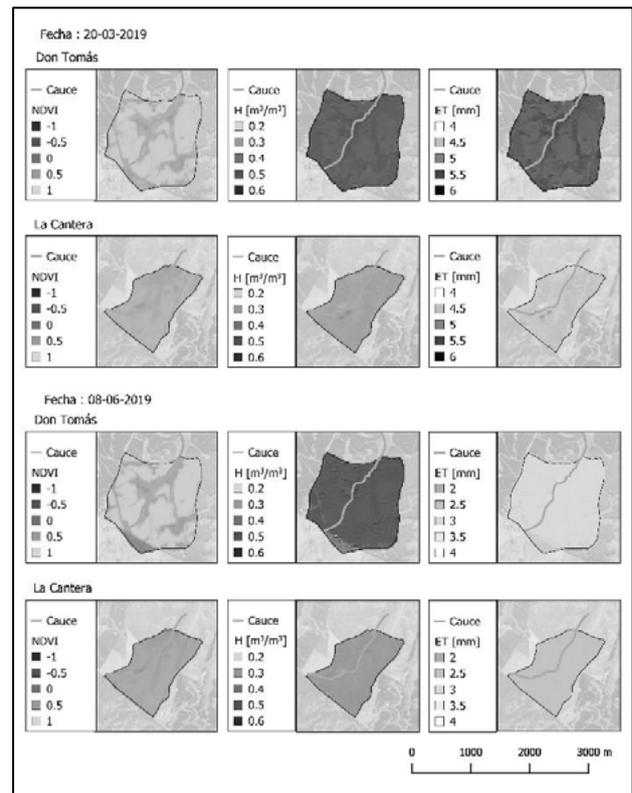


Figura 2.- Mapas de NDVI, HS y ET para ambas fechas y microcuencas.

Referencias Bibliográficas

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and R. Moore. (2017). "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". *Remote sensing of Environment*, 202, pp. 18-27
- Knipper, K., Hogue, T., Scott, R. and K. Franz. (2017). "Evapotranspiration estimates derived using multi-platform remote sensing in a semiarid region". *Remote Sensing*, 9(3), pp. 184.
- Liu, Z. (2022). "Estimating land evapotranspiration from potential evapotranspiration constrained by soil water at daily scale". *Science of The Total Environment*, 834, pp. 155327.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P. ... and E. Becker. (2014). The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of climate*, 27(6), pp. 2185-2208.
- Silveira, L., Gamazo, P., Alonso, J. and L. Martínez. (2016). "Effects of afforestation on groundwater recharge and water budgets in the western region of Uruguay". *Hydrological Processes*, 30(20), pp. 3596-3608.
- Tikhamarine, Y., Malik, A., Pandey, K., Sammen, S. S., Souag-Gamane, D., Heddam, S. and O. Kisi. (2020). "Monthly evapotranspiration estimation using optimal climatic parameters: efficacy of hybrid support vector regression integrated with whale optimization algorithm". *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), pp. 1-19.
- Venturini, V., Islam, S. and L. Rodriguez. (2008). "Estimation of evaporative fraction and evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model". *Remote Sensing of Environment*, 112(1), pp. 132-141.
- Walker, E., García, G. A., Venturini, V. and A. Carrasco. (2019). "Regional evapotranspiration estimates using the relative soil moisture ratio derived from SMAP products". *Agricultural Water Management*, 216, pp. 254-263.
- Walker, E. and V. Venturini. (2019). "Land surface evapotranspiration estimation combining soil texture information and global reanalysis datasets in Google Earth Engine". *Remote Sensing Letters*, 10(10), pp. 929-938.

MODELO DE FLUJO Y DE TRANSPORTE UTILIZANDO $\delta^{18}\text{O}$ COMO TRAZADOR EN LA CUENCA DEL RÍO QUEQUÉN GRANDE.

Sebastian Iván Grondona^{1,2}, Orlando Mauricio Quiroz Londoño^{1,2},
Daniel Emilio Martínez^{1,2} y Héctor Enrique Massone¹

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata-Comisión de Investigaciones Científicas Bs. As. Funes 3350. Mar del Plata, Argentina.

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET. Funes 3350. Mar del Plata, Argentina

Mail de autor de correspondencia: sebastiangrondona@yahoo.com.ar

Introducción

El agua subterránea es la única fuente de abastecimiento de disponible en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde las condiciones económico-políticas en las últimas décadas han favorecido un importante aumento del área cultivada, como así también una marcada expansión urbana, procesos con potencial de generar contaminación en el acuífero Pampeano. Debido a estos impactos, es necesario el uso de herramientas específicas que propendan a un uso sustentable de este recurso estratégico. Se considera que el modelamiento del flujo y transporte de agua subterránea es fundamental, ya que permite predecir la respuesta de los acuíferos ante distintos escenarios hidroclimatológicos y de aprovechamiento, lo cual es una información clave para la toma de decisiones.

Los isótopos estables del agua (^{18}O y ^2H) se han utilizado ampliamente como trazadores ambientales para mejorar la comprensión del origen, dinámica e interconexiones entre los diferentes elementos del ciclo hidrológico (Quiroz Londoño y Martínez, 2021). En particular, el uso de estos isótopos como elemento de calibración de un modelo numérico es poco común en la literatura, lo que representa una oportunidad para ampliar la utilidad de este trazador en la investigación de las aguas subterráneas

El objetivo de este trabajo es generar un modelo numérico de flujo y transporte de agua subterránea en la cuenca del río Quequén Grande (CRQG). Se planteó modificar el modelo de flujo definido previamente por Bocanegra et al (2005), actualizando el modelo conceptual y utilizando mayor cantidad de información para definir el modelo numérico, utilizando el $\delta^{18}\text{O}$ como trazador para el modelo transporte (figura 1).

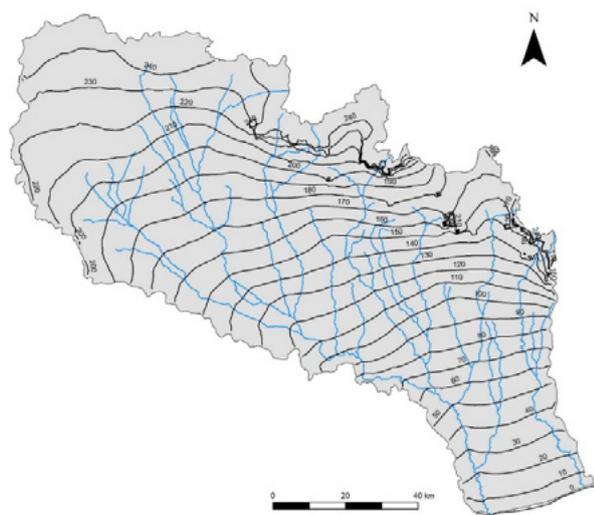


Figura 1.- Área de estudio y curvas isopiezas generadas por el modelo numérico.

La cuenca del CRQG ocupa un área de aproximadamente 12.000 km² (Figura 1) y se ubica entre los sistemas serranos de

Tandilia y Ventania. El relleno se conforma por sedimentos cenozoicos, principalmente arenosos y limosos de origen fluvio-eólico, que constituyen un acuífero multicapa no confinado conocido como Pampeano. Este es el más importante y el más explotado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, con un espesor que puede llegar a 290 m (Llambias y Prozzi, 1975). La recarga proviene de los excesos de precipitación por infiltración y la descarga es principalmente hacia cursos de agua superficiales. El Río Quequén Grande constituye la principal descarga de agua subterránea al Océano Atlántico (Martínez et al, 2007).

Metodología

Con el objetivo de modelar el flujo de agua subterránea en el área de estudio se utilizó el código MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988). Este software se basa en el método de diferencias finitas y es capaz de simular el flujo de estado estacionario o transitorio en una, dos y tres dimensiones. Para simular el transporte de solutos en los acuíferos, se utilizó el código MT3DMS (Zheng y Wang, 1999), que permite simular el transporte de múltiples especies y resuelve la ecuación de transporte después de calcular la solución de flujo de MODFLOW. Como interfaz de usuario para ambos códigos se utilizó el software ModelMuse (Winston 2009), de uso libre.

El modelo de flujo se realizó en condiciones estacionarias y transitorias, considerando para el segundo caso, datos mensuales relevados en el periodo 2000-2020. La estructura del acuífero se definió en base a trabajos previos, con un espesor variable, siendo este mayor en la zona central y menor en los bordes de la cuenca. Los parámetros hidráulicos se obtuvieron a partir de datos de perforaciones y trabajos previos (Bocanegra et al 2005). Como ingresos al modelo se consideró solo la recarga por lluvia, obtenida a partir del balance hidrológico según la metodología de Thornthwaite (1948) en distintas estaciones de la cuenca. Como egresos se consideraron la descarga a cursos superficiales, el consumo de centros poblados y el riego artificial. La calibración se realizó en base a datos piezométricos de pozos de observación distribuidos homogéneamente en la cuenca. Para la calibración del modelo en condiciones transitorias se utilizaron 4 pozos de monitoreo en los cuales se han instalado freáticos en diferentes zonas de la cuenca.

Con el modelo calibrado para ambas condiciones, se realizó el modelo de transporte, utilizando como trazador el $\delta^{18}\text{O}$. Debido a que este isótopo del agua no interacciona con materiales geológicos (Clark y Fritz, 1997), se asume que tiene un carácter conservativo a lo largo de las trayectorias de flujo (Stichler et al., 2008). Para los cálculos se utilizó el $\delta^{18}\text{O}$ (‰), valor relativo al estándar internacional V-SMOW (Gonfiantini 1978). Se consideró como valor inicial los datos del 2005, ya que es el primer año para el cual se cuenta con información. Para la simulación se consideraron distintas distribuciones espaciales en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en la recarga, según las distintas estaciones disponibles en la cuenca. Para la calibración se utilizaron 66 puntos en los cuales se cuenta con una sola medición y 11 puntos en los cuales se cuenta con más de una medición.

Resultados y discusión

A partir del modelo de flujo se obtuvo el mapa de niveles piezométricos simulados en condiciones estacionarias (figura 1), cuya forma copia en forma general el establecido por Martínez et al. (2007) a partir de datos observados en campo. Se observó que el ajuste entre niveles simulados y observados arrojó un error medio de -0.55 m y un error medio absoluto de 1.8 m. Se determinó que la evapotranspiración es la principal salida de agua de la cuenca (79,8%), considerándose además la descarga superficial (15.5 %) y la descarga subterránea al océano (4.7%). En la figura 3 se grafica el ajuste para dos de los pozos de monitoreo utilizados para la calibración, uno ubicado al sur de la cuenca y otro en la zona central. En general, se ha observado un buen ajuste entre los valores simulados y los observados, con los valores simulados siendo en la mayoría de los casos menores que los valores observados. Además, el modelo numérico representa de buena manera las variaciones temporales del nivel freático en ambos puntos.

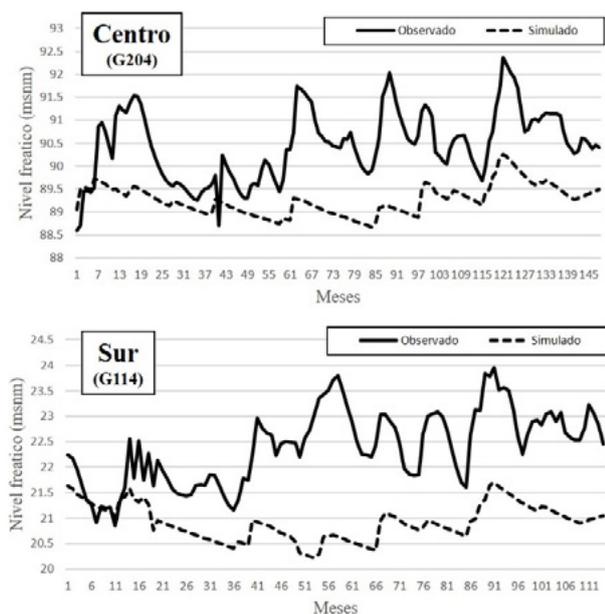


Figura 2. Ajuste en los valores simulados y observados

El modelo de transporte generado se calibró en base a 66 datos de $\delta^{18}\text{O}$, lográndose el mejor ajuste al descartar las muestras con un elevado exceso de deuterio, obteniéndose un error medio de -0,54 ‰ y un error medio absoluto de 0.60‰. El mapa de distribución espacial obtenido de esta simulación (figura 4) es similar a la distribución observada por Quiroz Londoño et al. (2015). Estos resultados muestran que el modelo de transporte es coherente con el modelo conceptual de la cuenca al simular las variaciones en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y permiten ampliar la utilidad de este trazador en la investigación de las aguas subterráneas.

Conclusiones

Se obtuvo un modelo numérico de flujo y transporte para el acuífero Pampeano, lográndose un buen ajuste entre valores observados y simulados para ambos casos. La principal mejora que se puede mencionar con respecto al modelo de flujo previo es la simulación de condiciones transitorias. Se determinó que la principal salida de agua del acuífero es la evapotranspiración, lo cual es esperable en este tipo de áreas de llanura, donde predominan los movimientos verticales por sobre el escurrimiento.

Con respecto al modelo de transporte, constituye el primer antecedente para esta región y en etapas posteriores de trabajo

permitirá modelar los impactos asociados al uso intensivo del suelo, por ejemplo, la dinámica de distintos contaminantes en el acuífero.

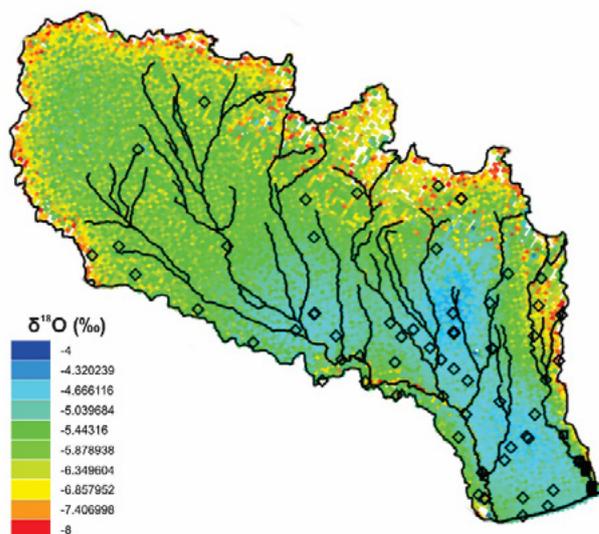


Figura 3.- Distribución espacial del $\delta^{18}\text{O}$.

Referencias Bibliográficas

- Bocanegra E.M., Martínez D.E., Massone H.E. y Farenga M. (2005). "Modelación numérica preliminar del flujo subterráneo de la cuenca del Río Quequén, Provincia de Buenos Aires". *IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Actas. Tomo1: 191-200. Río Cuarto.*
- Clark, I. y Fritz, P. (1997). "Isótopos ambientales en hidrogeología". CRC Prensa, Nueva York, 328 pp.
- Gonfiantini, R. (1978). Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, 271, 534-536.
- Llambías, E. y Prozzi, C.R., 1975. Ventania. En Geología de la Provincia de Buenos Aires, 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 79-101, Buenos Aires
- Martínez, D. Quiroz Londoño, O.M. Dapeña, C. Massone, H.E. Ferrante, A. y Bocanegra, E. (2007). "Aportes al modelo hidrogeológico conceptual de la Cuenca del Río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires". *V Congreso de Hidrogeología y III Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea*. Paraná, 262 - 271
- McDonald, M.G. y Harbaugh, A.W. (1988). "A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model". U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources, libro 6.
- Quiroz Londoño, O., Martínez, D., Massone, H., Londoño Ciro, L., y Dapeña, C. (2015). "Spatial distribution of Electrical Conductivity and Stable Isotopes in groundwater in large catchments: a geostatistical approach in the Quequén Grande River Catchment, Argentina". *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51, 1-15.
- Quiroz Londoño, O.M. y Martínez D. E. (2021). "Distribución espacial de isótopos estables en el acuífero pampeano en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)". *Boletín Geológico y Minero*, 132 (1-2): 175-184
- Stichler, W., Maloszewski, P., Bertleff, B. y Watzel, R. (2008). "Uso de isótopos ambientales para definir la zona de captura de un suministro de agua potable situado cerca de un lago de dragado". *Journal of Hydrology*, 362 (3-4), 220-233.
- Winston, R.B. (2009). "ModelMuse-A graphical user interface for MODFLOW-2005 and PHAST". U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A29, 52 p.
- Zheng, C. y Wang, P.P. (1999). "MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems". Contract Report SERDP-99-1, US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

DISEÑO DE SISTEMA PORTABLE PARA DISDRÓMETRO ÓPTICO Y SU UTILIZACIÓN EN EL MONITOREO IN SITU DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN

Guida Juan Pablo^{1,2}, Ortolani Pedro¹, Martino Román^{1,3}, Ruiz Díaz Pedro¹, Díaz Érica Betiana¹, Suarez Matías Ezequiel^{1,2}, Busignani Joaquín¹, Rodríguez Andrés^{1,2,3}

¹Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

²Observatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC)

³Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC)

juanpabloguida@mi.unc.edu.ar, pedroortolani@mi.unc.edu.ar, rgmartino@gmail.com, pedro.ruiz.diaz@mi.unc.edu.ar, erica.betiana.diaz@unc.edu.ar, matias.suarez@unc.edu.ar, joaquin.busignani@mi.unc.edu.ar, andres.rodriguez@unc.edu.ar

Introducción

En el presente trabajo se describe el diseño innovador de una plataforma transportable que permite montar un disdrómetro óptico en un vehículo para utilizarlo como instrumento de monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos en cualquier sitio accesible. Esta tecnología fue desarrollada por investigadores, estudiantes y profesores pertenecientes al Laboratorio de Hidrometeorología (LHM) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), en la Provincia de Córdoba.

Un disdrómetro es un sensor láser de última generación que permite determinar velocidad, tamaño y cantidad de hidrometeoros a través de la interrupción que generan las partículas de precipitación al interceptar el haz. La caracterización de hidrometeoros, en cualquiera de sus formas, tiene un rol clave en aplicaciones tanto científicas como técnicas, impactando en actividades sociales, económicas, productivas y ambientales. Los datos que pueden ser recolectados por el mismo aportan en la producción de conocimiento de diversas áreas de interés. Predicción de crecida de causas, determinación de pluviometría y aplicaciones hidrológicas, modelos de erosión de suelos y calibración de radares son algunos de los ámbitos en los que el uso de datos de disdrómetro puede resultar de gran utilidad.

En este trabajo se presentarán las particularidades que llevaron al diseño de la plataforma móvil, el procesamiento de datos y las experiencias y conclusiones resultantes de las primeras salidas de campo.

Objetivos

Las campañas que se realizan con el disdrómetro móvil persiguen principalmente tres objetivos: El primero consiste en probar el funcionamiento del nuevo sistema, resaltando que aún no se tiene conocimiento de que en otros lugares del mundo se esté realizando un trabajo similar; el segundo es tener disponible la capacidad operativa para poder caracterizar fenómenos de precipitación en cualquier punto de interés tanto para momentos puntuales como para despliegues de mayor tiempo cuando se prevén eventos de mayor duración; y, por último, para que las mediciones antedichas puedan contribuir a la calibración del primer Radar Meteorológico Argentino (RMA1) y otros modelos numéricos de pronóstico.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de las campañas se hace uso de un disdrómetro óptico modelo Parsivel2 de la alemana OTT. El principio de funcionamiento consiste en la medición de la interrupción que producen los hidrometeoros al caer en un haz láser emitido por uno de los cabezales y receptado por el opuesto. La detección se realiza con las variaciones en el voltaje generado por el diodo receptor, al ser atravesada el área de sondeo, cuya sensibilidad permite un rango de detección de tamaños de partícula desde los 0,2 mm a 8 mm, y velocidades desde los 0,2 a 20 m/s. Para cada periodo de sondeo el disdrómetro envía un telegrama de 32x32 en los que acumula el número de hidrometeoros detectados para cada categoría de

diámetro y velocidad, clasificando automáticamente el tipo de precipitación haciendo uso de la curva de Gunn & Kinzer (1949). El telegrama además incluye el acumulado de precipitación desde el último reinicio del aparato, el estado de funcionamiento y alimentación eléctrica, la limpieza del lente, y la reflectividad.

Para realizar las mediciones, el disdrómetro se ajusta a un pie de acero que lo posiciona a una altura suficiente para evitar interferencias de salpicaduras provenientes de la cabina del vehículo de campaña. A su vez, el pie de acero, se encuentra sostenido en la caja de la camioneta a través de un sistema de tensores de cables de acero y zunchos (Ver Figura 1). Al mismo pie, se adosa una caja estanca que contiene una batería de 12V que alimenta de energía eléctrica al disdrómetro. Los datos, se toman a través de un conector USB que comunica al dispositivo con una computadora, que permanece dentro de la cabina y recibe los datos haciendo uso de un software terminal receptor de datos. Estos últimos se graban en archivos .txt, para posteriormente ser procesados haciendo uso de un script desarrollado en el LHM.

Para las salidas de campaña que aporten datos a la calibración del radar, se delimitó un radio de medición óptimo entre 15 y 50 km y un radio máximo admisible de 100 km, tomando como centro las coordenadas del RMA1 (ubicado en el predio del LHM – UNC). También se estableció que las campañas se llevaran a cabo preferentemente en zonas de llanura, para evitar las interferencias orográficas y la mayor imprevisibilidad de precipitación de las regiones montañosas.



Figura 1.- Tercera campaña (23/03/2023)

La primera campaña se realizó el 27 de septiembre de 2022, en el parador Tres Árboles de Villa Yacanto (3200 msnm). Dicha localización fue elegida por una anomalía de la zona, en la que las lluvias acumuladas suelen ser superiores a las registradas en áreas aledañas. Se pudieron medir alrededor de 20 minutos del evento hidrometeorológico, aunque significó recolectar solo el final del evento. Esta primera experiencia permitió verificar la viabilidad de la tecnología, conocer la performance para realizar mejoras, además de que se pudo registrar nieve, un evento atípico respecto a las mediciones normalmente realizadas con los disdrómetros fijos del LHM.

Las mejoras tecnológicas que se realizaron posteriormente y

CARACTERIZACIÓN DE HIDROMETEOROS CON DISDRÓMETRO EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA ENTRE 2019 Y 2023

Guida Juan Pablo^{1,2}, Luna Melina Giselle¹, Martino Román^{1,3}, Díaz Érica Betiana¹, Ortolani Pedro¹, Ingaramo Ricardo^{1,2}, Ruiz Díaz Pedro¹, Rodríguez Andrés^{1,2,3}

¹Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

²Observatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC)

³Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC)

juanpabloguida@mi.unc.edu.ar, melina.luna@mi.unc.edu.ar, rgmartino@gmail.com, erica.betiana.diaz@unc.edu.ar, pedroortolani@mi.unc.edu.ar, ringaramo@unc.edu.ar, pedro.ruiz.diaz@mi.unc.edu.ar, andres.rodriguez@unc.edu.ar

Introducción

La caracterización de hidrometeoros, en cualquiera de sus formas, juega un rol clave en numerosas aplicaciones científicas y técnicas, afectando a diversas actividades que impactan de manera directa en el ámbito social, económico, productivo y ambiental. Un disdrómetro es un sensor óptico de alto rendimiento que puede detectar cantidad, tamaño y velocidad de hidrometeoros a partir de la interrupción en un haz láser que generan las partículas al precipitar (ya sean gotas de lluvia, granizo, nieve e incluso polvo en suspensión). La utilización de un disdrómetro óptico permite realizar una serie de análisis meteorológicos que van desde la pluviometría, la reflectividad de radar, la estimación de visibilidad, el pre-alerta por crecidas ante eventos severos e incluso la información para modelos de erosión (Löffler-Mang, 2008), así como su comparación con mediciones de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) y con modelos estándar de distribución de gotas (Gunn-Kinzer, 1949).

En la Ciudad de Córdoba (CdC), se encuentra operativo desde el año 2019 hasta la actualidad, un disdrómetro OTT Parsivel 2 (DIS1), propiedad del Ministerio de Servicios Públicos de la Provincia y administrado por el Laboratorio de Hidrometeorología (LHM - UNC). Mediante el trabajo conjunto de un equipo de investigadores, se puso en funcionamiento el dispositivo, realizando primeramente las adecuaciones electrónicas para la comunicación y el grabado de datos, desarrollando un código computacional para el procesamiento y la generación de informes técnicos de cada evento de precipitación. Este es un antecedente único en el país, en el cual se sistematizó la información de 4 años hidrológicos, registrando de manera casi ininterrumpida la captura de datos de hidrometeoros cada 10 segundos. En el siguiente trabajo se resumen los resultados más relevantes del análisis de más de 100 eventos meteorológicos de la CdC, entre noviembre de 2019 y mayo de 2023.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es monitorear y caracterizar hidrometeoros sobre la CdC, registrando los datos generados por el DIS1. Cada evento hidrometeorológico tiene sus propias características; haciendo uso de las potencialidades que ofrece el disdrómetro se pretende obtener la relación característica entre diámetros y velocidades para la CdC. Por otro lado, se busca realizar una comparación entre eventos similares medidos por disdrómetro y EMAs, teniendo en cuenta la influencia del viento para las discrepancias entre lluvias acumuladas.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolla en el marco de un convenio entre instituciones educativas y gubernamentales y el OHMC, organismo que reúne los datos hidrometeorológicos relevados en el ámbito de Córdoba por distintos organismos públicos y privados para ponerlos al servicio de los usuarios finales. El DIS1 se encuentra emplazado en el LHM ubicado en la Ciudad

Universitaria de la CdC, próximo al RMA1 (ver Figura 1).

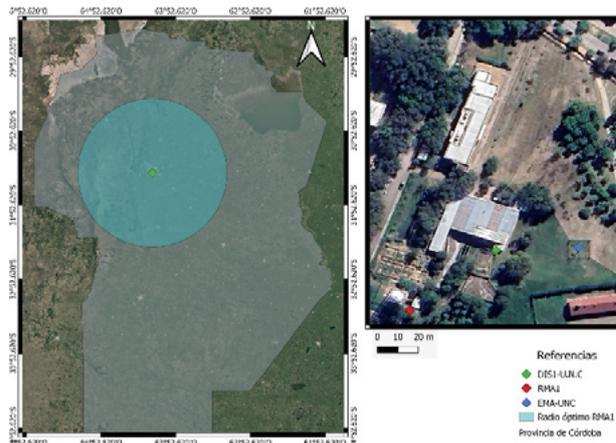


Figura 1.- Ubicación del DIS1 (31°26'27.70\"S; 64°11'29.08\"O), RMA1, EMA. Ciudad de Córdoba, Argentina.

En una primera etapa de los 4 años de monitoreo, se desarrollaron una serie de script para el procesamiento de datos en bruto, realizando pruebas de laboratorio y salidas gráficas en planillas de cálculo para interpretar la información obtenida. Durante el trabajo, se probaron técnicas para mejorar la comunicación con el dispositivo, logrando una estabilidad en la transmisión de datos y a su vez se fueron perfeccionando y automatizando las herramientas de procesamiento.

Además, como parte de la prueba de la operatividad del DIS1, se compararon eventos meteorológicos procesados con las herramientas computacionales en desarrollo para el disdrómetro, frente a los registros de la EMA ubicada en el mismo predio del LHM. Los distintos scripts, permitieron obtener para cada evento una tabla resumen de los archivos procesados, junto a gráficos de intensidad de precipitación (mm/h), hietogramas (mm), Reflectividad al radar (dBz), distribución de diámetros y velocidades de hidrometeoros (mm y m/s respectivamente) y sus valores promedio respecto a la curva teórica de Gunn-Kinzer. Respecto a este punto, se intentó establecer la relación característica entre velocidades y diámetros de partículas de precipitación para la CdC, buscando identificar eventos atípicos que no se ajusten a esa relación o formen parte de distintos fenómenos (lluvia, granizo, nieve, polvo en suspensión).

Por otra parte, para aquellos eventos en los cuales existía una notable discrepancia entre la precipitación acumulada medida por el disdrómetro frente al registro de datos de la EMA, se identificaron posibles causas que justifiquen la diferencia.

Resultados

Los eventos meteorológicos procesados entre noviembre de 2019 y mayo de 2023 en la CdC en su mayoría fueron precipitación en forma de lluvia y ocasionalmente caída de granizo. También fue posible destacar ciertos eventos atípicos que se detallan a continuación:

a) El 12/12/19 ocurrió un evento atípico en el cual no hubo precipitación, pero se detectaron 2300000 partículas en el aire, cuyo tamaño promedio fue de 1,7 mm, oscilando entre los valores de 1 y 2,5 mm. Se caracterizó como un fenómeno eólico dada la existencia de uniformidad de tamaños de partículas, la correspondencia de velocidades de caída de las mismas y la velocidad de viento presente en ese día.

b) El segundo evento atípico a exponer, fue la nevada ocurrida en la CdC el día 16/06/21, luego de 14 años de la última ocurrencia. Este evento presentó características inusuales respecto a los eventos típicos de lluvia, debido a que la velocidad de caída de las partículas fue inversamente proporcional a su tamaño, detectando hidrometeoros que alcanzaron valores de hasta 2,5 mm de diámetro que precipitaron a velocidades de 1 m/s.

En cuanto a los eventos de precipitación (algunos de ellos con ocasional caída de granizo) se puede observar una marcada tendencia de diámetros y velocidades inferiores a la curva teórica de Gunn y Kinzer, como se observa en la Figura 2. En estos 4 años de registro de hidrometeoros para la CdC, los diámetros promedio oscilan entre 0,39 mm y 2,5 mm, con velocidades promedio entre los 0,64 m/s y 6,4 m/s.

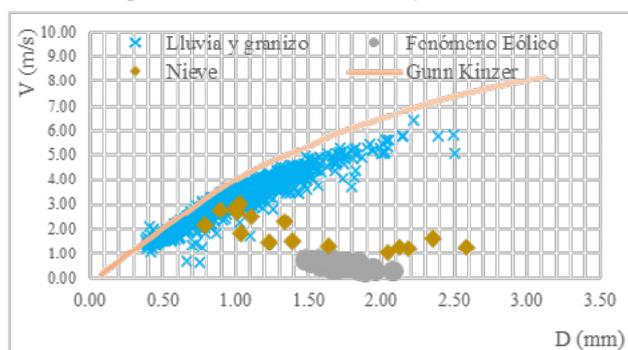


Figura 2.- Relación de diámetros y velocidades de hidrometeoros en la Ciudad de Córdoba entre 2019 y 2023

Por otro lado, en cuanto a la comparación de registros de precipitación acumulada según el disdrómetro y la EMA, se obtuvo una correspondencia superior al 85%. Esta comparación muestra una mejor aproximación para eventos de intensidades medias/bajas con ausencia de ráfagas de viento. En aquellos eventos donde se encontraron mayores discrepancias, se observó que la influencia de ráfagas de viento provocaba el registro de menores valores de precipitación acumulada por parte del disdrómetro. Comparando más de 30 eventos hidrometeorológicos, en donde la discrepancia de precipitaciones acumuladas de los dos instrumentos de monitoreo fue mayor al 25%, se llegó a la conclusión de que, en los picos de mayores velocidades del viento, las partículas son desviadas del haz o no llegan a detectarse correctamente por el disdrómetro, ocasionando que la precipitación acumulada total difiera y sea menor a la que registra la EMA en su sistema de cangilones.

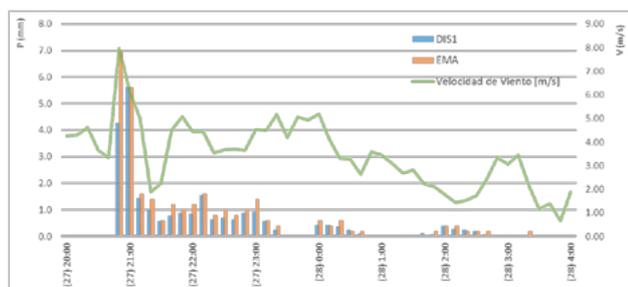


Figura 3.- Medición registrada por DIS1 y la EMA superpuesta con la velocidad del viento 27/11/21

A modo de ejemplo, se muestra este comportamiento en un

evento seleccionado, acontecido el 27/11/2021, donde el disdrómetro midió una precipitación acumulada de 24 mm, frente a la acumulada de la EMA que fue de 31 mm. Evidentemente, las discrepancias se dan en los momentos de mayores velocidades del viento. Esto puede ser observado en la Figura 3.

Conclusiones y trabajos futuros

La utilización de un disdrómetro para la caracterización de hidrometeoros, es útil en hidrología urbana y rural, además de otras aplicaciones fundamentales (aún en desarrollo) como la calibración de radares teniendo en cuenta la reflectividad, la estimación de la energía cinética, las condiciones de visibilidad, etc. La modalidad operativa adoptada, permite la extrapolación para su implementación en otros disdrómetros que administra el LHM y que se encuentran en etapa de calibración y reubicación.

Para determinar la relación entre diámetros y velocidades de hidrometeoros, se seleccionaron aquellos eventos de lluvia cuya precipitación acumulada haya superado los 2 mm. Esta caracterización permite establecer una relación usual dentro de la nube de puntos que posibilita distinguir rápidamente aquellos eventos atípicos, comparados con la curva establecida en laboratorio por Gunn y Kinzer en 1949. Por su parte, los eventos de nieve y el fenómeno eólico se alejan de esta relación típica concentrándose en otras zonas de acuerdo a las características del evento. Estos resultados, fueron corroborados con distintas bibliografías (Löffler-Mang; Evan A. Kalina; Kurt Nemeth), a modo de validar la performance del disdrómetro como instrumento de caracterización de precipitaciones.

Respecto a los 4 años de registro de datos, no se conocen antecedentes similares en Argentina. La relación entre diámetros y velocidades de partículas de precipitación obtenida, deja asentadas las características típicas de los fenómenos meteorológicos que se presentan en la CdC, los cuales difieren de otras localizaciones (distintas condiciones de altitud, latitud, longitud, temperatura, etc). Esto motiva a conocer las características de los fenómenos hidrometeorológicos en otras zonas de interés utilizando un disdrómetro y explotar las potencialidades del dispositivo en sus diversas aplicaciones.

En cuanto a las discrepancias presentadas en la precipitación acumulada disdrómetro vs EMA, se puede concluir que, a grandes rasgos, existe una buena correlación entre los instrumentos de monitoreo. Pero es necesario resaltar que estos son dispositivos que miden de forma distinta y tienen aplicaciones y potencialidades diferentes; siempre que se utilice un disdrómetro para pluviometría, se tendrá en cuenta que, si existieron grandes ráfagas de viento al momento de medir, es probable que el valor de precipitación acumulada sea menor al real. Esto no quita mérito a las potencialidades que tiene el disdrómetro en el registro instantáneo de las intensidades de precipitación, determinación de la reflectividad, estimación de la energía cinética y estimación de las condiciones de visibilidad.

Referencias

- Casanovas C. et al, 2021:** Drop Size Distribution Variability in Central Argentina during RELAMPAGO-CACTI.
- Kurt Nemeth et al, 2011:** High-precision measurement of hydrometeors. OTT Parsivel 2.
- Martin Löffler-Mang, 2008:** Enhanced Possibilities of PARSIVEL Disdrometer: Precipitation Type, Visibility, and Fog Type. HTW Saarland, University of Applied Sciences.
- R. Gunn, G. Kinzer, 1949:** The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant Air. J. Meteorol. 243-248.

CALIDAD ALTIMÉTRICA DE UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN GENERADO CON IMÁGENES BANDA L DE SAOCOM

S. B. Havrylenko, A. Espindola y P. A. Mercuri

Instituto de Clima y Agua (+54-11-43384600-8509), Centro de Investigación de Recursos Naturales, INTA. Nicolas Repetto y de los Reseros s/n. (1686), Buenos Aires, Argentina.

havrylenko.sofia@inta.gob.ar, espindola.aime@inta.gob.ar, mercuri.pablo@inta.gob.ar

Introducción

Los modelos digitales de elevación (MDEs) constituyen un insumo clave para la caracterización y modelización hidrológica de una cuenca. Es decir, a partir de esta información se puede interpretar la dinámica del escurrimiento, identificar las áreas inundables, como así también inferir el comportamiento y la disponibilidad del agua en el tiempo y el espacio. La precisión de los productos derivados y de la información extraída de los MDEs dependerá de la mejor representación del relieve y, por ende, del MDE empleado. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y evaluar la calidad altimétrica de un MDE que tendrá uso hidrológico, obtenido a partir de imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) de banda L de la constelación de satélites SAOCOM, en un área de la pampa ondulada bonaerense. La resolución espacial del MDE obtenido lo convierte en un producto interesante en comparación con los ofrecidos de forma gratuita en el mercado.

Materiales y método

El área de estudio tiene una extensión de 375.5 km² y se ubica al sureste de la localidad de Rojas, Buenos Aires, e incluye una microcuenca que fue seleccionada para poner a prueba algunos productos hidrológicos derivados del MDE.

La metodología (Figura 1) consistió en aplicar interferometría radar de apertura sintética (InSAR) (Goldstein y Werner, 1998) en pares de imágenes SAOCOM (1A/1B) de 04 y 12 de febrero de 2022 y 12 y 20 de junio de 2022 para generar el MDE (I) siguiendo un procedimiento estándar con el software SNAP - ESA Sentinel Application Platform v8.0.0 (ESA, 2021). Luego, se realizó el siguiente post-procesamiento con el software QGIS: a) eliminación de artefactos y valores de píxel espurios con un filtro de pendiente DTM filter (Vosselman, 2000); b) relleno de valores vacíos con la herramienta Close Gaps with Spline (Conrad, 2010) y Shrink and Expand (Wichmann y Conrad, 2011); c) ajuste del raster a 30 datos locales GNSS medidos en campo, considerados verdad del terreno (Galvan, 2014); d) suavizado con el filtro espacial Mesh Denoise (Stevenson et al., 2010). A continuación, se corrigió el MDE (II) para poder hacer uso de este desde una perspectiva hidrológica (Burgos y Salcedo, 2014), eliminando imperfecciones que desvían el recorrido natural del agua y determinando una grilla de dirección de flujo de agua. A tal efecto, las sobre-elevaciones y depresiones fueron tratadas con la herramienta Breach Depression (Lindsay, 2016), cuya ventaja de aplicación fue la conservación de las cubetas naturales de baja profundidad del terreno. Las depresiones artificiales remanentes de mayor tamaño se eliminaron con la herramienta Fill Sink de Wang y Liu (2006) para completar el proceso. Seguidamente, se validó el MDE SAOCOM (III) comparando los valores de altitud con 13 puntos tomados con GPS diferencial, determinando la diferencia existente entre píxeles y puntos. Adicionalmente, se comparó (IV) el MDE SAOCOM resultante con el MDE SRTM (NASA, 2013) previamente corregido y validado con el objetivo de determinar las diferencias y similitudes entre ambos modelos. Con este fin, se realizó una comparación visual, una operación de resta entre rasters y se contrastaron los perfiles topográficos en dirección N-S, E-O y del cauce del río Rojas. En último término, para evaluar el comportamiento hidrológico del MDE se generaron los siguientes productos hidrológicos (V): red de drenaje, cuencas

hidrográficas y subcuencas, Índice Topográfico de Humedad (TWI) (Boehner y Selige, 2006) y factor topográfico LS (Boehner y Selige, 2006) de erosión hídrica.

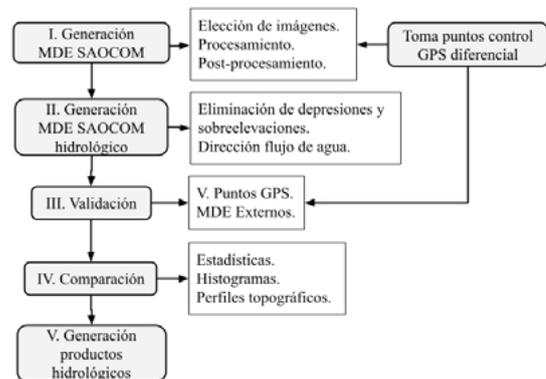


Figura 1.- Secuencia metodológica para el desarrollo del MDE SAOCOM.

Resultados

Como resultado final se logró un MDE SAOCOM de 10 m de resolución espacial con correcciones específicas enfocadas a un uso hidrológico. La validación del MDE SAOCOM dio como resultado una diferencia media global de 0.46 m y un EMC de 1.29 m (n= 13) (Figura 2). En la comparación visual, se observó que el MDE SRTM presenta una superficie notablemente más suavizada que el MDE SAOCOM (Figura 2).

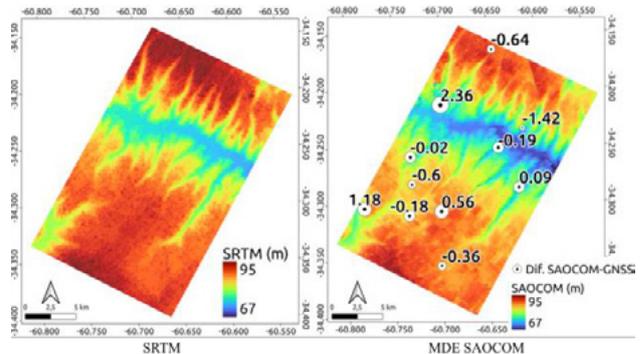


Figura 2.- Modelos digitales de elevación. MDE SRTM y SAOCOM.

El producto generado presenta algunas imperfecciones como el loteado por presencia de cultivos y la falta de discriminación de las lagunas naturales respecto de las depresiones falsas generadas por otras estructuras o por falta de coherencia. En la resta entre raster se observó que más del 90 % de los píxeles de la imagen se mantuvo con una diferencia menor a los dos metros, y los valores más grandes se dieron principalmente en lotes con cultivo, zonas de bajos o arboledas, y/o coincidente con píxeles de baja coherencia en el par interferométrico. Al igual que en el caso anterior, esta diferencia de alturas en el eje vertical puede observarse en los perfiles topográficos, donde la mayor variación altitudinal se da en el perfil del río Rojas (Figura 3)

En lo que respecta a los productos derivados del MDE SAOCOM para evaluar su aptitud hidrológica, se observó que los escurrimientos de la red de drenaje se acumularon siguiendo el comportamiento de la topografía encauzando hacia los cursos de

agua principales y afluentes. Sin embargo, en zonas con muy baja pendiente y/o en las que se generan depresiones artificiales se identificaron sectores donde estos escurrimientos son difusos o erróneos (Figura 4).

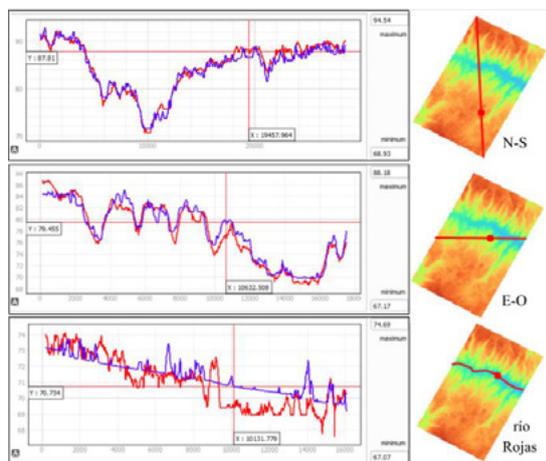


Figura 3.- Perfiles longitudinales del MDE SAOCOM (gris) y SRTM (negro).

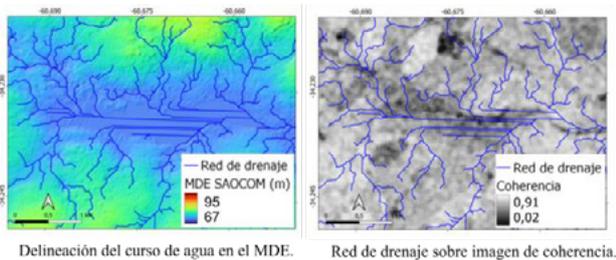


Figura 4.- Red de drenaje.

La extensión areal de la cuenca MDE SAOCOM (824 ha) fue aproximadamente 45 % menor que la generada a partir del MDE SRTM (1495 ha) debido a las diferencias de resolución espacial y a errores altimétricos remanentes (Figura 5).

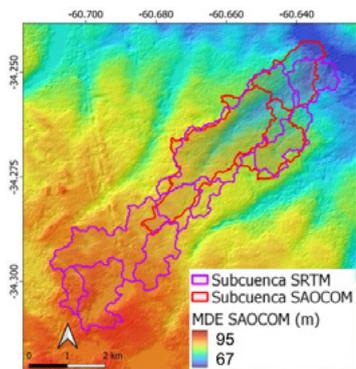


Figura 5.- Diferencia en la delineación automática de cuencas hidrográficas entre el MDE SAOCOM y SRTM.

Para determinar la funcionalidad del MDE SAOCOM se evaluó el Índice Topográfico de Humedad (TWI) y el factor topográfico LS. El TWI (Carson y Kirkby, 1972) permite predecir los lugares con mayor potencial de acumulación de humedad y por consiguiente que puedan actuar como zonas de inundación. El resultado obtenido fue corroborado con imágenes ópticas. El factor LS es el factor de relieve de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos- USLE (Wischmeier y Smith, 1978) que estima la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica. En el ráster obtenido, los valores más altos de este factor se ubicaron alrededor de los cauces y principios de las laderas, identificando correctamente las zonas más susceptibles a la erosión en caso de un manejo inadecuado.

Conclusión

A partir de pares interferométricos SAOCOM (1A/1B) fue posible generar un MDE para toda el área de estudio en una calidad aceptable. Para perfeccionar el MDE, sin que se produzcan desniveles altitudinales por diferentes artefactos, se recomienda utilizar pares interferométricos de épocas sin cultivos tomados desde finales de otoño hasta finales del invierno. Asimismo, se recomienda aplicar el filtro de suavizado de manera iterativa hasta encontrar un equilibrio entre la eliminación del ruido no deseado y la preservación de la morfometría del MDE. En este sentido, será importante realizar una prospección sobre nuevos filtros que permitan este tipo de resultados, pues en este trabajo sólo se aplicaron procedimientos automáticos conservadores. Aun así, los resultados encontrados al momento son prometedores en relación con el desarrollo de MDEs a partir de imágenes de radar de apertura sintética SAOCOM, ya que se ofrecería una mayor resolución espacial con un impacto positivo particularmente en la modelación de cuencas de llanuras.

El presente trabajo formó parte de los proyectos “Anuncio de Oportunidad para el Desarrollo de Modelos Digitales de Elevación y su Uso en Aplicaciones SAR” de CONAE y “Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas de las regiones del Sistema Agroalimentario Argentino” de la cartera de proyectos INTA.

Referencias

- Boehner, J. y Selige, T. (2006). “Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation”. In: Boehner, J., McCloy, K.R y Strobl, J. *SAGA - Analysis and Modelling Applications, Goettinger Geographische Abhandlungen*, 115: 13-27.
- Burgos, V.H. y Salcedo, M.P. (2014). “Modelos digitales de elevación: tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información”. https://www.researchgate.net/publication/274893404_Modelos_digitales_de_elevacion_Tendencias_correcciones_hidrologicas_y_nuevas_fuentes_de_informacion
- Carson, M.A. y Kirkby, M. J. (1972) Hillslope form and processes. New York Cambridge University Press, 475.
- Conrad, O. (2010). “Tool Close Gaps with Spline. SAGA-GIS Tool Library Documentation (v7.6.2).” Disponible online en: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.6.2/grid_tools_25.html
- European Space Agency (ESA) (2021). SNAP - ESA sentinel application platform (v. 8.0.0) [Computer software]. <http://step.esa.int>
- Galvan, L. (2014). *Análisis y ajuste de modelos digitales de elevaciones en la región central de la Argentina: Integración de modelos geopotenciales e información altimétrica local* [Tesis de Maestría]. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica de la Universidad Nacional de La Plata.
- Goldstein, R. y Werner, C. (1998). “Radar interferogram filtering for geophysical applications.” *Geophysical research letters* 25(21): 4035-4038.
- Lindsay, J. B. (2016). “Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models”. *Hydrol. Process.*, 30: 846- 857. doi: 10.1002/hyp.10648.
- NASA JPL. (2013). “NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Data set].” NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MEaSUREs/SRTM/SRTMGL1.003>
- Vosselman, G. (2000). “Slope based filtering of laser altimetry data”. *LAPRS*, Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands. pp. 935-942
- Wang, L. y Liu, H. (2006). “An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling”. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2): 193-213.
- Wichmann, V. y Conrad, O. (2011). “Module Shrink and Expand. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3)”. En: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.3/grid_tools_28.html
- Wischmeier, W. H., y Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

CAMBIOS DEL USO DEL SUELO EN EL GRAN LA PLATA Y SU INFLUENCIA EN EL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Herrera Niño, Felipe^{1,2}, Dell' Arciprete, Daiana^{1,2}, Zanandrea, Juan Francisco³, Laurencena, Patricia^{1,4}, Montealegre Medina, Fabio Alejandro^{4,5} y Kruse, Eduardo^{1,2}.

¹ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), Universidad Nacional de La Plata, 64 N°3, La Plata, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

³ CITNOBA (UNNOBA-UNSA-CONICET), S. A. de Areco, Argentina.

⁴ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina.

⁵ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAYF), Universidad Nacional de La Plata, Diagonal 113 N° 469, La Plata, Argentina.

E-mail: felipe.herrera@fcnym.unlp.edu.ar, dellarciprete-daiana@fcnym.unlp.edu.ar, jfzanandrea@conicet.gov.ar, plaurencena@hotmail.com, fabalmon@gmail.com, kruse@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

El área de estudio se delimita por un conjunto de cuencas hidrográficas que drenan hacia el Río de la Plata en los municipios de Berisso, Ensenada, La Plata y Magdalena (Fig. 1). Dentro de esta región se encuentra el conglomerado urbano conocido como Gran La Plata (GLP), el cual incluye los tres primeros municipios. En los últimos tiempos, esta zona ha experimentado un rápido crecimiento urbano, la pérdida de cobertura vegetal y un aumento en la extracción de agua de los acuíferos para diversos usos como riego, consumo humano e industrial, entre otros (Kruse et al., 2012). Estos cambios en el suelo pueden tener impactos significativos en la disponibilidad y calidad del agua superficial y subterránea, así como también modificar los componentes del ciclo hidrológico. El objetivo principal de este estudio es analizar la evolución del uso del suelo y sus consecuencias ambientales e hidrogeológicas.

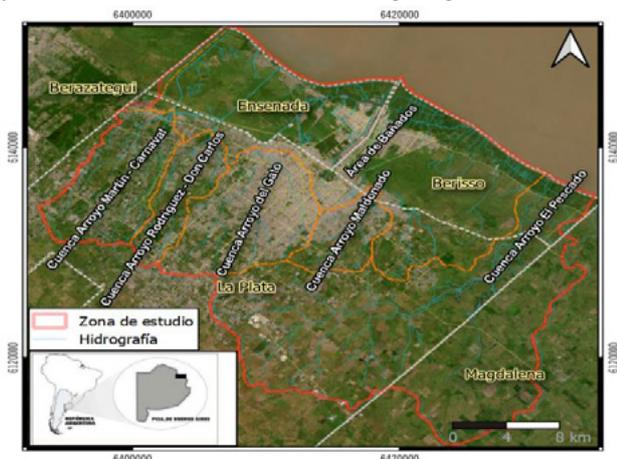


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de estudio.

Metodología

El desarrollo metodológico se basó en cuatro etapas principales: 1) elaboración de mapas de uso/cobertura de suelo (MUCS), 2) validación de los mapas, 3) detección de cambios y 4) determinación de la influencia hidrogeológica sobre las transformaciones territoriales. Los MUCS se generaron por medio una clasificación supervisada en la plataforma de análisis geoespacial Google Earth Engine. Para esto, se procesaron simultáneamente colecciones de imágenes satelitales Landsat 5 TM y 9 OLI/TIRS correspondientes a los años 2011 y 2022, respectivamente. Se probaron distintos algoritmos de clasificación como *Random Forest* (RF), *Support Vector Machine* (SVM) y *Classification and Regression Trees* (CART). La validación de los mapas se llevó a cabo utilizando dos fuentes de datos: puntos de control tomados en campo y la evaluación de información antecedente. Para el MUCS del 2011, se

consideraron fotografías aéreas y mapas previos de distintos autores a distintas escalas espaciales. En el caso del MUCS del 2022 se evaluó la precisión con puntos de campo recolectados de campaña exploratoria en febrero del presente año. Además, de forma complementaria se analizaron imágenes de muy alta resolución disponibles en el *Worldview de Google Satellite* y *Bing Satellite*. La detección de cambios se abordó con el método por diferenciación (*Cross Classification*) disponible en el complemento *Semi-Automatic Classification* del Software QGIS. Finalmente, con la información obtenida se hizo un análisis detallado para evaluar cómo las transformaciones territoriales pueden afectar diferentes aspectos del sistema hidrogeológico.

Resultados

Los MUCS correspondientes a 2011 y 2022 se presentan en las figuras 2 y 3, respectivamente. Se observó que el algoritmo de clasificación *Random Forest* (RF) produjo un mapeo automatizado con mejores resultados.

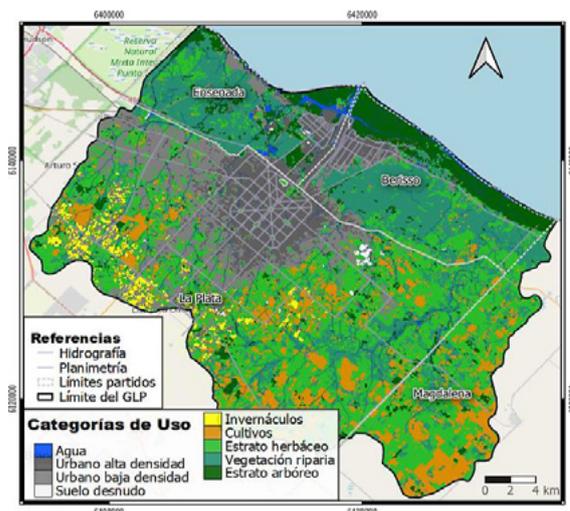


Figura 2.- Mapa de Uso/Cobertura de suelo del año 2011.

La validación del MUCS de 2011 dio un valor de precisión total del 93,67 % y de Coeficiente Kappa 0.92. En el MUCS del 2022 estos resultados fueron 94,75 % y 0.94, respectivamente. La detección de cambios evidencia un conjunto de transformaciones territoriales dinámicas en el periodo de análisis (11 años). En el gráfico 1 se ilustran las áreas totales de cambio en hectáreas y las diferencias relativas (%) respecto a 2011 para cada categoría de uso. Se identifican situaciones tanto de pérdidas como de ganancias en superficie. Las principales pérdidas se encuentran en la vegetación riparia (18%) y en el estrato herbáceo (16%), mientras que las mayores ganancias ocurrieron en los campos de cultivos al aire (29%), invernáculos (100%) y en sectores urbanos

(41%). Las categorías agua, estrato arbóreo y suelo desnudo muestran menores variaciones. Asimismo, se observa que las áreas hortícolas bajo cubierta (invernáculos) han duplicado su extensión areal y van expandiéndose hacia la cuenca del arroyo Maldonado y El Pescado. El uso de la tierra en el área periurbana presenta mayor desarrollo agrícola en el 2011 que en el 2022 donde fue modificándose por el avance de la urbanización de baja densidad. Al mismo tiempo que el sector urbano de alta densidad fue creciendo a expensas del sector de baja densidad (fenómeno de conversión). En los partidos de Berisso y Ensenada el crecimiento de la urbanización fue hacia el área de humedales costeros, caracterizada por vegetación riparia.

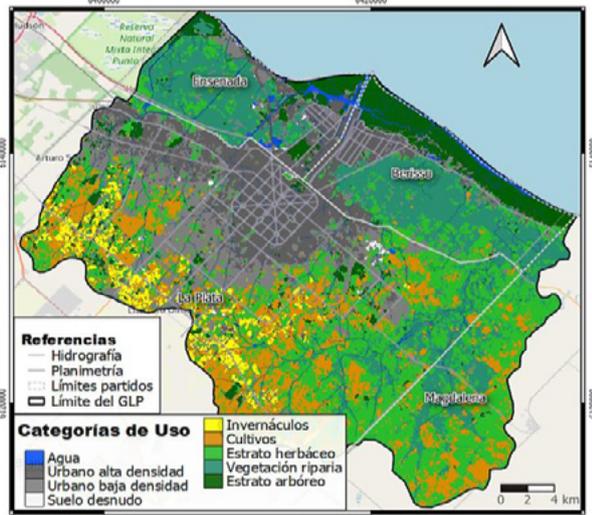


Figura 3.- Mapa de Uso/Cobertura de suelo del año 2022.

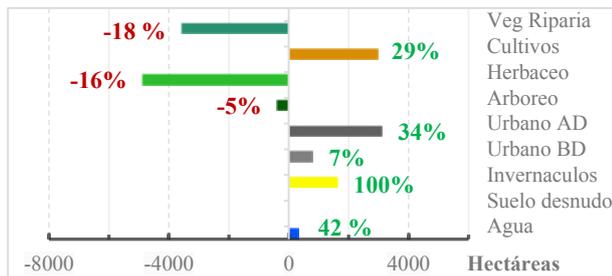


Gráfico 1.- Cambios totales en hectáreas y diferencias relativas (%) de cambio respecto al año 2011. Abreviaciones: AD (Alta densidad), BD (Baja Densidad).

Tabla 1.- Fenómenos espacio-temporales y su influencia hidrogeológica. Abreviaciones: AS (Agua Subterránea).

Cobertura	Fenómeno	Influencia hidrogeológica
Invernáculos	Expansión hortícola	Impermeabilización del suelo → menor recarga del acuífero. Aumento del riego → mayor extracción de AS.
Urbana alta y baja densidad	Expansión y conversión	Aumento en la demanda → mayor extracción de AS. Impermeabilización del suelo → menor recarga del acuífero.
Cultivos	Expansión agrícola	Aumento del riego → mayor extracción de AS.
Vegetación riparia, arbórea y herbácea	Reducción de vegetación.	Menor retención de agua superficial → disminución en la infiltración y recarga del acuífero.

Estas transformaciones promueven a la impermeabilización del suelo, y por consiguiente al aumento del escurrimiento superficial y la disminución de la infiltración. Los fenómenos espacio-temporales identificados y su influencia hidrogeológica se resumen en la tabla 1.

Análisis de resultados

Los resultados logrados permiten entender las transformaciones territoriales en el GLP durante los 11 años de análisis y su influencia en el comportamiento hidrogeológico. Los MUCS proporcionaron una línea de base sólida para analizar la evolución espacio-temporal en la región. Si bien los resultados de la validación son buenos, en próximas campañas se tomarán más datos de campo para ajustar más la precisión de la clasificación del MUCS del 2022.

El acelerado desarrollo frutihortícola en los sectores medios y altos de las cuencas hídricas, junto a la rápida expansión urbana, conforman las transformaciones más prominentes del territorio. Similares patrones de movimiento fueron obtenidos por Baldini (2020) para el partido de La Plata. Como consecuencia se produce una mayor demanda de agua, un aumento en la explotación del recurso hídrico subterráneo y perturbaciones hidrodinámicas. Estos cambios pueden originar zonas de competencia entre distintos usuarios del agua subterránea. Estudios realizados en la misma zona por García y Zanandrea (2018) evidencian cómo en algunos sectores se ha modificado el flujo hidrológico natural y la marcada profundización de los niveles piezométricos. Estos autores asocian dichos fenómenos con la explotación intensiva del área. Otra consecuencia de esto último, es el aumento de la superficie del cono de depresión y su desplazamiento desde el casco urbano hacia la zona periurbana (Laurencena et al, 2010; García y Zanandrea, 2018).

Las consecuencias de los fenómenos espacio-temporales expuestos en la tabla 1 pueden manifestarse de forma drástica durante eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones. Durante las sequías, la reducida recarga del acuífero puede agravar aún más la disminución de los niveles de agua debido a la explotación excesiva. Por otro lado, la expansión urbana y agrícola, que conlleva a la impermeabilización del suelo, crea condiciones propicias para un aumento en el escurrimiento superficial y consecuentemente en las posibilidades de inundaciones.

Conclusiones

La información obtenida en el presente trabajo indica que el área de estudio ha experimentado modificaciones significativas en el uso del suelo, lo cual genera un impacto directo sobre el agua subterránea. Principalmente afectan las posibilidades de infiltración y recarga de los acuíferos; procesos claves para garantizar la disponibilidad de agua a largo plazo. Los resultados de este estudio resaltan la importancia de considerar el manejo adecuado del suelo en el análisis de la gestión del recurso subterráneo. Es crucial implementar medidas adecuadas de planificación y gestión para asegurar su sostenibilidad, a fin de lograr un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

- Baldini, C. (2020). "Territorios en movimiento: las transformaciones territoriales en el Cinturón Hortícola Platense en los últimos 30 años". Tesis de Doctorado. FCAyF, Universidad Nacional de La Plata.
- García, J.M. y Zanandrea, J.F. (2018). "Evaluación de la dinámica hídrica del agua subterránea en la región del Gran La Plata". Recuperado de http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12890/24-aguas-garcia-juanmanuel-unlp.pdf XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo. Mendoza, Argentina.
- Kruse, E.; Sarandón, R. y Gaspari, F (Comp.). (2012). Impacto del cambio climático en el Gran La Plata. UNLP. Proyecto de Investigación, Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias.
- Laurencena, P., Deluchi, M., Rojo, A. y Kruse, E. (2010) "Influencia de la explotación de aguas subterráneas en el sector periurbano de La Plata." *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 66 (4) p. 484 - 489 Número especial Geología Urbana, Ordenamiento Territorial y Teledetección.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO DEL RÍO DULCE EN DIFERENTES ESCENARIOS CLIMÁTICOS

1er. Jesus Armando Ibañez y 2do. Mabel Elizabeth Amarilla

Av. Roca (S) N° 24 (4200) Santiago del Estero, Argentina (1)
U.N.S.E. Sede Parque Industrial -Gral. Savio, La Banda, Santiago del Estero (1)
Av. Carlos Pellegrini s/n (3603) El Colorado-Formosa, Argentina (2),
jesusai@unse.edu.ar (1), amarilla.mabel@inta.gob.ar (2)

Generalidades

Actualmente el Sistema de Riego del Río Dulce en la Provincia de Santiago del Estero, es uno de más extensos del país con 80.000 hectáreas bajo riego. La conducción está compuesta por canales de distintas envergaduras, mayoritariamente de tierra y en menor medida revestidos, además de canales de drenaje y obras de arte. El método de riego más utilizado es por gravedad. Se produce principalmente algodón, alfalfa y en menor escala cucurbitácea, entre otras verduras. Su fuente es la Presa de Río Hondo con una capacidad total de 1345 hectómetros cúbicos, habilitada en el 1967, para fines de multipropósito como ser el consumo humano, el abrevado animal, el riego, la generación de energía, además de garantizar el caudal ecológico, promover el turístico y asegurar atenuación de crecida.

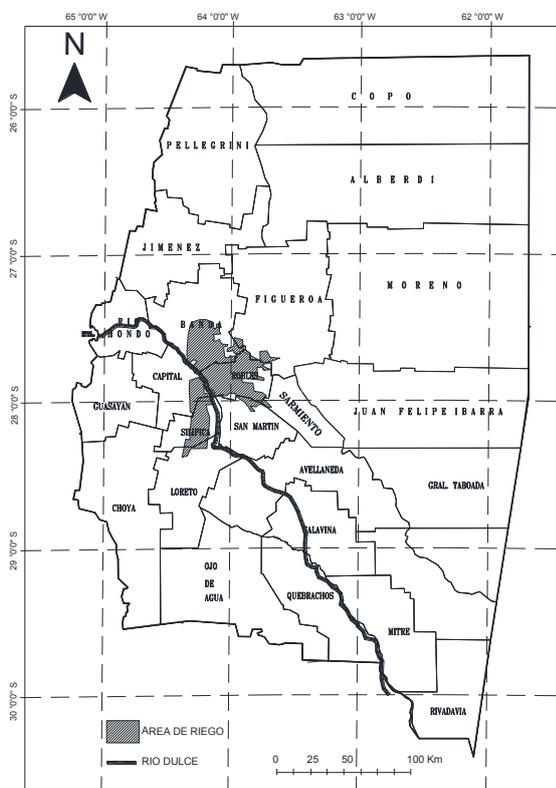


Figura 1.- Área de Influencia del Sistema de Riego

En las últimas décadas se fueron alternando ciclos húmedos y secos, coincidentes con El Niño y La Niña -Oscilación del Sur (ENOS). Con escenarios de excesos y déficit hídricos.

En los años 2020, 2021 y 2023, los ciclos “Niña” afectaron drásticamente la disponibilidad del agua, con la disminución del volumen utilizable, restringiéndose el servicio de riego, con efectos directos en la productividad del área.

Ante la posibilidad de continuar con escenarios de déficit y con un aumento significativo del tiempo de permanencia de los mismos, se hace necesario implementar medidas de gestión para minimizar los impactos.

La Unidad Ejecutora del Servicio de Riego del Río Dulce, es el organismo encargado de organizar y controlar, los turnados de riego como así también la operación de los canales principales,

secundarios y terciarios, al igual que el mantenimiento de las obras de infraestructura.

Objetivo

El objetivo del siguiente trabajo es presentar las alternativas de manejo y gestión del agua en la cuenca del río Salí-Dulce. Con la premisa de cubrir las demandas de uso para los diferentes escenarios de disponibilidad de agua.

Desde la *Unidad Ejecutora*, se muestran y analizan registros de erogación desde la Presa de Río Hondo, los consumos contabilizados en el sistema de riego, el caudal pasante por el Río Dulce y el trasvase al Río Salado.

Se exponen los modos de administración como parte de la estrategia de manejo del agua, un modelo de gestión incluyendo a la Unidad Ejecutora del Servicio de Riego del Río Dulce, a los diferentes organismos y actores involucrados directamente o indirectamente.

Metodología

Una vez publicados los pronósticos de cada año hidrológico, advirtiendo de la ocurrencia de un año normal, húmedo o seco, se organiza el plan de manejo anual. Y teniendo en cuenta la normativa vigente, Ley Provincial 4.869 Código de Agua de la Provincia de Santiago del Estero, donde se detalla la prioridad del uso del agua:

- 1er para consumo humano,
- 2do abrevado animal y
- 3er uso agrícola.

Cabe señalar que se abastece a 7 planta potabilizadoras dotando de agua a más de 50000 personas. El mismo sistema alimenta 250 represas ganaderas asegurando el abrevado de más de 100000 cabezas de ganado mayor y menor.

Si bien el agua para uso agrícola, se encuentra en tercer lugar, no debemos olvidar el impacto social y la economía local y regional, que trae los bajos rendimiento por la falta de riego, como por ejemplo los cultivos predominantes como el algodón o la alfalfa.

Finalmente, no podemos eludir los acuerdos interprovinciales, con Santa Fe y Córdoba, que también forman parte de la planificación.

Tabla 1.- Nomenclature

Descripción	Siglas	Periodo		
		Normal	Húmedo	Seco
Río Dulce	RD	RD(N)	RD(H)	RD(S)
Sistema de Riego del Río Dulce	SRRD	SRRD(N)	SRRD(H)	SRRD(S)
Trasvase al Río Salado	TRS	TRS(N)	TRS(H)	TRS(S)

A continuación, se presenta la planificación llevada adelante durante los últimos años, los volúmenes en término de derrame (hectómetros cúbicos), de cada componente y los esquemas erogación que se aplicaron año a años, para distintos escenarios. La presentación de registros corresponde al año calendarios agronómicos (fecha de cultivo, duración de los mismos, etc.).

Tabla 2.- Derrame del Año 2009

Componente	Año Normal (Hm ³)												Derrame anual [Hm ³]
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Erogacion de la Presa	238	426	637	321	230	212	219	247	239	240	222	216	3.446
SRRD	85	84	76	111	65	0	112	130	122	132	107	24	1.048
TRS	9	12	24	28	18	0	32	32	31	32	27	11	255
RD	127	137	200	67	132	187	70	57	62	54	65	78	1.236
Periodo de Corte del Sistema de Riego para los trabajos de mantenimiento													
Periodo de mayor demanda SRRD													

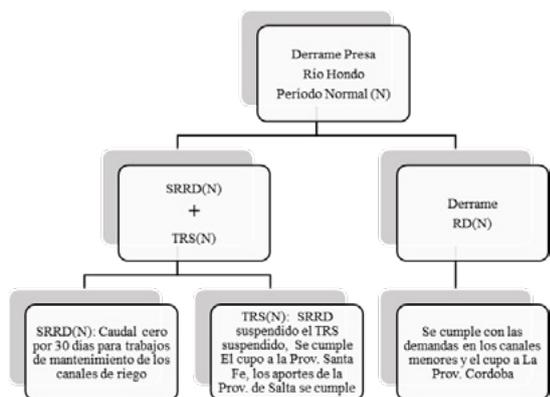


Figura 2.- Esquema de trabajo en periodo normal.

Tabla 3.- Derramen del Año 2015

Componente	Año Humedo (Hm ³)												Derrame anual [Hm ³]
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Erogacion de la Presa	332	961	1.724	647	306	231	194	243	238	250	245	563	5.935
SRRD	71	124	32	57	98	0	38	112	119	133	74	51	909
TRS	20	16	2	0	1	0	0	16	17	16	14	5	106
RD	218	828	1553	558	186	219	141	99	90	88	145	479	4.605
Periodo de Corte del Sistema de Riego para los trabajos de mantenimiento													
Periodo de mayor demanda SRRD													

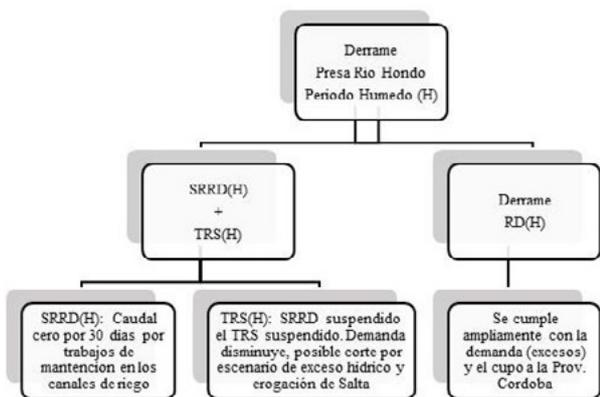


Figura 3.- Esquema de trabajo en periodo húmedo.

Tabla 4.- Derramen del Año 2022

Componente	Año Seco (Hm ³)												Derrame anual [Hm ³]
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Erogacion de la Presa	172	222	460	333	137	192	161	238	217	290	224	135	2.779
SRRD	14	76	102	102	0	66	42	111	87	153	80	11	843
TRS	16	10	24	21	0	14	20	15	20	20	20	19	198
RD	132	125	310	192	129	103	90	99	98	102	111	97	1.587
Periodo de Corte del Sistema de Riego para los trabajos de mantenimiento													
Periodo de mayor demanda SRRD													

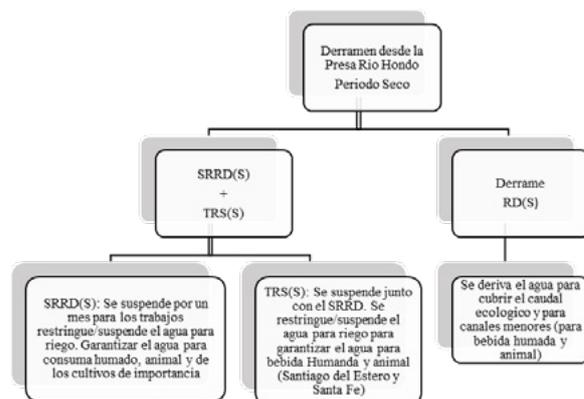


Figura 4.- Esquema de trabajo en periodo seco.

Análisis de resultados y conclusiones

En los periodos normales no existen mayores presiones sobre el agua. Se puede cumplir con la demanda para consumo humano, abrevado animal y el riego para los cultivos dominantes algodón y alfalfa, además de trigo, centeno, vicia, etc.

En los periodos húmedos los excesos se evacuan con mayor erogación desde la Presa de Rio Hondo. Sobre todo si se dan precipitaciones locales en zona del SRRD y disminuye la demanda para el riego (en los meses de noviembre y diciembre). En este periodo se cumple sin inconvenientes los cortes de riego programado,

Las restricciones se presentan como era de esperar en el periodo seco. Donde la prioridad es garantizar el agua para el consumo humano y el abrevado animal. Vigilando los derrames y reservas del embalse, para restringir el riego de manera adecuada. En este sentido la limitación se aplica escalonadamente según los tipos de cultivos dando valor a los cultivos predominantes. La alfalfa es el segundo cultivo en extensión con 21.000 hectáreas, implantado por la mayoría de productores minifundista que son aproximadamente 3.000, por lo que su impacto es forzosamente social. El primer cultivo en importancia en extensión y en relación a la economía regional es el algodón, con aproximadamente 50.000 hectáreas cultivadas. Los impactos productivos son directos al productor e indirectos a su cadena de valor. Actualmente existen 5 desmontadoras, además de toda la industria y comercios asociados. Los meses donde se presentan las mayores restricciones son mayo (destinado a la ejecución de las tareas de mantenimiento del sistema), junio, julio y agosto. En estos meses, la prioridad es abastecer las represas asegurando el agua de bebida. Si existe algún remanente, se utiliza para riego de cultivo en planta, con prioridad "alfalfa". En el mes de septiembre comienza el riego para la siembra del algodón que se extiende hasta fines de noviembre, es decir, los meses de mayor demanda son septiembre, octubre y noviembre, por lo que son muy esperadas las lluvias de primavera. La sostenibilidad del sistema se basa entre otras cosas en los acuerdos entre los usuarios y la autoridad del agua, equilibrando necesidades e intereses.

Referencias Bibliográficas

Prieto, D. (1998). *Modernisation and Evolution of Irrigation Practices in the Rio Dulce Project (PRD)*, Santiago del Estero, Argentina.

Ibañez J. (2023). *LA UESRRD participó en la Jornada Por El Dia Mundial del Agua*. Santiago del Estero, Argentina.

APROXIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE CAMPOS DE PRECIPITACIONES EN EL NORESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA

Yuly J. Infante López ⁽¹⁾, Pablo G. Romanazzi ⁽¹⁾, y Eduardo F. Cassiraga ⁽²⁾

(1) Universidad Nacional de La Plata, Argentina; (2) Universidad Politécnica de Valencia, España
promanazzi@ing.unlp.edu.ar

Introducción

Poder contar con datos pluviométricos que se extienden como una variable regionalizada es de gran importancia para la resolución del balance hídrico regional y la ecología. Pero poder contar con estos datos, tanto espacial como temporalmente, se convierten en un desafío, ya que no siempre se cuenta con estaciones pluviométricas distribuidas homogéneamente en el territorio y con datos sin faltantes en todo el periodo observado. En este trabajo se emplearon herramientas de la geoestadística que permitieron describir el comportamiento de las lluvias en una región productiva del NE de la provincia de La Pampa, donde se alternan periodos de exceso y de déficit en el balance hídrico.

Registros pluviales mensuales

Fueron seleccionadas 45 estaciones pluviométricas ubicadas en estaciones de las vías férreas existentes y una aceptable distribución espacial en la zona de estudio (figura 1); de las cuales, a través de fuentes oficiales, se recopilaron los datos de precipitación mensual entre los años 1921 y 2020.

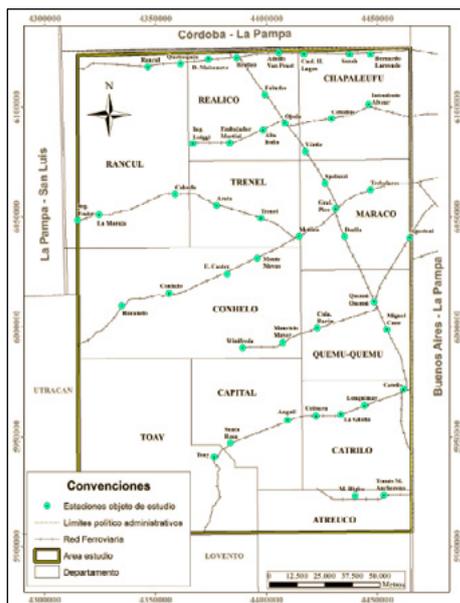


Figura 1.- Estaciones pluviométricas en la zona objeto de estudio

Se analizó la precipitación mensual del promedio temporal; donde junio y julio presentaron los menores valores con 17,80 y 17,46 mm, respectivamente. Por contraposición, el promedio de todos los meses de marzo resultó ser el más alto con 98,93 mm, seguido de diciembre con 87,67 mm. También se evidenciaron dos periodos: uno húmedo entre los meses octubre y marzo y otro seco entre los meses abril y septiembre. El umbral de separación entre estos periodos fue de 58 mm.

Procedimiento geoestadístico

En este trabajo se aplicó el método geoestadístico no paramétrico, ya que su fin es modelar la distribución de los valores que la

variable puede tomar. Para tratar los datos de forma homogénea se tomó la decisión de estacionalidad; necesaria para aplicar la geoestadística.

Conocer la estructura de autocorrelación a cualquier distancia posible entre los datos dentro del área de estudio, fue fundamental para aplicar el método geoestadístico de kriging ordinario. Para ello, se estimaron modelos de variograma que generalizaron lo observado a cualquier distancia (figura 2); empleando el modelo esférico, por tratarse de datos de precipitación.

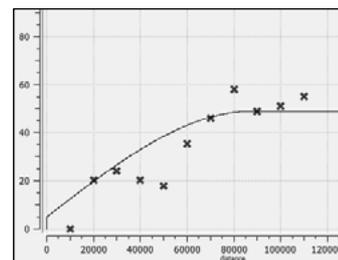


Figura 2.- Variograma del promedio mensual de enero con dirección 45°

Al modelar los variogramas, se observó que crecían sin alcanzar una meseta clara por tratarse de una variable no estacionaria. Un supuesto fundamental en el análisis geoestadístico es que el fenómeno debe ser estacionario; por tal motivo, se modelaron los variogramas alcanzando una meseta que redondeó la varianza de cada variable. Debido a la poca cantidad de datos, ya que se contó solo 45 datos en toda la zona de estudio, fue difícil ajustar el modelo de variograma experimental lo que también imposibilitó determinar si hay posibilidades de anisotropía.

Para estimar el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio en la serie temporal 1921-2020, se plantearon tres escenarios: promedio mensual, máximo mensual y periodo húmedo-seco. En cada escenario, a partir de los datos in situ, se realizaron interpolaciones utilizando el método geoestadístico kriging ordinario

Análisis de las precipitaciones

A partir del resultado del kriging ordinario se elaboraron planos con las isoyetas medias para cada escenario. Los resultados se describen a continuación.

Promedio mensual: el mes más lluvioso correspondió a marzo con precipitaciones entre 85 mm y 110 mm (figura 3), con un gradiente que aumentó y se concentró hacia Quemú; seguido de diciembre y enero, con intervalos de lluvias de 80 a 95 mm y 75 a 90 mm respectivamente, meses en los cuales se distribuyeron las precipitaciones más cuantiosas en la zona norte.

El análisis espacial de las precipitaciones medias mensuales en la serie 1921-2020, tuvo como resultado una variación en sentido oeste-este aumentando hacia el noreste de la zona de estudio. Las mayores lluvias promedio se concentraron en los departamentos Chapaleufú, Maracó y al norte de Realicó y Quemú-Quemú, zona que presentó problemas a causa de las inundaciones, como en otoño de 1999 donde se registró una situación hídrica extrema, como consecuencia de precipitaciones extraordinarias y elevados excesos hídricos.

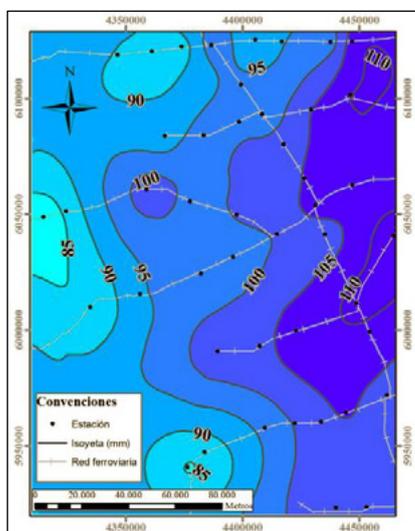


Figura 3.- Precipitación media (1921-2020) para marzo.

Máximos mensuales: entre octubre y diciembre se evidenciaron los mayores valores de precipitación, los cuales se concentraron en el noreste de la zona de estudio; que corresponde a la zona inundada en Falucho y alrededores en el año 1997. En el mes de diciembre (figura 4) ocurrió la precipitación máxima del periodo observado, casi superando el promedio histórico anual (691 mm.) Seguido, en el mes de marzo los valores extremos tuvieron una tendencia de concentración al sureste de la región, llegando a los 550 mm, que corresponde a los sucesos ocurridos en el año 2001 en M. Riglos.

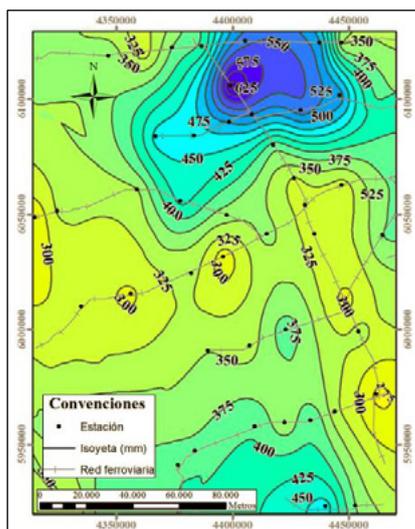


Figura 4.- Precipitación máxima mensual (1921-2020) para diciembre.

Periodo húmedo-seco: en el periodo húmedo (octubre-marzo) los valores varían entre 434 y 565 mm, con un aumento en las precipitaciones de suroeste a noreste, concentrándose en las estaciones Quemú-Quemú, General Pico y Embajador Martini. En el periodo seco (abril-septiembre) las precipitaciones oscilaron entre 155 y 217 mm, disminuyendo de este a oeste. Con lo anterior, se evidencia la marcada diferencia estacional en la zona bajo estudio, donde los valores de la precipitación estimada en el periodo seco casi duplican los valores del periodo húmedo.

Datos CHIRPS de la serie 1981-2020.

Se obtuvieron datos diarios de precipitación CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) de la zona de estudio desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de

diciembre de 2020, realizando un análisis espacial de las imágenes raster con software SIG.

Se validó la confiabilidad de dichos datos, comparándolos con los datos observados de las 45 estaciones pluviométricas, utilizando la técnica de doble masa que permitió conocer la relación de proporcionalidad entre las dos fuentes de datos.

En la figura 5 se representó el factor de correlación para cada estación, tomando como aceptable un margen de 1% para cada lado (0,99-1,001). En las estaciones Adolfo Van Praet, Bernardo Larroudé Ceballos y Quetrequén el valor de dicho factor es aceptable. En la diagonal noreste se concentraron las estaciones con un margen mayor a 1% por defecto de los valores de CHIRPS, lugar donde normalmente fueron las inundaciones más grandes (Falucho, Ojeda, Vértiz, Speluzzi). Lo contrario sucede en la zona sur y oeste, donde el margen de 1% es por exceso de los datos CHIRPS, lugares donde la precipitación es menor.

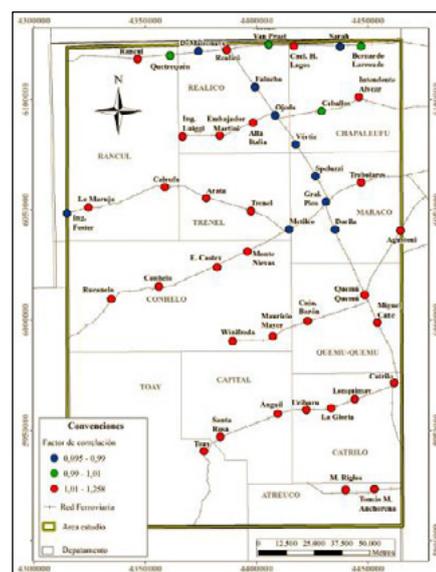


Figura 5.- Factor de correlación CHIRPS y observados (1981-2020)

Conclusiones

Al modelar los variogramas teóricos de los datos in situ es difícil su ajuste debido a la distribución espacial de las estaciones pluviométricas.

Los resultados de las interpolaciones espaciales, con kriging ordinario, permiten estimar el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio, donde se evidencia que en los departamentos Realicó, Chapaleufú, Maracó y Quemú-Quemú, ubicados al noreste, se presentan las mayores precipitaciones para la serie de tiempo 1921-2020.

Los datos CHIRPS tienden a subestimar los valores de la precipitación acumulada mensual en los lugares donde se presentan las mayores precipitaciones históricas de la región; mientras que en los lugares donde las lluvias no fueron severas, CHIRPS tiende a sobrestimar la precipitación.

Referencias Bibliográficas

Administración Provincial del Agua, Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Gobierno de La Pampa (2015). *Datos de lluvias históricas. Lluvias desde el año 1921 hasta el año 2015.* <https://apa.lapampa.gob.ar/datos-de-lluvia.html>

Climate Engine (2021). *Cloud Computing of Climate and Remote Sensing Data. CHIRPS-Daily Precipitation period of record: 1981-01-01 to 2020-12-31.* <https://clim-engine.appspot.com/climateEngine>.

CAUDALES SÓLIDOS Y LÍQUIDOS, TEMPORADA 20/21 DE LA CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO, CATAMARCA – TUCUMÁN, ARGENTINA.

1^{er} Isuani, M.A., 2^{do} Georgieff, S.M. y 3^{er} Bustos, M.S.

1 CONICET, Argentina, Miguel Lillo 205, S. M. de Tucumán. antonella.isuani@gmail.com

2 Facultad de Ciencias Naturales e IML UNT, CONICET, Argentina, Miguel Lillo 205, S. M. de Tucumán. sergio_georgieff@cnat.unt.edu.ar

3 Instituto de Ecosistemas de Aguas Continentales (FML), Argentina, Miguel Lillo 251, S. M. de Tucumán. msbustos@lillo.org.ar

Introducción y Área de Estudio.

En las últimas décadas, las cuencas hidrográficas del NOA han sido afectadas por la actividad antrópica, principalmente por el avance de la agricultura, ocasionando la pérdida de 2.840.547 ha de masa boscosa entre 2000 y 2016 (Volante *et al.*, 2012; CEEH, 2017). Estos cambios están asociados a eventos hidrológicos extremos e incrementos de las precipitaciones medias anuales de casi 200 mm a partir de 1972 (Eremchuk. *et al.*, 2016; Bazzano, 2019).

La cuenca del río San Francisco (CRSF, 1.789 km²) se encuentra situada al este de la provincia de Catamarca y sur de la Provincia de Tucumán, en el Noroeste Argentino, formando parte de la región septentrional de las sierras Pampeanas entre los 27°40' y 28°25' S y los 65°15' y 65°45' O. La cuenca en un recorrido corto (80km) abarca zonas de altas pendientes (montañas del oeste y sur, gradiente máximo de 53%) y zonas de bajas pendientes y bajos topográficos (llanuras del este, gradiente máximo de 5%). Las unidades orográficas que delimitan la cuenca comprenden: las estribaciones surorientales de las sierras de Ambato y el sector septentrional de la sierra de Ancasti (cumbres de Alijilán y Las Tunas), (Eremchuk, 2019). En la cuenca la existencia de suelos loésicos de elevada erosionabilidad y erodabilidad potencian los procesos erosivos laminares y lineares.

Previo al año 2000 los excedentes hídricos de riego se incorporaban a los bañados de la cuenca, las canalizaciones posteriores por avance de la frontera agrícola produjeron cambios en el nivel de base del río San Francisco, generando nuevos procesos erosivos entre los que sobresale la erosión retrocedente, la profundización de los cauces, la erosión de riberas y los procesos de *piping* que acentúan el carcavamiento de las riberas en la cuenca media y baja.

La suma de factores: incremento de las precipitaciones (comienzos de la década de 1970), cambio de uso del suelo (intensificado a partir de 1994) y canalizaciones de bañados (desde principios del 2000) ocasionó en la CRSF el transporte de 30 hm³ de sedimentos en 8 días (25 de marzo al 2 de abril de 2017; CEEH, 2017).

El registro de los caudales líquidos y sólidos permiten cuantificar la dinámica de los caudales que influyen en los desbordes e inundaciones de las localidades ribereñas y en la sedimentación del embalse de Río Hondo; este último registra, en las últimas décadas del siglo XX, un aumento de la colmatación y reducción de su capacidad a razón de 1,03% promedio anual (De Marco, 2001). El objetivo del trabajo fue la medición de caudales líquidos y sólidos durante el periodo mayo 2020 – abril 2021.

Metodología

Las mediciones de caudales y las tomas de muestras se realizaron mensualmente en el tramo inferior de la CRSF, en la localidad de El Zapallar (27°45'45"S - 65°20'2.22"O), (figura 1), donde converge el caudal total de la cuenca. El cálculo del caudal se obtuvo mediante el método "flotador y sección transversal" en el punto de muestreo. En gabinete se calculó el

caudal al momento del muestreo por medio del producto entre la velocidad media y la sección transversal obtenida. Los caudales mensuales fueron obtenidos teniendo en cuenta el caudal de la sección y los días de cada mes analizado, y el caudal anual (Qa) por medio de la sumatoria de los caudales mensuales. Se considera este tipo de determinación por la falta de estaciones de aforos en la cuenca, para obtener los primeros datos directos y conocer el comportamiento hidrológico base de la misma.

Además se recolectaron muestras de sedimentos de fondo y suspensión empleando un muestreador instantáneo de sedimentos de 1,0 litro de capacidad. La sección transversal analizada es reducida (figura 1), teniendo máximos de 3m de ancho, y un diseño de lecho prácticamente estable en los meses muestreados. Se tuvo en cuenta como referencia para la toma de muestras la máxima profundidad registrada en los perfil transversales obtenidos (profundidades máximas promedios entre 40 y 50 cm); el muestreo de materiales en suspensión se efectuó a 1/3 de dicha profundidad y el de materiales de fondo sobre el lecho, en sectores donde la superficie fuera relativamente lisa y sin presencia de cantos rodados. En ambos casos se dejó estabilizar la corriente dentro del muestreador durante 60 segundos y las muestras de agua con sedimento fueron envasadas en recipientes etiquetados.

Se filtraron las muestras a través de papel de filtro n°4 previamente pesado. El material retenido en los filtros se secó en estufa por 24 hs y se pesó en balanza de precisión. La concentración de sedimentos (C en mg/l) se obtuvo a través de la ecuación 1, (Basile, 2018), donde V es el volumen de la muestra. Se calcularon las cargas mensuales teniendo en cuenta el caudal ($l \cdot s^{-1}$) correspondiente en el momento de la recolección de la muestra. La carga total anual (CTA) transportada por la cuenca se obtuvo de la sumatoria de los datos mensuales obtenidos (carga en suspensión más carga de fondo) y la carga de sólidos media mensual de la relación entre la CTA y los meses analizados.

$$C = \frac{(filtro+sed)-(filtrosin sed)}{V(l)}$$

[1]

Las muestras fueron tamizadas y se utilizó el software GRADISTATv.9.1 para obtener las curvas granulométricas y el tamaño promedio de los sedimentos.



Figura 1.- Zona de muestreo de caudales líquidos y sólidos.

Resultados y Conclusiones

Los caudales anuales obtenidos son $Q_a = 21,94 \text{ hm}^3/\text{año}$. La CTA fue de 83.404 tn/año de los cuales 27.292 tn/año corresponden a carga de fondo y 56.111 tn/año a carga en suspensión. La carga media mensual de sólidos transportados fue de 6950 tn . Los tamaños promedios obtenidos por medio de los tamizados y construcción de curvas granulométricas fueron: limo grueso para los sedimentos transportados en suspensión y arena muy fina a fina para los materiales de fondo.

Los valores cuantificados referidos al transporte de sedimentos son inferiores a la erosión estimada mediante el método RUSLE por (Bustos, 2019) iguales a $24,4 \times 10^6 \text{ t año}^{-1}$, lo que indica una relación de distribución del 0.34% de la erosión bruta. Esta diferencia se interpreta como consecuencia de la retención de sedimentos en bajos topográficos presentes en la cuenca, prácticas de retención como el uso de bolsas arpilleras y diques de retención sobre el cauce, redes en los campos y/o la salida de sedimentos del cauce a través de bifurcaciones/avulsiones generadas principalmente en eventos de inundación. Por lo mencionado, solo parte del material producido por la erosión laminar alcanza la red de drenaje y la salida de la cuenca (figura 2).

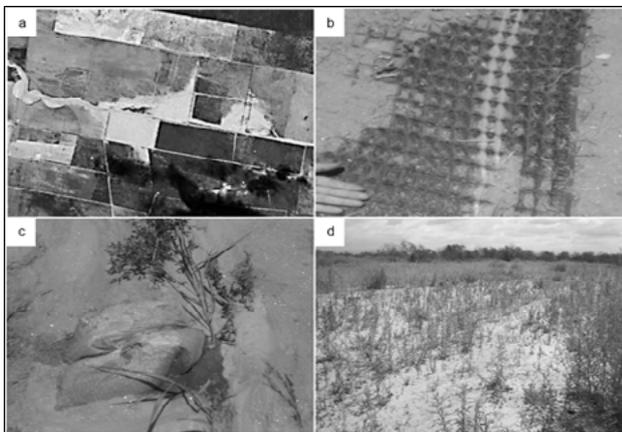


Figura 2.- a. Avulsión post evento de inundación.; b y c. prácticas de retención de sedimentos; d. retención de sedimentos en bajos topográficos.

Referencias

- Basile, P.A.,** (2018). "Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales." 1ª Ed., Rosario: UNR Editora. *Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.*
- Bazzano, F.,** (2019). *Predicción de lluvias máximas para diseño hidrológico. Desarrollo experimental en la provincia de Tucumán.* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán.
- Bustos, M. S.** (2019). Cálculo de la pérdida de suelo media anual en las cuencas de los ríos San Francisco, San Ignacio y arroyos La Posta y El Sueño mediante aplicación del modelo ecuación universal de pérdida de suelo revisada. Informe técnico. 31pp.
- Comisión especial de Emergencia Hídrica, CEEH** (2017). Comisión de Emergencia Hídrica para el tratamiento de la problemática de inundaciones en el sur de la provincia de Tucumán, este de Catamarca y Río Hondo. Informe Técnico 298 pp.
- De Marco, V. M.** (2001). Estudio de sedimentación del embalse de Río Hondo. Valoración cualitativa y cuantitativa de los problemas erosivos que afectan a la alta cuenca del río Salí-Dulce (provincias de Tucumán-Santiago del Estero, Argentina). (Doctoral dissertation) Universidad Politécnica de Madrid.
- Eremchuk J., M. Y. Cisternas y M. Costello** (2016). Determinación de Áreas Inundables de las Localidades Ubicadas en la Cuencas de los Ríos El Abra, San Francisco, Ovanta y Las Cañas del Este Catamarqueño, Provincia de Catamarca. Informe técnico II-V-320pp.

Colegio de Geólogos de Catamarca para la Subsecretaría de Recursos Hídricos Catamarca.

Eremchuk, E. (2019). "Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca". *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. Vol. 42, pp. 35-47.

Volante, J.N., D. Alcaraz-Segura, M.J. Mosciaro., E.F. Viglizzo & J.M. Paruelo (2012). "Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 154, pp 12-22.

RETROCESO DE GLACIARES Y CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN TIERRA DEL FUEGO, ARGENTINA

Iturraspe Rodolfo⁽¹⁾, Urciuolo Adriana⁽¹⁾, Ramos Diego⁽²⁾

(1): Universidad Nacional de Tierra del Fuego, AeIAS, Argentina,

(2) Dirección Gral de Recursos Hídricos. Secretaría de Ambiente, Prov. Tierra del Fuego AeIAS, Argentina
riturraspe@untdf.edu.ar; aurciuolo@untdf.edu.ar; diego.pablodiegor@gmail.com

Introducción

El generalizado comportamiento recesivo de los glaciares de montaña de América del Sur (Masiokas, 2020) es un evidente efecto del cambio climático global, que ha activado alarmas por la pérdida de reservas de agua y cambios en los regímenes de cursos de agua con alimentación glaciar, situación que se ha visto agravada por una persistente sequía que afecta especialmente la vertiente atlántica de la Patagonia (Urciuolo e Iturraspe, 2022). Strelin e Iturraspe (2007) presentaron los primeros resultados relativos al comportamiento del glaciar Martial Este (GME), indicando una pérdida media anual de 450 mm a.e. (agua equivalente) entre 1984 y 2003. Este pequeño glaciar es representativo de los pequeños glaciares fueguinos remanentes que se han replegado desde el fin de la Pequeña Edad del Hielo, hacia la segunda mitad del siglo 19.

El balance de masa anual es muy buen indicador del comportamiento de glaciares. El monitoreo de cambios de superficie o de la posición del frente se utiliza también en glaciares mayores por su sencillez, sin embargo la estabilidad de estos parámetros no asegura una situación de equilibrio, ya que los glaciares pueden perder espesor sin mostrar cambios en su extensión. Es el caso del GME.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar la tendencia recesiva del glaciar piloto Martial Este y evaluar la importancia de su contribución al escurrimiento.

Metodología

El área de estudio se sitúa en la cuenca del arroyo Buena Esperanza (Figura 1). Dicho curso es una de las fuentes de provisión de agua de la ciudad de Ushuaia.

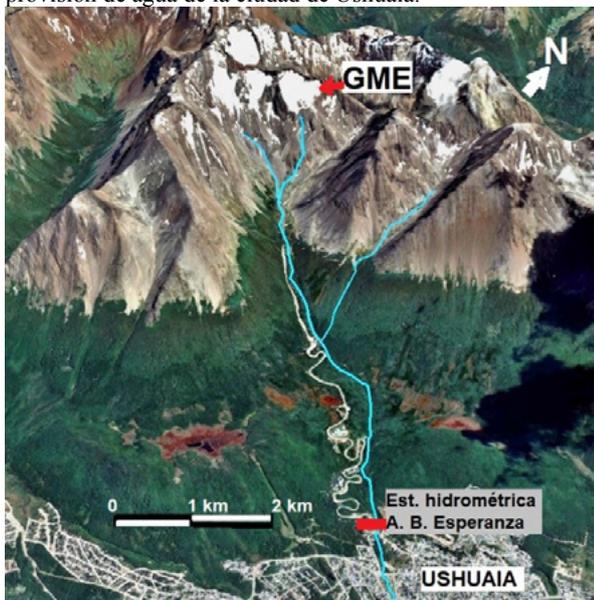


Figura 1.- Ubicación del área de estudio

El GME, tiene una superficie de 9 ha, su frente se sitúa a una altitud de 980 m.s.n.m., en tanto que su mayor elevación es de 1180 m. Es uno de los tres pequeños cuerpos principales que ocupan un mismo circo glaciar. Este conjunto es denominado glaciar Martial, el cual totaliza 24 ha.

Se ha realizado el balance de masa anual del GNE desde abril de 2000. Las tareas de campo incluyeron balizamiento (11 sitios), topografía, mediciones de acumulación y densidad de nieve, con una frecuencia de seis a siete veces al año, principalmente en primavera-verano. En cada baliza se determinó la acumulación de nieve invernal y la ablación estival, resultando el balance anual para cada baliza. Estos datos puntuales se integraron según metodología recomendada por el World Glacier Monitoring Service (WGMS) mediante áreas entre isótopos de balance y contrastando el resultado mediante el cálculo hipsométrico del balance. El inicio del año hidrológico es en abril. La información de balance de masa se remite anualmente a la base de datos del WGMS, Suiza.

La planialtimetría glaciar y el posicionamiento de las balizas se realizó con GPS diferencial o por restitución planialtimétrica de fotografías adquiridas con dron y usando puntos de control.

El aporte anual del GME al escurrimiento se calculó como el volumen resultante del producto de la lámina del déficit anual de balance en mm a.e. multiplicado por el área de glaciar. A los efectos de estimar el aporte total de los cuerpos del glaciar Martial se determinó el volumen anual específico en m^3ha^{-1} del GME. El volumen de aporte glaciar se relacionó con el de la descarga del Arroyo Buena Esperanza, obtenido de la serie de datos de la estación hidrométrica de la Dirección de Recursos Hídricos. Dicha estación está situada en cota 120 m, aguas arriba de la toma de la Planta Potabilizadora.

Resultados

En el período 2000-2022 el GME perdió 6230 mm a.e., a una tasa de 271 $mm a^{-1}$. Sin embargo, el glaciar evidenció contrastes temporales en su comportamiento. Se advierte en las Figuras 2 y 3, un período anómalo en el que la tendencia recesiva se interrumpió. En efecto, el glaciar se mostró estable durante 2006-2016, resultando un promedio positivo en el balance de masa de +69 $mm a^{-1}$. Posteriormente, en 2016-2022 se profundizó la tendencia deficitaria, a una tasa de -622 $mm a^{-1}$. Se observa en la Figura 2 que en el primero de los períodos mencionados se registró el mayor valor anual positivo de la serie: +930 $mm a.e.$ en 2009-2010, mientras que el año más deficitario corresponde al período reciente, con -1133 $mm a^{-1}$ en 2020-2021.

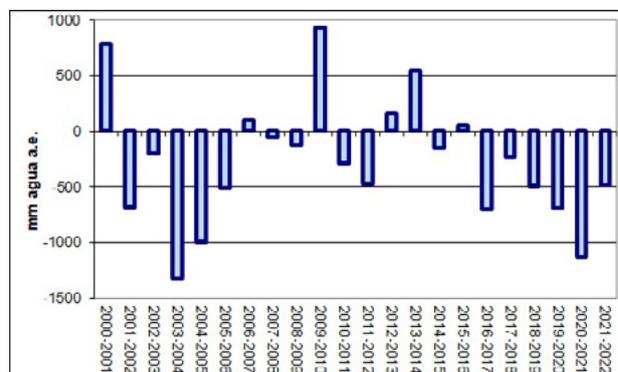


Figura 2.- Balance anual del glaciar Martial Este, 2000-2022

La Figura 3 muestra la curva acumulativa de balances anuales desde 2000, en tanto que la Tabla 1 indica las tasas de balance anual para los diferentes períodos identificados.

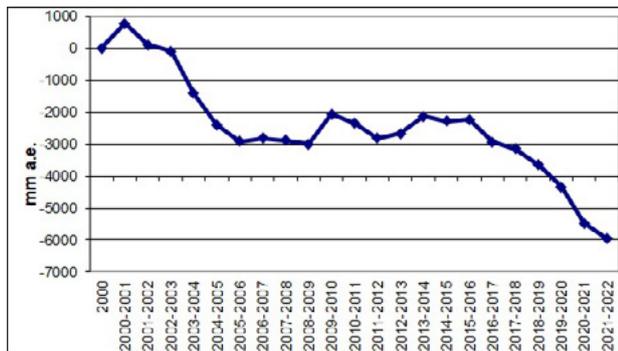


Figura 3.- Curva acumulativa de balances anuales

Tabla 1.- Resumen de balances anuales por períodos

Período	Nº de años	Balance acum. mm a.e.	Tasa anual mm a.e.a ⁻¹
2000-2006	6	-2921	-487
2006-2016	10	+693	+69
2016-2022	6	-3732	-622
2000-2022	22	-5960	-271

El aporte glaciar al Arroyo Buena Esperanza.

El balance de masa anual, si es negativo permite estimar el aporte anual al escurrimiento, considerando que regionalmente la sublimación y la evaporación en el ambiente glaciar alcanzan magnitudes despreciables ante la baja radiación solar, la elevada humedad relativa del aire y valores relativamente altos de presión atmosférica por la baja altitud de los glaciares fueguinos.

Es factible asumir que toda la pérdida de hielo se produce por ablación, generando escurrimiento. Considerando la pérdida anual media de 622 mm, correspondiente al período 2016-2022:

$$\text{Vol anual GME} = 0,622 \text{ m} \times 90.000 \text{ m}^2 = 55980 \text{ m}^3$$

Repitiendo el cálculo para 1 ha resulta el aporte específico = 6220 m³ ha⁻¹.

El volumen anual de todos los cuerpos del Martial que suman 24 ha es: 6220 m³ ha⁻¹ x 24 ha = 149.280 m³

Por otra parte el Aº Buena Esperanza, cuyo caudal medio es de 0,330 m³/s drena 10.406.880 m³ en el año, lo que significa que en términos anuales la contribución del conjunto de los cuerpos del Martial representa apenas el 1,43% del escurrimiento total.

Discusión y Conclusiones

El promedio del balance anual de la serie, de 271 mm a⁻¹ es significativamente inferior a los valores regionales y globales, que duplican dicha tasa. Ello se debió a un incremento de la precipitación y sobre todo a la ocurrencia de veranos particularmente húmedos y fríos durante el decenio 2016-2022, que generaron condiciones favorables para la estabilidad del balance glaciar. Incluso resultó saldo positivo, según lo indica la Tabla 1. Tal situación cambió a partir de 2016, desde cuando el déficit anual se incrementó significativamente.

El déficit de 6230 mm a.e. en 2000-2022 implicó una reducción media del espesor del hielo de 6,6 m, (asumiendo una densidad del hielo= 0,9 kg/dm³). Sin embargo estas pérdidas se concentran en los sectores más bajos del glaciar, en donde alcanzan a 10 m, magnitud que es importante, ya que mediciones con GPR realizadas en enero de 2009 indicaron espesores de hielo del orden de los 30 m.

La contribución glaciar al escurrimiento no es significativa a nivel anual, sin embargo el aporte por ablación de hielo glaciar no se produce uniformemente en el tiempo, sino en períodos cálidos y secos de verano, cuando por otra parte el escurrimiento se reduce por falta de agua en la cuenca. Considerando ahora que

en tales condiciones el caudal del Arroyo Buena Esperanza disminuye a 0,15 m³s⁻¹ y que la pérdida de hielo se produce luego de la desaparición de la nieve estacional en un período estimable en 60 días, se plantea el siguiente cálculo:

$$\text{Vol glaciar} / \text{Vol fluvial 60 días} = 149.280 \text{ m}^3 / 777.600 \text{ m}^3$$

La contribución glaciar representa el 19,2 % en el período.

En casos críticos, como en el verano 2020/21, en donde el déficit alcanzó 1133 mm, el volumen que aportaron los tres cuerpos de hielo ascendió a 267.120 m³, o sea el 34,4 % del volumen de la descarga fluvial en 60 días estimada en 777.600 m³.

Concluyendo, aunque el aporte de los pequeños glaciares no es significativo en términos de volúmenes anuales, pero es importante durante episodios secos de verano y adquiere especial importancia en situaciones críticas de estiaje bajo condiciones cálidas y secas, en donde el aporte glaciar puede ser realmente relevante, tal como lo indica el caso de estudio.

Referencias

- Iturraspe R.J., Iturraspe, R. (h), Hidalgo, M. y Camargo, S. (2015). "Inventario de Glaciares de Tierra del Fuego" *Anales XXV Congreso Nacional del Agua*, Paraná.
- Masiokas M.H., Rabatel A., Rivera A., Ruiz L., Pitte P., Ceballos J.L., Barcaza G., Soruco A., Bown F., Berthier E., Dussailant, I. (2020). "A review of the current state and recent changes of the Andean cryosphere." *Frontiers in Earth Science*; pp. 8-99.
- Strelin, J. and Iturraspe, R.J., (2007). "Recent evolution and mass balance of Cordón Martial glaciers, Cordillera Fueguina Oriental". *Global and Planetary Change*, 59(1-4), pp.17-26.
- Urciuolo A. and Iturraspe R. (2022). "Hydrologic systems, water uses, and emerging conflicts around freshwater availability in Patagonia". In: Mataloni G, Quiroga R (eds) *Freshwaters and Wetlands of Patagonia*, Springer, pp. 197-265.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE UNA RED PLUVIAL SEGÚN EL ENFOQUE DE SISTEMAS DE DESAGÜES SUSTENTABLES (SUDS)

Jaca Pozzi Guadalupe, Angheben Enrique

UIDET Hidrología - Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - UNLP
Calle 47 N° 200, piso 1, Oficina 6, La Plata, Buenos Aires, Argentina - Tel. 0221-427-5223
guadalupe.jaca@ing.unlp.edu.ar; enrique.angheben@ing.unlp.edu.ar

Introducción

En el estado del arte del diseño de sistemas de desagües pluviales, los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS) representan la tecnología que mejor incorpora los aspectos ambientales de la escorrentía superficial. Los SUDS son Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles cuyo objetivo es maximizar las oportunidades y beneficios que se pueden aprovechar de la gestión del agua superficial (control en origen) (CIRIA, 2015).

El presente resumen refiere al trabajo de investigación realizado en la temática del diseño de sistemas de desagües pluviales, con la implementación de SUDS como alternativa de proyecto para evaluar su funcionamiento, viabilidad y costos, respecto de las metodologías tradicionales del cálculo hidráulico.

El objetivo del estudio, llevado a cabo en la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia en Hidrología (Dto. de Hidráulica – FI – UNLP), consistió en proyectar una red de desagües pluviales aplicando el enfoque SUDS y contrastarlo con el diseño de la misma red, pero aplicando un método convencional de cálculo, a los fines de establecer las respectivas comparaciones.

Desarrollo

El estudio de caso corresponde a un barrio situado en el sudoeste de la localidad de Monte Grande, en el partido de Esteban Echeverría (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). El área pertenece a la cuenca media del arroyo Ortega (sobre su margen derecha) y comprende una superficie de 46,4 ha. Se trata de un barrio residencial en proceso de expansión, como se muestra en la Figura 1.

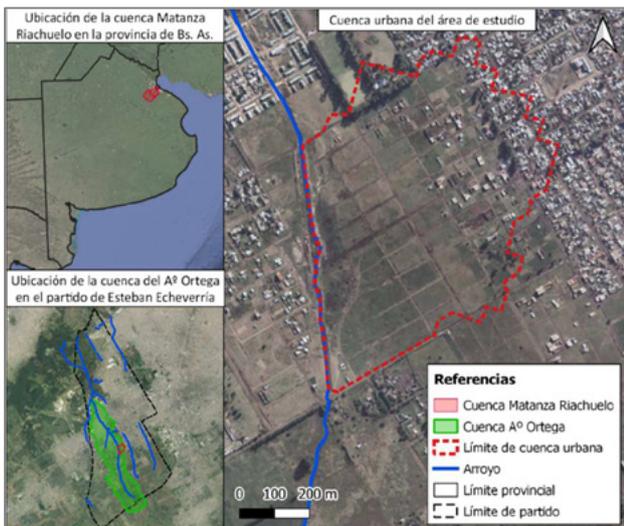


Figura 1.- Ubicación general del área de estudio.

El diseño de la alternativa tradicional de desagües pluviales se basó en la aplicación del Método Racional Clásico. Los conductos fueron diseñados para un evento de precipitación de 2 años de recurrencia y verificados para 5 años, según las prácticas habituales de diseño de desagües en la provincia de Buenos Aires.

Por otro lado, el diseño de la red de desagües sustentable se planteó a partir de una tipología particular de SUDS conocida como celdas de biorretención. Éstas consisten en excavaciones de forma rectangular de 6 m² que se rellenan con una mezcla de suelo que soporte vegetación, seguida de una capa de almacenamiento compuesta por piedra partida en cuya base se puede disponer un dren o no dependiendo que se quiera un funcionamiento en serie o en paralelo respectivamente. Presentan también una rejilla de sobrepaso en caso de que la altura máxima de agua acumulable sea excedida. Las celdas se diseñaron sobre las veredas públicas y se plantearon “trenes” de no más de cuatro celdas vinculadas entre sí, donde cada celda descarga mediante el dren sus excedentes a la celda subsiguiente para finalmente descargar en la cámara del sumidero más próximo. En la Figura 2 se muestran ejemplos de una celda situadas en veredas de distintas ciudades:



Figura 2.- Celdas de biorretención.

Se trabajó a nivel de parcela donde cada una descarga el 50 % de sus excedentes (provenientes de la fracción impermeable del lote) en la celda de biorretención ubicada en la vereda frente a la vivienda, y el porcentaje restante descarga hacia al parque o fracción permeable de la misma. En la Figura 3 se muestra un esquema de las partes componentes de una celda.



Figura 3.- Esquema de una celda de funcionamiento en serie.

Una vez planteados los diseños de la “alternativa tradicional” y de la “sustentable” de desagües, se efectuó la modelación hidrológica-hidráulica de las mismas. La modelación se realizó con el software Storm Water Management Model (SWMM) en un entorno GIS. Las variables analizadas en la modelación de ambas alternativas para distintas recurrencias y duraciones de tormentas fueron:

- La variación en el volumen de escorrentía total, de infiltración y almacenamiento.
- La variación del caudal pico, de la hora pico y del volumen de agua en la descarga.
- La posible modificación en la capacidad de las conducciones.
- La variación de la altura del agua en calle.
- La evolución en el tiempo de los parámetros típicos de las celdas, esto es, el nivel superficial de agua, la infiltración en la capa de suelo, el nivel de agua en la capa de almacenamiento y el caudal por el dren para las vinculadas en serie.

Las corridas de los modelos se efectuaron para tormentas construidas según el método de los Bloques Alternos, de 1 hora de duración y para recurrencias de 1,01 años (recurrencia de diseño de los SUDS), de 2 y 5 años.

Resultados y discusión

Respecto a los volúmenes de agua presentes en la cuenca, en la Tabla 1 se presentan los porcentajes de variación de la escorrentía, la infiltración y el almacenamiento inicial, producto de comparar la alternativa sustentable con la tradicional. Estos valores se expresan como diferencia porcentual para tormentas de recurrencia variable (“R” en años) y duración de 1 hora (“d1”).

Tabla 1.- Porcentajes de variación producto de la incorporación de SUDS a la red de drenaje

Volumen:	Diferencia [%]		
	R1,01-d1	R2-d1	R5-d1
Escorrentía	-41,96	-22,59	-18,03
Infiltración	33,90	15,19	12,42
Almacenamiento inicial	35,40	42,34	44,95

En cuanto a la capacidad ganada en los conductos producto de la presencia de las celdas, la eficiencia de los mismos aumenta considerablemente para una tormenta de cualquier recurrencia y duración una hora. El rango de variación de la capacidad ganada está comprendido entre 21 % (recurrencia de 5 años) y 68 % (recurrencia de 2 años).

Con respecto al comportamiento de las celdas de biorretención:

- Las celdas funcionan adecuadamente, es decir que no presentan desbordes y se vacían en menos de 24 horas, para la recurrencia y duración de diseño (R1,01-d1).
- Se analizaron los tiempos característicos, es decir; tiempo de vaciado, de desborde de agua y de permanencia de la misma sobre la superficie de las celdas. Analizando una serie de celdas “tipo” vinculadas entre sí, la primera de ellas presenta tiempos característicos similares para recurrencias mayores a 1,01 años, cualquiera sea la duración. Es decir, la primera celda de una serie tiene, por ejemplo, tiempos de vaciado similares ya sea que se trate de una recurrencia de 2 o de 5 años. Esto también sucede con las celdas en paralelo, excepto que los tiempos son del orden del triple, es decir, la desventaja de no contar con un dren reside en que a la celda en paralelo le lleva más tiempo vaciarse que a la primera celda de una serie.

Por último, los costos asociados implican para la alternativa sustentable un 47 % más que para la tradicional, considerando costos de materiales, mano de obra y equipos.

Conclusiones

En primer lugar, se puede sostener que la gestión de los desagües

pluviales requiere de un cambio de paradigma, en el cual la escorrentía pluvial deje ser considerada como un “desecho” para pasar a ser un recurso. En este sentido, los SUDS contemplan este enfoque, donde a través de diversas tipologías y su interconexión, se intenta imitar los fenómenos hidrológicos de la cuenca en su estado previo o natural, o bien, favorecerlos. Así, la precipitación que cae “en origen” no se evacuaría rápidamente, sino que se promueve su infiltración, detención, almacenamiento, entre otros.

La incorporación de las “Celdas de Biorretención” propuestas en el presente Trabajo como SUDS tienen un gran impacto en la reducción de la escorrentía directa respecto de la alternativa tradicional (cálculo mediante Método Racional Clásico), cuando se trata de la tormenta de diseño de 1,01 años de recurrencia y 1 hora de duración, alcanzando un valor del 42 %. Se trata de una precipitación de recurrencia baja respecto a las que suelen emplearse en el diseño de desagües pluviales, pero muy frecuente, ya que representa una probabilidad de ocurrencia del 99 %. La reducción de escorrentía resulta significativa para el evento de 2 años de recurrencia y 1 hora de duración, siendo ésta del orden del 20 %. Dicha incorporación de las celdas a la red pluvial permite además aliviar la capacidad de los conductos pluviales para las recurrencias típicas de 2 y 5 años, así como reducir la altura del agua en las calles.

De la estimación de costos, se concluye que, considerando materiales de construcción y mano de obra, la alternativa con SUDS propuesta en este Trabajo posee un costo aproximadamente 50 % mayor que un proyecto de desagües pluviales tradicional. Esto se debe a que estas tipologías están concebidas como estructuras que funcionan en conjunto y colaboran con la red pluvial proyectada o existente. Este incremento pone de alguna forma de manifiesto el sobre costo que involucra optar por soluciones sustentables y de preservación del ambiente. Esto de ninguna manera debería entenderse como una desventaja o desacreditación de la metodología, sino por el contrario poner en valor esa diferencia para generar conocimiento local respecto de su implementación.

Por último, existe el desafío de concientizar a la comunidad sobre la importancia de estas alternativas sustentables en la gestión de los desagües pluviales urbanos; la falta de conocimiento por parte de los ciudadanos, pero sobre todo de los tomadores de decisión, puede resultar un obstáculo en la implementación de los SUDS y su sostenimiento en el largo plazo. En ese sentido, resulta fundamental involucrar mediante procesos participativos a los actores sociales desde las primeras fases del proyecto de los SUDS, entendidos no sólo como usuarios o beneficiarios sino como los futuros responsables del mantenimiento de las tipologías, sobre todo las involucradas dentro o en las proximidades de sus lotes. Desde la planificación urbana se pueden promover estos procesos de participación social que generen en los destinatarios un sentido de pertenencia con el territorio que habitan, de apropiación del entorno urbano y, por lo tanto, de su relación con el agua.

Referencias Bibliográficas

- Angheben, E. et al. (2018-2019-2020). “Programa de Desarrollo de Acciones para la Reducción del Riesgo de Inundaciones en el partido de Esteban Echeverría. Programa DAPRRI Esteban Echeverría (Provincia de Buenos Aires)”. ETAPAS 1, 2 y 3 - Informe Final. UIDET Hidrología. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería. UNLP.
- Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011). “Manual para el Diseño de Planes Maestros”. Buenos Aires, Argentina.
- Woods Ballard, B. et al. (2015). *The SuDS Manual*. 5ta Ed., CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), Londres, Reino Unido.

OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO PAMPEANO, CIUDAD DE AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Jaume, Rodrigo E.¹ y Silva Busso, Adrián¹

¹Instituto Nacional del Agua. (SSH), Ezeiza, Buenos Aires Argentina.
E-mail: silvabusso@yahoo.com.ar, rodrigojaume7@gmail.com.

Introducción

Este trabajo se centró en el estudio del acuífero comprendido en los Sedimentos Pampeanos en la región que abarca la ciudad de Azul y sus alrededores a unos 300 kilómetros de la CABA en un paisaje ondulado transición entre la Sierra de Tandilia y la llanura bonaerense. En base a sus características hidrogeológicas los Acuíferos de los sedimentos pampeanos se lo considera un acuífero multicapa y poseen una gran extensión detectables en gran parte de la provincia de Buenos Aires, y sectores de La Pampa, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba y San Luis. Desde mediados del siglo pasado con el crecimiento poblacional y la expansión urbana, comenzó a explotarse las aguas subterráneas. La captación de agua subterránea con el objetivo de abastecimiento de una ciudad es un proceso complejo que debe considerar numerosos factores. El primer desafío involucra las dimensiones de la red de abastecimiento, lo cual definirá en primer lugar el número de pozos necesarios, y en segundo lugar el tipo de red de abastecimiento que se realizará. Por ejemplo, si se realizarán reservorios a partir de los cuales el recurso será distribuido o si realizará la inyección directa a una red de abastecimiento. En el segundo caso, se deberá definir, dependiendo de la extensión de la red, si será necesario implementar estaciones de bombeo e impulsión para asegurar la correcta presión de la red en toda su extensión. Además, es importante tener en cuenta la vida útil de cada componente de la red y de la captación, y por supuesto evaluar la velocidad y dirección del crecimiento de la mancha urbana, a fin de asegurar el correcto abastecimiento del recurso a las futuras poblaciones.

Metodología

La importancia directa del agua como recurso necesario para el desarrollo productivo de esta zona, plantea la necesidad de profundizar el conocimiento entorno al agua subterránea. Esto implica entender el contexto geológico e hidrogeológico del área, caracterizar los acuíferos presentes, evaluar la química de la región, y desarrollar un plan estratégico de gestión del agua que permita brindar a la población actual y a las futuras un recurso óptimo y confiable. El INA fue convocado con el fin de llevar a cabo un estudio que permitiera optimizar la explotación del recurso. Esto condujo a la realización de estudios de campo y ensayos para la obtención de datos, que permitieran comprender el marco geológico e hidrogeológico y elaborar la propuesta de optimización. Los estudios de campo incluyeron la realización de ensayos de bombeo, la realización de un censo de pozos y la toma de muestras de agua para su análisis químico. Se incluyó el uso de muestras litológicas de cuatro pozos realizados en la ciudad se realizó un análisis petrográfico detallado con el objetivo de definir los niveles de interés acuífero. Esta información permite un análisis más detallado del área a explotar para definir el diseño de captación óptimo para ese sitio. Aquí es donde cobra vital importancia la comprensión del marco geológico e hidrogeológico de la región.

Geología

El basamento hidrogeológico de la región está representado por la Formación Buenos Aires de edad precámbrica. Esta formación aflora en el Sistema de Tandilia, al sudoeste de la zona de estudio, y luego se profundiza hacia el noreste

alcanzando en la zona de Azul los 120 metros de profundidad en promedio. Esta característica estructural de la región produce la variación del espesor sedimentario de la cuenca al mismo tiempo que condiciona el flujo de agua subterránea, la cual se desplaza desde el sudoeste al noreste. Por encima, se ubican las limolitas arcillosas y arcillo-arenosas de la Formación Barker (Rabassa, 1973), de coloraciones castaño rojizas y con contenidos de entre 15% y 25% de arena fina, lo que le imprime un moderado potencial como unidad acuífera. Sobreyace una gran secuencia sedimentaria con predominancia loésica y con alternancia de limos, arenas y algunos niveles carbonáticos (entre los 20 y los 100 metros). Desde el punto de vista estratigráfico se la denominada regionalmente y en forma informal como Sedimentos Pampeanos adaptando diferentes términos formacionales, pero tomado aquí en el criterio de González Bonorino (1956). Como característica destacable, presenta la intercalación de niveles sabulíticos a diferentes profundidades del perfil, asociados a flujos hiperconcentrados, y que les imprimen a esos niveles mejores capacidades acuíferas. En base a los diversos estudios realizados en esta área (Sala et al, 1987; González, N., 2005 y Silva Busso y Amato, 2010), se establece que para el acuífero Pampeano la recarga se produce en el sistema de Tandilia y transita en dirección noreste hacia el Río Salado. Finalmente, en la porción más superficial del subsuelo se encuentran los Sedimentos Postpampeanos, de edad Holocena y originados por el retrabajo de los sedimentos pampeanos subyacentes. Se caracterizan por presentar abundante limo, pero una presencia más marcada de niveles arenosos producto de la presencia de ambientes fluviales y lacustres.

Resultados

Mediante la realización de censo de pozos se logró determinar que la ciudad de Azul presenta niveles piezométricos que varían entre los 128 y 136 msnm. Como se puede apreciar en el mapa piezométrico (Figura 1), la piezometría acompaña la tendencia regional de la topografía decreciendo de SO a NE. Esto nos da el indicio de que el acuífero se comporta como un acuífero libre.

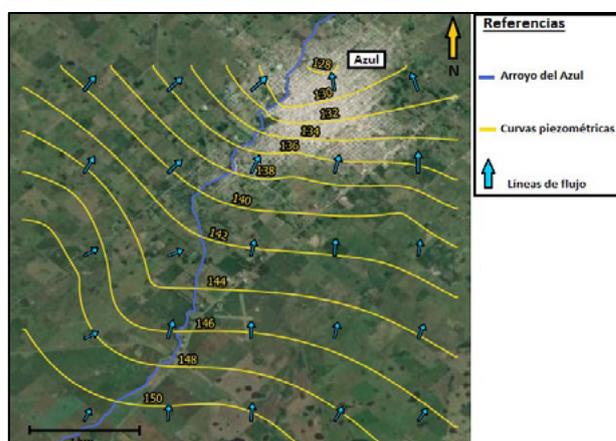


Figura 1.- Piezometría del Acuífero Pampeano, periferia de Azul

El diseño de las captaciones realizadas fue hecha acorde a la caracterización litológica realizada, definiendo la profundidad

final de la captación y la ubicación exacta de cada tramo filtrante. Debido a la cercanía del entorno urbano los niveles más someros podrían estar afectados por la contaminación antrópica, mientras que niveles muy profundos pueden presentar valores de salinidad muy elevados. Estos factores determinaron que la captación fuera diseñada de la forma correcta evitando estos aspectos. Terminada la obra, con la ejecución de los ensayos de bombeo, se lograron obtener valores de transmisividad promedio de 252 m²/d, lo que nos determina que estamos en presencia de un acuífero de calidad media, capaz de entregar entre 10 y 50 lts/s con depresiones de 10 metros. A partir de la realización de los ensayos de recuperación se calcularon las eficiencias de las captaciones de la red de la ciudad que variaron entre un 60% y un 88 %, con las consiguientes pérdidas de carga obtenidas en un rango de entre 12% y 40%.

En cuanto a la calidad química del agua se realizaron diferentes análisis químicos que determinaron que el agua de la región se clasifica como bicarbonatada sódica, lo que indica que se trata de aguas jóvenes ubicadas en cercanías de la zona de recarga. Se produce un incremento de la conductividad del agua subterránea de sur a norte, lo que es esperable debido a que es la dirección de flujo de la misma es en esa dirección. Luego del análisis de elementos mayoritarios se detectó un claro proceso de intercambio iónico con la disminución de Ca y Mg en la región occidental del área de estudio, al oeste del Arroyo del Azul.

Las aguas subterráneas se clasifican como bicarbonatadas sódicas. La salinidad la hace apta para consumo humano, pero fue detectada la presencia de nitratos al norte y este de la ciudad, los cuales se encontrarían ligados a la actividad antrópica (Jaume, 2023). Utilizando como referencia el Código Alimentario Argentino (Artículo 982), se procedió a un análisis detallado de los elementos que se encontraban por encima de lo establecido por la norma para agua de consumo. En primer lugar, se hallaron valores elevados de fluoruros y arsénico en la región occidental, al oeste del arroyo. Ambos elementos se encuentran relacionados al material loésico característico de los sedimentos pampeanos y su origen proviene de la desintegración del vidrio volcánico allí presente. Estos últimos serían de origen natural relacionado a la meteorización y degradación del loess pampeano (Nicolli et al., 1985). Por otro lado, se detectó una concentración elevada de nitratos en el sector norte y este de la ciudad. Esta anomalía estaría relacionada a ausencia o deficiencias del sistema de los sistemas cloacales o sépticos.

Propuesta de Optimización

Con el objetivo de brindar mejoras al uso y manejo del agua subterránea en la zona estudiada, se han propuesto algunas alternativas para optimizar el uso del recurso. Se ha considerado como medida posible la implementación de reservorios que permitan almacenar grandes volúmenes de agua para subsanar el déficit hídrico durante el periodo estival. De igual manera, la construcción de reservorios permitiría un mayor control de la calidad del agua, permitiendo inclusive realizar mezcla de aguas para poder amortizar la presencia de especies químicas indeseadas que son incorporadas por algunas de las captaciones. Para la realización de nuevas captaciones, se han definidos tres sectores, clasificados de acuerdo a la calidad química del agua subterránea en esa región. El sector ubicado al sur de la ciudad y al este del Arroyo del Azul resulta ser el más apropiado para la captación de agua con calidades óptimas para el consumo humano. Por último, se recomienda la implementación de un monitoreo más intensivo de los niveles acuíferos con el fin de detectar oportunamente las variaciones químicas en los diferentes sectores de la ciudad.

Referencias Bibliográficas

- González Bonorino, F.; Zardini, R.A.; Figueroa, M. y Limousin, T.** 1956. Estudio Geológico de las Sierras de Olavaria y Azul. Provincia de Buenos Aires. Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigaciones Tecnológicas. Ministerio de Obras Públicas, Serie 2, N° 63, pp. 5-23.
- González, N.,** 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (Eds.): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, XXII: 359-374. La Plata.
- Jaume R. E.** 2023. "Estudio de optimización de la explotación del acuífero pampeano en la ciudad de Azul, Provincia de Buenos Aires". Trabajo Final de Licenciatura, FCEN, UBA (Inédito). 119p.
- Nicolli, H. B., T. O'Connor, J. Suruno, M. L. Koukharsky, M.A. Gomez Peral, L. M. Bertini, I. M. Cohen, L. I. Corradi, O. A. Baleani, E.G Abril,** (1985). "Geoquímica del Arsénico y otros Oligoelementos en Aguas Subterráneas de la Llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba". Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea 71, Córdoba, Argentina.
- Rabassa, J.,** 1973. Geología Superficial en la hoja "Sierras de Tandil", provincia de Buenos Aires. LEMIT, La Plata. Anales, Serie II 240: 115-160.
- Sala, J.M.; Kruse, E. y Aguglino, R.** 1987. Investigación hidrogeológica de la Cuenca del Arroyo Azul, Provincia de Buenos Aires. CIC de la Provincia de Buenos Aires, Informe 37, 235 pp.
- Silva Busso, A. A. y Amato, S. D.,** 2012. Aspectos hidrogeológicos de la región periserrana de Tandilia (Buenos Aires, Argentina). Boletín Geológico y Minero, 123 (1): 27-40.

PRONÓSTICO EN TIEMPO REAL DE INUNDACIONES REPENTINAS EN LA CUENCA SARANDÍ-SANTO DOMINGO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Marina Lagos, Leandro D. Kazimierski y Mariano Re

Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
E-mail de los autores: mlagos@ina.gov.ar, lkazimierski@ina.gov.ar y m.re@ina.gov.ar

Introducción

PREVENIR (Pronóstico y Alerta de Eventos de Inundaciones Repentinas) es un proyecto donde el objetivo principal es desarrollar un sistema de alerta temprana ante el impacto de inundaciones urbanas en cuencas altamente vulnerables. En este marco, la realización de un sistema automático para la simulación de crecidas en tiempo real se utiliza para determinar los niveles de inundación y tiempos de permanencia de niveles elevados de agua en arroyos y calles ante la ocurrencia de eventos de precipitación intensos o voluminosos. El sitio de estudio es la cuenca Sarandí-Santo Domingo (SSD) en el sur de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) con una población de más de 1.5 millones de habitantes en un área de 240 km².

Modelo hidrológico-hidráulico

Se implementó un modelo hidráulico-hidrológico de alta resolución utilizando una versión levemente modificada del software EPA-SWMM v5.11 (Re et al., 2019; Re et al., 2022). Para representar el sistema dual de drenaje se sigue un enfoque 1D/1D, modelando la capa superficial compuesta por la red de calles y la capa subsuperficial dada por la red de canales y el sistema de conductos pluviales.

Datos

Los datos principales para la previsión de inundaciones mediante modelación numérica son: precipitaciones ocurridas, precipitaciones pronosticadas y niveles de agua observados.

Precipitaciones observadas

Se utilizan las precipitaciones registradas en la base de datos del Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SIyAH) del INA con paso temporal nativo. En la mayoría de las estaciones este tiempo está seteado en valores entre 5 minutos y 15 minutos. Las series de precipitaciones tienen distinto origen, principalmente de fuentes oficiales, pero no homologadas. La mayor fuente de información es la red de estaciones automáticas de ACUMAR que cuenta actualmente con 13 estaciones en la RMBA. También se utilizan otras fuentes como la red de estaciones automáticas de SINARAME (Sistema Nacional de Radares Meteorológicos) perteneciente a la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica y una estación perteneciente al Municipio de Florencio Varela (Figura 1).

Precipitaciones pronosticadas

Los pronósticos de precipitación se obtienen del modelo WRF operado por el SMN. El WRF es un modelo de mesoescala de última generación compresible, no hidrostático que permite un paso de tiempo de integración variable para resolver la microfísica de forma explícita. El dominio abarca todo el territorio continental de Argentina con una resolución horizontal de 4 km (Figura 2) y 45 niveles verticales (tope 10 hPa). Se ejecutan 4 inicializaciones al día a las 00, 06, 12 y 18 UTC y las salidas que se obtienen son horarias y cada 10 minutos hasta un plazo de 72 horas. Las condiciones iniciales y de borde provienen de los análisis y pronósticos del Global Forecasting System (GFS) producido por el National Center of Environmental Prediction

(Matsudo et al., 2022).

El SMN disponibiliza de forma abierta los resultados del WRF mediante la plataforma Amazon Web Service (AWS) Las realizaciones disponibles por medio de AWS son a las 00z y 12z de las corridas determinísticas. Por el momento no se utilizan los ensambles para los escenarios de previsión.



Figura 1.- Ubicación de la cuenca en la RMBA y de las estaciones pluviométricas.

Niveles de agua observados

La cuenca SSD cuenta actualmente con cuatro sensores hidrométricos (2 del INA y 2 del Municipio de Quilmes) que registran el nivel de agua cada 15 minutos: dos de ellos en el arroyo San Francisco y dos en el arroyo Las Piedras (Figura 2). Los cuatro sensores son de tecnología de ultrasonido y fueron instalados entre 2018 y 2021.

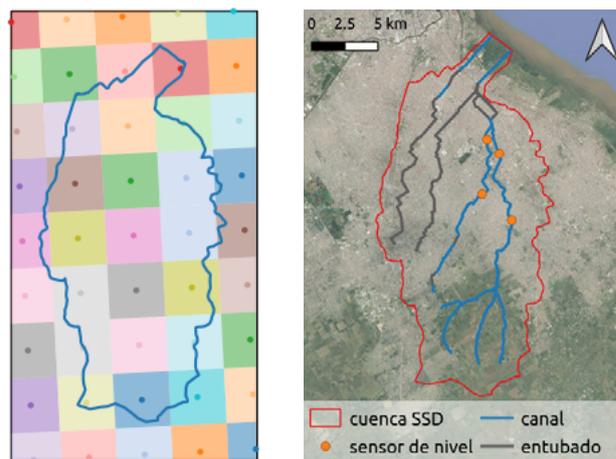


Figura 2.- Resolución horizontal del modelo WRF (izq.) y ubicación de sensores de nivel (der.).

Esquema de modelación

Se realizan de manera automática tres tipos de simulaciones con el modelo hidrológico-hidráulico de la cuenca:

- Simulación del estado actual con la precipitación observada en la última hora.

- Previsión a 6 horas con las precipitaciones previstas por el modelo determinístico WRF del SMN realizado cada hora.
- Previsión a 72 horas con las precipitaciones previstas por el modelo determinístico WRF del SMN realizado cada 12 horas.

La simulación continua en el tiempo se logra utilizando como condiciones iniciales, las variables hidrológicas e hidráulicas del último paso de cálculo de la simulación anterior.

En los tres casos listados, las simulaciones se inician con el *hotstart* generado a partir de la simulación obtenida con los datos de precipitación observada. Esto resulta en que los niveles de agua en calles, arroyos y conductos, capacidad de infiltración, agua almacenada, y todas las variables intervinientes en el proceso hidrológico-hidráulico tienen una continuidad temporal.

La condición del *hotstart* puede diferir sustancialmente de la situación observada en los sensores de monitoreo de niveles dependiendo de la información pluviométrica disponible y de las características propias de la precipitación como ser la variabilidad espacio-temporal. Al momento no se cuenta con un sistema de asimilación de datos para la corrección de la situación inicial, tarea a realizarse en el marco del proyecto PREVENIR.

Las simulaciones utilizando la precipitación observada se realizan con una hora de demora. Por ejemplo, a las 16:00 se realiza la corrida con las precipitaciones ocurridas entre las 14:00 y las 15:00. Esta demora se debe a que puede haber un retraso en la carga de las precipitaciones y estando el sistema aún en fase de pruebas resulta preferible contar con mayor cantidad de información y no tener un pronóstico en tiempo real. La duración de la simulación de cada hora varía dependiendo del volumen de precipitación, tardando en general en el orden de 2 minutos, y llegando a superar los 10 minutos en casos de precipitación intensa.

Las simulaciones a 6 horas con el pronóstico del WRF determinístico se realizan todas las horas con la última salida del modelo meteorológico disponible y utilizan como *hotstart* la última simulación disponible con las precipitaciones observadas.

Las simulaciones a 72 horas con el pronóstico del WRF determinístico se realizan cada 12 horas aproximadamente una vez que finaliza la descarga desde AWS. Para la condición inicial utiliza como *hotstart* la situación meteorológica de las 00z o las 12z según corresponda. En este caso el tiempo de cómputo es en promedio de 2 horas, pudiendo superar las 4 horas dependiendo del forzante.

Resultados

Se creó una plataforma de visualización de resultados para el seguimiento de niveles observados y pronosticados, utilizando Python y la librería "dash". En este tablero (Figura 3) se pueden visualizar en un panel superior las series de niveles observados en los cuatro sensores en línea llena junto con los niveles simulados con las precipitaciones observadas con puntos. El panel inferior presenta para cada sensor: los niveles observados con línea oscura, los niveles simulados con la precipitación observada con puntos, y los niveles simulados de las previsiones a 72 horas de las últimas 6 realizaciones en color más claro.

Conclusiones

Este trabajo muestra los primeros avances hacia el desarrollo de un sistema de pronóstico hidrológico, evidenciando la importancia de fortalecer la interinstitucionalidad y los beneficios de los datos abiertos y online.

El modelo hidráulico-hidrológico permite no solo pronosticar los niveles en los arroyos, sino también la situación en las calles y el sistema pluvial en toda la cuenca, brindando información de utilidad para los servicios asociados a la protección civil para la mitigación de impactos por inundaciones.

En el marco del proyecto PREVENIR se espera mejorar la capacidad predictiva mediante la asimilación de datos en tiempo real, escalar este sistema para su funcionamiento operativo de forma permanente utilizando ensamblados y un servidor dedicado, y adecuar y disponibilizar sus productos tanto para los servicios vinculados a la protección civil como para la ciudadanía en general.

Referencias

Matsudo, C., García Skabar, Y., Righetti, S., Cutraro, F., Sacco, M., Dillon, M. E., Alvarez Imaz, M., Maldonado, P., Salles, A. (2022). "Sistema de pronóstico numérico del Servicio Meteorológico Nacional". CONGREGMET 2022, Buenos Aires, Argentina.

Re M., Kazimierski L.D., Badano N.D. (2019). "High-resolution urban flood model for risk mitigation validated with records collected by the affected community". *J Flood Risk Management*. 2019;12 (Suppl. 2):e12524. DOI: 10.1111/jfr3.12524

Re M., Kazimierski L.D., García, P.E., Ortiz, N.E., Lagos, M. (2022). "Assessment of crowdsourced social media data and numerical modelling as complementary tools for urban flood mitigation", *Hydrological Sciences Journal*, DOI: 10.1080/02626667.2022.2075266

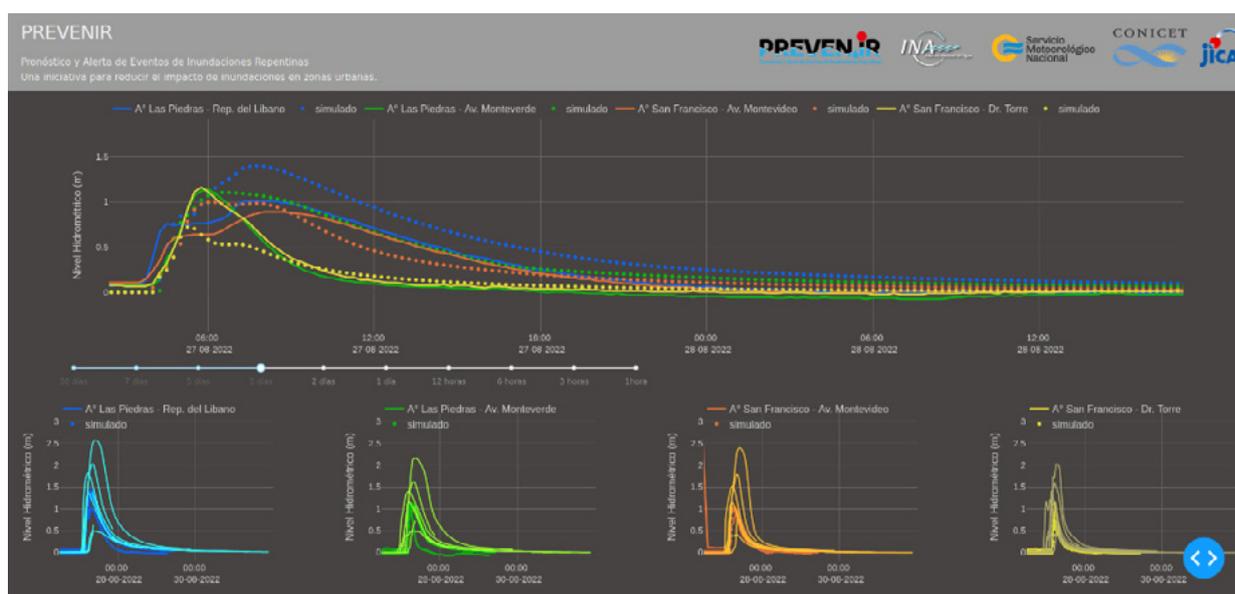


Figura 3.- Tablero durante el evento del 27 de agosto de 2022.

APLICACIÓN DE MODELOS NO ESTACIONARIOS PARA EL ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE CRECIDAS DE LA REGIÓN DE CUYO, ARGENTINA

Carolina Lauro¹, Alberto I.J. Vich^{1,2}, Juan A. Rivera¹, Stella M. Moreiras^{1,3} y Emilce Vaccarino¹

¹IANIGLA, CCT-Mendoza, CONICET, Av. Ruiz Leal s/n, Mendoza-Argentina

²Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

clauro@mendoza-conicet.gob.ar

Introducción

Los eventos de crecidas resultan más frecuentes e intensos producto de los cambios en el clima. El análisis de eventos extremos se realiza por medio de aproximaciones hidrológico-probabilistas que permiten predecir el comportamiento futuro de éstos en un sitio particular. Al no garantizarse que el comportamiento de los procesos hidrológicos cumplan con la hipótesis de estacionariedad (Lauro et al., 2019), es necesario utilizar modelos estadísticos no estacionarios capaces de reproducir la variación temporal de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad. Este trabajo, pretende modelar series de caudales máximos anuales en un contexto no estacionario para siete ríos de la región, empleando Modelos Aditivos Generalizados en Localización, Escala y Forma (en inglés, GAMLSS) que permiten modelar la variabilidad y la asimetría de la distribución de probabilidad de la variable respuesta mediante la inclusión de co-variables para la estimación de los parámetros (Rigby y Stasinopoulos, 2005).

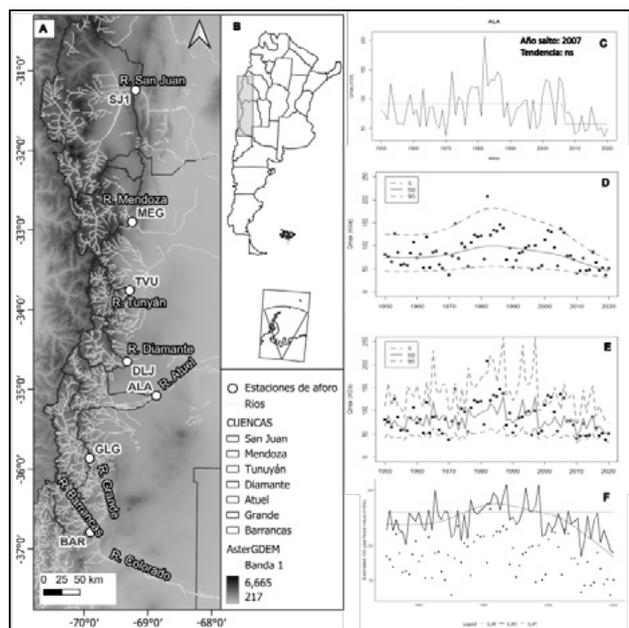


Figura 1.- A y B: Localización regional del área de estudio y puntos de aforo empleados. **C:** Serie temporal de Qmax para el río Atuel. **D y E:** Gráficos de percentiles 5,50 y 95 estimados a partir de los modelos de co-variables temporal e índices climáticos respectivamente en el sitio ALA. **F:** estimación del Qmax para TR 100 años con el modelo estacionario y los no estacionarios del sitio ALA.

Materiales y Métodos

A partir de datos diarios de caudal de los ríos San Juan (SJ1), Mendoza (MEG), Tunuyán (TVU), Diamante (DLJ), Atuel (ALA), Grande (GLG), Barrancas (BAR; Figura 1A), se elaboraron series de caudal máximo anual para el período disponible de registros de datos (Tabla 1).

Primero se evaluó la presencia de tendencia y saltos abruptos

mediante diversos tests no paramétricos, se consideró un nivel de confianza del 95%.

Luego, se modeló la variable respuesta (caudal máximo anual) de cada sitio, considerando como co-variables el tiempo y 14 índices climáticos: doce de ellos corresponden a anomalías de la temperatura superficial del mar (aTSM) en las regiones Niño1.2, Niño3, Niño3.4 y Niño4 (anuales y estacionales: JAS y EFM) y dos índices anuales, el Índice de Oscilación Decenal del Pacífico (PDO, en inglés) y el Índice Interdecenal del Pacífico (TPI, en inglés).

Se seleccionaron cinco funciones de distribución de dos parámetros comúnmente utilizadas en el análisis de frecuencias de crecidas: Gumbel (GU), Lognormal (LNO), Weibull (WEI), Gamma (GA), Gamma inversa (IGAMMA) y Gaussiana inversa (IG).

La verificación del ajuste de los modelos se realizó mediante el análisis de la normalidad e independencia de los residuales y el coeficiente de correlación de Filliben (CF). Los distintos modelos se comparan en base a los criterios de Akaike (GAIC).

Todos los cálculos se realizaron en la plataforma R, utilizando los paquetes trend (Thorsten, 2023) y GAMLSS (Stasinopoulos et al., 2023).

Resultados

La mayoría de los ríos mostraron una tendencia decreciente y saltos negativos en los últimos 70 ó 50 años de registro. Sin embargo, en el río Mendoza se encontró un salto positivo en 1977 sin una tendencia significativa. En la figura 1C, se muestra la serie temporal del río Atuel con un salto negativo en 2007.

Los modelos de caudal máximo anual con el tiempo como co-variable muestran que todos los sitios incluyen dependencia del tiempo en el parámetro μ (θ_1), la mitad de ellos es a través de una función de suavizado no paramétrica y la otra mitad con dependencia lineal. El parámetro σ (θ_2) es independiente del tiempo en todos los sitios. Para el sitio BAR no es posible ajustar un modelo con la co-variable tiempo (Tabla 1). Estos modelos son capaces de representar la tendencia decreciente y el salto negativo al final de la década de 2000 (ej. del sitio ALA en Fig. 1D). Los modelos con dependencia suavizada representan la fluctuación durante el registro analizado. Al igual que en la estación MEG, el modelo representa bien el cambio de paso positivo en los años setenta.

Los índices climáticos más frecuentes que correlacionaron significativamente con el caudal máximo anual fueron aTSM 3 JAS, aTSM 3.4 JAS y TPI, todas las correlaciones fueron positivas, lo que sugiere que el calentamiento del océano Pacífico durante los meses JAS tendrá un efecto en los eventos de crecidas de la región. También se encontró correlación significativa con la región 1.2 (anual y JAS) y la región 3 anual. En cambio, el comportamiento de la temperatura del Océano Pacífico durante los meses EFM no tiene influencia en los caudales máximos, ya que no se encontraron correlaciones significativas.

Tabla 1.- Resumen de los modelos con co-variable tiempo, función de distribución, dependencia de parámetros y métricas de ajuste. *Cs* indica dependencia suavizada (splines cúbicos), *t* dependencia lineal, (--) sin dependencia.

Modelos co-variable tiempo					
Sitio (registro)	Distribución	μ (θ_1)	σ (θ_2)	GAIC	CF
SJ1 (1971-20)	IG	t	(--)	596.5	0.99
MEG (1956-20)	IG	Cs(t)	(--)	684.3	0.99
TVU (1950-20)	IGAMMA	t	(--)	695.4	0.99
DLJ (1971-20)	GA	Cs(t)	(--)	492.8	0.99
ALA (1950-20)	IG	Cs(t)	(--)	660.9	0.99
GLG (1971-20)	WEI	Cs(t)	(--)	608.4	0.99
BAR (1950-20)	---	---	---	---	---

En los modelos de caudal máximo anual con índices climáticos como co-variables, el parámetro θ_1 tiene dependencia lineal con el índice TPI en 4 de 7 casos. También θ_1 tiene dependencia lineal con la anomalía de los meses JAS de la TSM del Pacífico Tropical en la región 3.4 (Tabla 2). Resaltando la importancia de los fenómenos de macroescala en la ocurrencia de crecidas. La inclusión de los índices climáticos permite modelar la variabilidad interanual del caudal, como se aprecia en el gráfico de percentiles (Fig. 1 E).

Tabla 2.- Resumen de los modelos con co-variable índices climáticos: función de distribución, dependencia de parámetros y métricas de ajuste. dependencia lineal con el índice, (--) sin dependencia.

Modelos co-variable índices climáticos					
Sitio	Distribución	μ (θ_1)	σ (θ_2)	GAIC	CF
SJ1	IG	aTSM 3.4 JAS	(--)	592.0	0.994
MEG	IG	TPI	(--)	686.7	0.995
TVU	IGAMMA	TPI	(--)	688.1	0.995
DLJ	IG	TPI	Cs(TPI)	497.7	0.991
ALA	IG	TPI + aTSM 3.4 annual + aTSM 3.4 JAS	(--)	660.3	0.990
GLG	WEI	aTSM 3.4 JAS	(--)	628.3	0.993
BAR	IGAMMA	aTSM 3.4 JAS	(--)	643.4	0.985

La estimación del caudal para un periodo de retorno (TR) de 100 años mediante los modelos no estacionarios representan los cambios a largo plazo y la variabilidad interanual, además cubren la mayoría de los eventos observados. Para el caso del río Atuel (Fig. 1F) se puede observar que el caudal para 100 años de TR con el modelo con co-variable temporal sigue una tendencia negativa desde 1980, congruente con la disminución de los caudales. Al ser constante el modelo estacionario, durante la última década sobrestima el caudal respecto del modelo temporal. En tanto, el modelo con co-variable climática representa la variabilidad interanual presente en la serie,

alcanzando los valores estimados con el modelo estacionario en ciertos años. Los caudales de diseño estimados con el modelo estacionario y los modelos con co-variables tiempo e índices climáticos resultan respectivamente: 193.42 m³/s, entre 230.37-171.17 m³/s y 339.28-175.51 m³/s, lo que indica que los valores de diseño estimados con los modelos no estacionarios incluyen los valores del modelo estacionario, por lo tanto, desde una perspectiva de aplicación en ingeniería los modelos no estacionarios muestran, en este caso particular, mejores resultados.

Conclusiones

Los modelos no estacionarios obtenidos proporcionan un marco de referencia para la planificación de los recursos hídricos y el diseño de infraestructura hídrica bajo la influencia de la variabilidad climática en la región del centro-oeste de Argentina.

Referencias

- Lauro C., Vich, A., Moreiras, S.M.** (2019). "Streamflow variability and its relationship with climate indexes in western river basins of Argentina". *Hydrological Science Journal* Vol 57. No 1. DOI: 10.1080/02626667.2019.1594820.
- Rigby, R.A.A., Stasinopoulos, D.M.** (2005). "Generalized additive models for location, scale and shape". *J. R. Stat.* 54, Part3, 507-554. doi:10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x.
- Stasinopoulos, M., Rigby, B., Voudouris V., Akantziliotou, C., Enea, M., Kiöse, D.** (2023). Generalized Additive Models for Location Scale and Shape. <https://cran.r-project.org/web/packages/gamlss/gamlss.pdf>.
- Thorsten, P.** (2023). "trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection" <https://CRAN.R-project.org/package=trend>.

MANEJO DEL RIEGO PRESURIZADO EN AJO MORADO INTA

Víctor M. Lipinski¹, Débora Lavanderos², María Giuliana Estrella², Daniela Cónsoli¹, Matías Venier¹, Agostina Micheletti¹, Analía Valdes¹, Ana Paz Vignoni¹, Andrés Martínez¹, Gustavo Aliquó¹⁻²

¹Cátedra Química Agrícola - FCA-UNCuyo, ²INTA EEA La Consulta, Argentina
vlipinski@fca.uncu.edu.ar - (0261)-4135010 int. 61225

Introducción

La agricultura de zonas áridas se encuentra amenazada por el cambio climático y por la mayor demanda de agua por parte de la población. Por lo tanto, es primordial realizar estudios para eficientizar el uso del agua de riego. Para estimar la demanda del cultivo es necesario utilizar datos climáticos obtenidos por medio de una estación meteorológica completa, que permite calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), o en su defecto un tanque de evaporación tipo "A", que permite obtener la evaporación de bandeja (EB). Este valor debe ser afectado por el coeficiente de bandeja (kp) para obtener la ET_c. Además para ajustar la lámina de reposición es necesario conocer el coeficiente de cultivo (kc) que es la fracción de agua usada por un cultivo determinado con respecto a la ET_o permitiendo de este modo eficientizar el riego ajustándolo a la necesidad del cultivo (FAO, 2006) al calcular la evapotranspiración de cultivo (ET_c) como el producto de ET_o y el kc. Existe poca información a nivel mundial sobre los requerimientos hídricos del cultivo de ajo. A nivel local se ha trabajado con ajos de los Grupos ecofisiológicos IIB y IV (Burba, 2013) en los cuales se obtuvieron los kc de estos tipos (Lipinski y Gaviola, 2009 y 2011). Sin embargo, con la introducción de ajos del Grupo IIIa (blancos tempranos de origen chino) *Allium sativum. peginense*, se desconoce los kc para estos clones de ajos, como el caso del Morado INTA. El objetivo de este ensayo fue establecer los kc del clon Morado INTA en las condiciones climáticas del Departamento San Carlos, Mendoza, Argentina.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta (EEA) perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El suelo es un Torrifluvente típico franco arenoso profundo. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron R1: 0,7 de la ET_c, R2= ET_c y R3= 1,3 ET_c. Los kc empleados se ajustaron durante el desarrollo del cultivo con el monitoreo de la humedad del suelo con dos sensores Watermark colocados a dos profundidades 20 y 40 cm en el tratamiento R2 y uno solo a 20 cm en los tratamientos R1 y R3. Las parcelas constaban de tres camas (2,40 m de ancho) con dos hileras de plantas sobre el camellón distanciadas aproximadamente 40 cm. En el medio se colocó una manguera de goteo con orificios a 30 cm y un caudal nominal de 900 mL/h por gotero (lámina aplicada 3,5 mm/h). El largo de las parcelas fue de 4 m. Cada bloque fue separado por un pasillo de 2 m de ancho. Cada tratamiento se conectó con mangueras ciegas de tal manera que con una sola llave se regaba el tratamiento correspondiente. Para el control de los volúmenes de agua aplicados se colocaron caudalímetros en cada uno de los tratamientos. Todos los días se registró el valor de las lecturas de los Watermark. La plantación se realizó el 8 de marzo colocando 12 dientes por metro o sea una densidad de 300.000 pl/ha. Una vez por semana se determinó emergencia de los ajos los primeros 60 días. Para completar las necesidades nutricionales de la planta se realizaron fertilizaciones con N a razón de 150 kg/ha, aplicando un 30 % entre emergencia y el mes de agosto y el resto entre agosto y mediados de setiembre.

La cosecha se realizó el 10/11/22. Las medias de los rendimientos frescos, secos y limpios fueron analizadas a través del análisis de la varianza usando como comparación el test de Tukey a un nivel de probabilidad del 5%. También se realizó el análisis de regresión del rendimiento fresco y seco.

Resultados y discusión

El análisis inicial de suelos (capa de 0-30 cm de profundidad) se pueden ver en la **Tabla 1** en la cual se puede observar que los valores de nitrógeno total (Nt) método Kjeldahl y de fósforo disponible (Pd: método de extracción con CO₂ 1:10) son medios, y que los de potasio intercambiable en acetato de amonio pH7 (Kint) son muy altos. La conductividad eléctrica (CE) es adecuada para el cultivo, la relación de absorción de sodio (RAS) es baja, acorde con los suelos de la zona y las aguas duras utilizadas. El porcentaje de la materia orgánica (MO) es baja propia de los suelos áridos y la relación carbono/nitrógeno (C/N) es baja.

Tabla 1. Análisis de suelo, pH, CE, Ca+Mg, K y Na en la solución del suelo, RAS, Nt, Pd, Kint.

pH	CE	Ca + Mg	K	Na	Σ
pasta	dS m ⁻¹	me L ⁻¹	me L ⁻¹	Cationes	
7,73	2,35	21,12	1,69	11,65	34,46
RAS	Nt	Pd	Kint	MO	C/N
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	
3,59	725	4,7	487	0,90	7,21

El agua de pozo utilizada en el riego tiene una CE de 670 μS/cm y los cationes son Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ (3,10 y 0,70 meq/L), Na⁺ 2,43 y K⁺ 0,18 meq/L. Los aniones son el SO₄²⁻ (2,81 meq/L), Cl⁻ (2 meq/L) y HCO₃⁻ (1,6 meq/L). En cuanto a las características hídricas de este suelo la capacidad de campo (CC) es de 19% y el punto de marchitez permanente (PMP) del 10%, la densidad aparente en los primeros 30 cm es de 1,4 g/cm³, y en profundidad (30-60) 1,45, siendo la CC 16,5% y el PMP 9%. Por lo tanto, en los primeros 50 cm del suelo la capacidad de retención total del suelo es de 53,7 mm y fijando un umbral de riego de 40% lo disponible en esa profundidad es de 21,5 mm.

El resumen de los riegos realizados durante el ciclo de cultivo para cada uno de los tratamientos se presenta en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resumen mensual de las variables de riego: evaporación bruta del tanque A (EB), el kc (Coeficiente de cultivo), la lámina de riego calculada (dr_c) y lámina de riego aplicada según tratamientos (R2, R1 y R3) en mm, la precipitación efectiva (PPef), tensión media del suelo a 20 cm y 40 cm de profundidad tomada con sensor Watermark (W₂₀ y W₄₀), el número de riegos realizados (N° R), y lámina total de riego + precipitación efectiva aplicada según tratamiento (dr+pppe).

Dia	EB mm	Kc	dr _c	Lámina de riego mm			PPef	R1 W ₂₀	R2 W ₂₀	R2 W ₄₀	R3 W ₂₀	R3 W ₄₀	N° R
				R2	R1	R3							
Marzo	156,1	0,35	43,3	108,8	108,8	108,8	3,2	45,7	26,3	41,7	52,3	9	
Abril	138,1	0,59	63,7	89,1	89,1	89,1	2,8	27,7	33,1	37,4	60,7	7	
Mayo	84,9	0,76	51,3	33,7	22,6	43,7	0,7	34,5	39,5	47,0	74,5	4	
Junio	51,3	0,84	34,3	32,7	25,4	75,2	2,8	41,5	43,0	62,3	68,3	3	
Julio	45,3	1,00	36,3	25,8	20,1	39,6	18,0	25,5	30,5	51,0	48,5	3	
Agos	103,5	1,16	96,8	94,2	73,1	124,5	2,0	23,4	29,8	44,8	48,1	9	
Sept	132,3	1,21	128,0	145,5	106,5	212,5	15,4	29,6	28,8	56,6	41,0	15	
Oct	207,7	1,24	206,1	150,5	91,4	224,2	38,8	47,0	41,5	61,8	44,3	13	
Nov	74,5	1,19	71,2	55,1	30,5	52,3	0,0	0	0	0	0	4	
Total	993,7	0,9272	730,8	735,3	567,5	969,8	83,8	30,5	30,3	44,7	48,6	67	
dr+pppe				819,1	651,3	1053,6							

Como se observa en la **Tabla 2**, R2 que corresponde al tratamiento testigo, recibió un total (sumando la ppef) 819 mm. En R1 se aplicó un 79,5 % de la dr+ppe (651 mm), mientras que en R3 se logró aplicar un 28,6% más de agua que el testigo (1054 mm).

El rendimiento de plantas enteras a la cosecha, o sea bulbo más hojas, fue afectado significativamente por los tratamientos de riego, sin embargo, una vez secos y limpios, los bulbos solos, si bien muestran una tendencia a aumentar a medida que aumenta la lámina de riego la diferencia no es significativa (**Figuras 1 y 2**). En ambos casos se realizó un ajuste cuadrático indicando el R² obtenido.

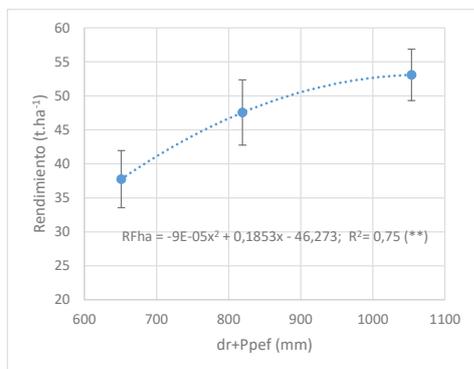


Figura 1. Efecto de las láminas de riego expresadas en mm, sobre el peso fresco, en t/ha

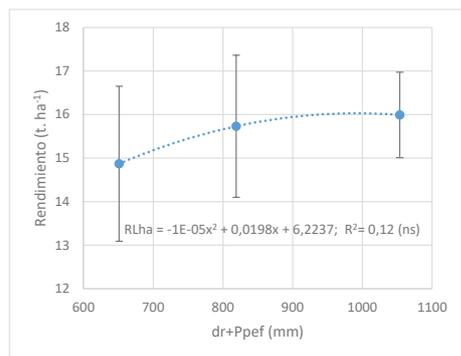


Figura 2. Efecto de las láminas de riego expresadas en mm, sobre el peso limpio y seco de bulbos, en t/ha

Tabla 3.-Efecto de los tratamientos de riego sobre la eficiencia de uso del agua (EUA) (kg/mm), tamaño medio de bulbos (g) y el índice de cosecha (IC)

Trat Riego	EUA	TM	IC
R1	23,33	50,77	0,38
R2	19,45	52,76	0,32
R3	15,40	54,70	0,29
sign	**	ns	**
sign <0,05	0,0076	0,265	0,0001
DMS	4,92	6,59	0,02
CV	11,69	5,76	3,10

En la **Tabla 3** se muestra el efecto de los tratamientos sobre la eficiencia de uso del agua (EUA) expresada en kg/mm, la cual fue afectada significativamente por los tratamientos. Como es lógico esperar, la mayor EUA se logró con el R1 y a medida que la lámina de riego se incrementó la EUA disminuyó. Los pesos promedio de bulbos (TM) en g, no fueron afectados significativamente por los tratamientos, en cambio el índice de cosecha (IC) fue afectado significativamente por los tratamientos siendo mayor en el R1. El IC se obtiene realizando

el cociente entre el peso limpio y seco de los bulbos dividido el peso fresco de planta entera en el momento de la cosecha. Este índice explica la falta de respuesta significativa de los tratamientos en el rendimiento limpio y seco. Las plantas más irrigadas acumularon más agua en el follaje y trasladaron menos fotoasimilados a los bulbos. Los kc obtenidos (**Tabla 2**) son diferentes a los obtenidos en los otros tipos de ajos. Castro Franco et al (2014) en Colombia con ajos subtropicales de ciclo corto obtuvieron valores de kc que variaron en forma fluctuante desde 1,0 a 1,2 al principio para bajar a 0,7 antes del inicio de la bulbificación, luego se incrementaron nuevamente a 1,2 al final de este periodo y finalmente desciende en forma paulatina hasta cosecha a 0,4. Fabeiro et al (2003), en otros tipos de ajo encontraron que el kc varía desde 0,40 en el primer estadio, luego se incrementa en forma constante hasta un máximo de 1 en el segundo estadio, se mantiene en ese valor durante la bulbificación y al final disminuye gradualmente a 0,60. Lipinski y Gaviola (2005), en ajos Colorado encontraron valores iniciales de 0,45, que aumentaron en forma exponencial a un máximo de 1,47 en el momento de máximo crecimiento de bulbo, para luego disminuir levemente en el momento de la cosecha. En el caso del Morado INTA se observa que se comienza con valores muy bajos en marzo (0,35) pero rápidamente se incrementa llegando a un máximo de 1,24 en octubre para luego disminuir hasta el momento de cosecha (1,19).

Establecer los valores de kc para un cultivo y sitio determinado, como se ha realizado en este trabajo, permite ajustar de manera más adecuada el riego y en consecuencia eficientizar el uso del agua, el cual es un recurso de vital importancia en la producción agrícola de zonas áridas como la provincia de Mendoza.

Referencias Bibliográficas

- Burba, J.L.** (2013). "Grupos Ecofisiológicos (GE), de ajos en la Argentina. y su equivalencia internacional". *100 Temas Sobre Producción De Ajo - Editor: Burba, J.L. Volumen 2 - Mejoramiento Genético Y Producción De Semilla De Ajo*. Pp. 8-16
- Castro Franco, H.E.; Cely Reyes, G.E. y Santos Dallos, Y.** (2014). Determinación de los requerimientos hídricos del ajo. *Cultura científica JDC*, 56-64.
- FAO.** (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 56. Roma.
- Fabeiro Cortes, C., Martín de Santa Olalla, F., López Urrea, R.** (2003). Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agric. Water Manage.* 59 (2), 155-167.
- Lipinski, V.M y Gaviola S.** (2005). Determinación de los coeficientes de cultivo para ajo colorado con riego por goteo, en el Valle de Uco, Mendoza, Argentina. XX Congreso Nacional del Agua, III Simposio de Rec Hid del Cono Sur. Res. P 493
- Lipinski, V. & Gaviola, S.** (2009). Efecto del déficit de riego controlado en diferentes estadios del cultivo sobre el rendimiento de ajos colorados. *XI Curso Taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo*. 85-87.
- Lipinski, V.M. & Gaviola, S.** (2011). Optimizing water use efficiency on Violet and White Garlic types through Regulated Deficit Irrigation. *Acta Horticulturae*, 889:459-468.

COPRODUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA DINÁMICA DEL NIVEL FREÁTICO EN UNA CUENCA DE LLANURA DE LA LAGUNA LA PICASA

López, Sebastián^{1,2}; Videla Mensegue, Horacio³; Guillén, Nicolas¹; Romero, Betsy⁴ Macchiavello, Alejandra³; Corigliano, José³; Álvarez, Javier¹; Kroon, Timo⁴; Veldhuizen, Ab⁶; Bonamico, Pia⁷; Blanco, Paola³; Azcurra, Malcom⁷; Andreoni, Lucas⁸; Bianchotti, Nicolas⁸; Gestoso, Martín⁹; Van Dooren, Robine¹⁰; Perotti, Luciano¹¹; Avedano, Leticia Salafia, Analia³; Snel, Herman⁶; Canale, Alejandra³; De Prada, Jorge⁵; y García, Carlos⁹; Marcelo^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).

³ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

⁴ Deltares, Países Bajos.

⁵ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

⁶ Wageningen Environmental Research, Países Bajos

⁷ Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.

⁸ Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba, Argentina.

⁹ Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID).

¹⁰ Netherlands Enterprise Agency, Países Bajos.

¹¹ Biored, Argentina.

E-mail: slopez@mi.unc.edu.ar

Introducción

El objetivo de desarrollo sustentable número 2 planteado por las Naciones Unidas en el año 2015 propone erradicar el hambre mundial (Naciones Unidas, 2018). En este contexto el rol de las cuencas de llanura y en especial en la pampa sub-húmeda es central, siendo una de las regiones con mayor nivel de producción agrícola del mundo (Calviño y Monzon, 2009). Al ser una región de llanura con muy baja pendiente (Jobbágy, 2008), los flujos de agua verticales predominan por sobre los horizontales, donde el uso de suelo y la actividad agrícola tiene una gran influencia sobre la hidrología (Kruse y Ainchill, 2017). El uso indebido de los recursos naturales puede provocar profundidades del nivel freático restrictiva para los cultivos como también inundaciones que provocan pérdidas significativas en la producción. La complejidad del problema requiere explorar nuevos mecanismos de interacción entre los actores del territorio y la ciencia.

El objetivo de este trabajo fue comparar indicadores ambientales y económico – productivos calculados a partir de escenarios de modelación co-diseñados con actores territoriales (por ejemplo productores rurales) representando cambios en el uso de la tierra y aumento de la red de canales en la cuenca de La Picasa. En este trabajo se reporta un esquema de coproducción del conocimiento implementado, donde se involucra a los tomadores de decisión en el estudio hidrológico de la cuenca que ellos habitan.

Área de Estudio

El sistema de la laguna La Picasa se ubica al sureste de la Provincia de Córdoba, sur de la Provincia de Santa Fe y noroeste de la Provincia de Buenos Aires, entre los 33° 54' y 34° 30' de latitud sur y los 62° 05' y 63° 34' de longitud oeste (Figura 1). Este es un sistema endorreico constituido por un conjunto de lagunas y bajos anegables integrados en una red de drenaje de escasa organización, cuyo nivel de base se ubica en La Picasa. La cuenca está compartida por tres jurisdicciones provinciales: Córdoba (47%), Buenos Aires (16%) y Santa Fe (37%) y es gestionada por el Comité de Cuenca de la laguna La Picasa, constituido por el Estado Nacional y las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Se trata de una zona de gran extensión, cuya topografía, eminentemente plana, dificulta la organización de la red de drenaje.

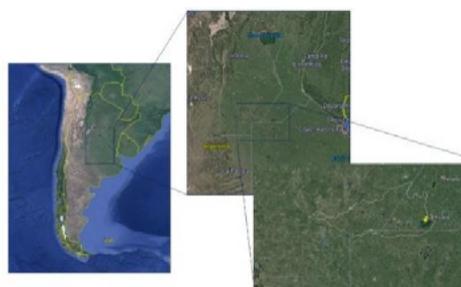


Figura 1.- Ubicación de la cuenca de estudio.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo el proceso de co-producción del conocimiento hidrológico en la cuenca de estudio, se creó un proyecto internacional llamado “Desarrollo Sustentable de la Cuenca Alta de la Laguna La Picasa - CALP”, donde investigadores de Argentina y Países Bajos trabajan de manera colaborativa para crear conocimiento científico sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca de la laguna La Picasa. De esta manera se buscó involucrar a los tomadores de decisión en el diseño de políticas públicas para el desarrollo sustentable siendo partes del proceso de diseño de las mismas.

Se realizaron tres talleres en el primer año del proyecto, en los que se reunieron hacedores de políticas públicas, comunidad, productores rurales e investigadores para trabajar en la generación de conocimiento (Figura 2). En el primer taller, se introdujo a la modelación hidrológica como herramienta, donde se dieron algunas ideas básicas de qué tipo de preguntas podría responder un modelo numérico, también se recopiló la experiencia de los lugareños y al final, hubo un espacio para que la comunidad hiciera preguntas a el equipo de modelaje. Para el segundo taller se calibraron modelos y se modelaron escenarios de variabilidad de precipitaciones, cambios de uso de suelo, infraestructura de drenaje de acuerdo al interés de la comunidad y se presentaron los resultados para su discusión. Finalmente, en el tercer taller, se presentaron a la comunidad los resultados de la simulación de escenarios realistas y se discutió sobre cómo seguir adelante con el proyecto.

Se utilizaron dos herramientas de modelación para simular el sistema; una para simular el consumo de agua de los cultivos y otra para el modelado de aguas subterráneas. La herramienta de

modelado de cultivos utilizada se llama SWAP (Kroes et al., 2017) donde se realizan simulaciones de rendimiento de cultivos y consumo de agua. La herramienta hidrológica utilizada es IMOD-Modflow, el modelo resuelve ecuaciones de flujo de agua subterránea (Vermeulen et al., 2020). Ambos modelos fueron calibrados con datos oficiales observados en campo, y para la validación se utilizaron datos no oficiales (registros realizados y compartidos por productores locales al proyecto; Macchiavello et al., 2021; López et al., 2022).



Figura 2.- Actividades realizadas durante los talleres con tomadores de decisión de la cuenca.

Resultados

El primer taller se realizó en agosto de 2021, en este espacio la comunidad pudo comunicar sus expectativas sobre el proyecto y compartió la experiencia de inundaciones pasadas con los investigadores y se formularon preguntas que orienten la investigación tales como: (i) ¿Cómo afecta la variabilidad de las lluvias en un año al nivel del agua subterránea? (ii) ¿Cómo afectan los cambios en el uso de la tierra a la dinámica de las aguas subterráneas? (iii) ¿Cuál es el impacto de construir una red de drenaje extendida en la dinámica del agua subterránea?

En el segundo taller, se presentaron los resultados de las principales preguntas y se realizó una discusión, donde las principales conclusiones fueron que la variabilidad de la lluvia tiene una influencia significativa en el comportamiento del nivel del agua subterránea, se estableció una relación lineal entre la precipitación de un año y la variación de la cantidad de agua. Los resultados de los escenarios muestran un bajo impacto del aumento de la red de drenaje a medio plazo en el nivel freático. Finalmente, las simulaciones mostraron que los cambios en el uso de la tierra tienen un impacto significativo en el agua subterránea. Después de la presentación de resultados, los productores locales definieron escenarios realistas, (i) Escenario actual, (ii) Aumento de la red de drenaje del Canal, (iii) Aumento de la producción de trigo, (iv) Aumento de pastizales para animales.

Durante el último taller se presentaron los resultados de simulaciones de escenarios planteados en el segundo taller, se utilizó una serie de indicadores (Evapotranspiración, Intensificación, Producción bruta, porcentaje de agua evaporada y profundidad media del nivel freático) para comparar entre escenarios (Figura 3), se realizó una simulación de 10 años con datos meteorológicos observados. A partir de la comparación de indicadores los intercambios con las partes interesadas expresaron tres reflexiones principales: (i) El uso del suelo es un factor clave para gestionar el agua en la cuenca; (ii) La construcción de más canales de drenaje no tiene un gran impacto en la hidrología de las aguas subterráneas, pero podría tener influencia durante eventos extremos, (iii) El manejo de los recursos naturales de la cuenca requiere una solución integral de uso de suelo y gestión del agua.

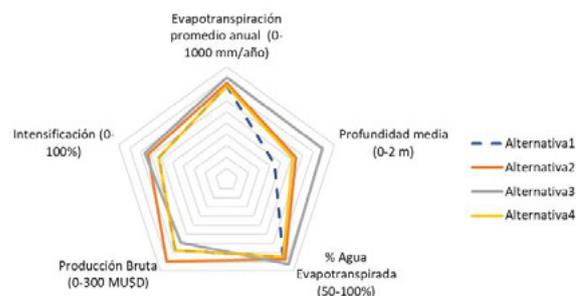


Figura 3.- Comparación de indicadores de escenarios hipotéticos definidos con los tomadores de decisión locales.

La discusión entre las partes interesadas, evaluando las experiencias de eventos extremos pasados y los resultados de la modelación, permitió concluir como idea general que “la mitigación de impactos negativos y el aprovechamiento de recursos escasos, junto a la participación de productores y actores del territorio es necesaria para una gestión integral”. Finalmente, el acuerdo alcanzado por los interesados propone organizar un “comité de acción/equipo de gestión” público-privado con el involucramiento de actores locales, instituciones de gobierno y ciencia y tecnología para generar un plan con un Visión de mediano y largo plazo.

Conclusiones

Los resultados del trabajo permitieron implementar una herramienta de modelación para evaluar el impacto de los cambios de uso de suelo e infraestructura sobre una serie de indicadores ambientales y económico-productivos en el CALP. Los resultados mostraron que el aumento de la intensificación del uso de la tierra ya sea con pastos o doble cultivo, genera un efecto importante sobre el nivel del manto freático, la recarga de la cuenca, la producción equivalente en soja y el valor bruto de la producción. Además, la intensificación con más infraestructura por el aumento de la superficie con canales no genera impactos significativos en el nivel freático. Los talleres participativos permitieron a los interesados crear y analizar escenarios de modelación codiseñados que ayudaron a visualizar los impactos que generan los cambios de uso de suelo e infraestructura en aspectos ambientales y económico-productivos. A partir de estos intercambios, los interesados destacan la importancia del trabajo conjunto de productores y actores del territorio para la gestión integral de la cuenca, con foco en el ordenamiento territorial, la comunicación y sensibilización de la comunidad y la medición de datos hidrológicos de la cuenca.

Referencias

- Calviño, P. & Monzon, J. (2009) Farming System of Argentina: Yield Constrains and Risk Management. Crop Physiology: Applications for Genetic Improvements and Agronomy
- Jobbágy, E., Nosetto, M., Santoni, C. & Baldi, G. (2008) El desafío ec hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. Ecología Austral.
- Kroes J. G., Van Dam, J. C., Bartholomeus, R. P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R. F. A., Mulder, H. M., Supit, I. & Van Walsum (2017) SWAP Version 4, Theory Description and User Manual. Wageningen Environmental Research.
- Kruse, E. & Ainchill, J. (2017) Comportamiento hidrológico en grandes llanuras: Caso de estudio Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. AUGDOMUS
- Vermeulen, P. T. M., Roelofsen, F. J., Hunnink, J., Janssen, G. M. C. M., Romero Verastegui, B., Van Engelen, J. & Russcher, M. (2020) IMOD 5.2 User Manual. Delft: Deltares

CIENCIA PARTICIPATIVA PARA EL MAPEO DE AMENAZAS HÍDRICAS EN COMUNIDAD VULNERABLE DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA

López, Sebastián^{1,2}; Díaz Lozada, José Manuel^{1,2}; Massó, Leandro^{1,2}; Portigliatti, Andrés^{1,2}; Gaitán, Paula³; Strusberg, Ingrid⁴; Ana Laura Elorza³; Kazimierski, Leandro⁵; Re, Mariano⁵; Vanoni, Susana⁴ y García, Carlos Marcelo^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).

³ Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

⁴ Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

⁵ Departamento de Hidráulica Computacional. Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina.

E-mail: slopez@mi.unc.edu.ar

Introducción

Entre los desastres naturales, las inundaciones requieren especial atención, especialmente en el contexto del cambio climático y su efecto sobre la frecuencia de eventos extremos. Las inundaciones urbanas representan un desafío significativo ya que más de la mitad de la población mundial habita en áreas urbanas (Markowski & Richardson, 2010). El impacto de los eventos extremos se intensifica por la vulnerabilidad de la sociedad civil, debido a su falta de conciencia sobre la exposición a las amenazas. El Marco de Reducción del Riesgo de desastres de Sendai (Naciones Unidas, 2015) propone, dentro de una serie de políticas públicas, aquellas que empoderan a las comunidades, aseguran un cambio de comportamiento a través de la ciencia, la evidencia y una comunicación efectiva y aumentan la comprensión de la gestión de desastres naturales y riesgos climáticos. Incorporar a la comunidad en el estudio de este tipo de fenómenos puede aumentar la conciencia sobre las amenazas a las cuales se encuentran expuestos y reducir su vulnerabilidad.

Este documento presenta los resultados de un proyecto de participación ciudadana co-creativo, en el cual se mapean los niveles de amenaza de inundaciones en una comunidad vulnerable en la ciudad de Córdoba, Argentina. Para ello se utilizaron modelos computacionales simulando la hidrología urbana y los procesos hidráulicos del río Suquía. Estos modelos fueron calibrados con información oficial y con datos registrados mediante un programa de monitoreo participativo. Finalmente se definió un criterio para definir el grado de amenaza basado en la probabilidad de ocurrencia de eventos meteorológicos y de las operaciones del embalse aguas arriba que afecta el comportamiento del río. El mapeo de la amenaza hídrica ha sido contrastado positivamente con los resultados de una encuesta realizada a la comunidad. Los resultados de este estudio son transferidos a los organismos de gestión pertinentes, buscando aumentar la resiliencia de la comunidad.

Área de estudio

El área de estudio, en el cual se desarrolla la tesis, es la cuenca urbana con sección de cierre en el barrio de Villa Páez. Esta cuenca urbana se encuentra ubicada en la ciudad de Córdoba, capital de la provincia de Córdoba, Argentina (Figura 1). El barrio de Villa Páez se encuentra expuesto a una doble amenaza hídrica, ya que puede sufrir inundaciones tanto del tipo pluvial por lluvias locales dentro de la cuenca urbana, como también inundaciones fluviales producto de crecidas del río Suquía.

El crecimiento espacial de la ciudad de Córdoba, junto a su urbanización y por consiguiente impermeabilización provocó un aumento en la frecuencia de las inundaciones a las cuales se encuentra expuesto el barrio, la cuenca urbana posee una superficie de aproximadamente 10 km². Por otro lado, el río Suquía aguas arriba de la ciudad de Córdoba se encuentra regulado por el dique San Roque, el control de las crecidas por parte del dique provocó el asentamiento en sectores inundables naturalmente por el río, siendo

el barrio de Villa Páez uno de estos. Por lo tanto, ante lluvias extremas en la cuenca alta del río o por maniobras de manejo de embalse el nivel del río crece provocando inundaciones urbanas.

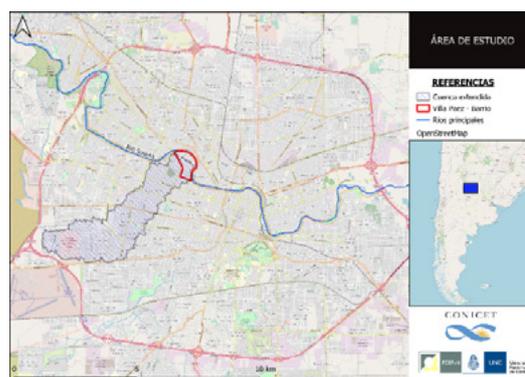


Figura 1.- Área de estudio

Metodología

En este trabajo se implementaron dos modelos numéricos a los fines de poder simular los dos tipos de inundaciones que afectan el barrio. En primer lugar, se implementó un modelo de hidrología urbana utilizando el programa computacional EPA-SWMM (Rossman, 2015), mientras que para evaluar el comportamiento del río Suquía se utilizó la herramienta computacional HEC-RAS (Brunner, 2016).

Para poder calibrar el modelo de hidrología urbana, ante la dificultad de contar con información de niveles o caudales en la cuenca se implementó un programa de monitoreo ciudadano, a partir del cual se trabajó de manera colaborativa con la comunidad en el registro de variables hidrológicas dentro de la cuenca (Lopez et al, 2021). En cuanto a la calibración del modelo hidráulico del río Suquía se utilizaron curvas altura de superficie libre-caudal líquido para dos secciones en el tramo (Massó, 2022).

Luego se definieron criterios para evaluar el grado de amenaza para cada tipo de inundación. En el caso de las inundaciones pluviales, se elaboró un criterio que relaciona la probabilidad de ocurrencia del evento (según su tiempo de recurrencia) y el grado de amenaza según el criterio propuesto por Australian Engineer, 2010. Mientras que, para evaluar la amenaza fluvial encontrarse regulado aguas arriba por el dique San Roque dificulta asignarle una probabilidad de ocurrencia a valores de caudal en el río, sino que los caudales del río dependen del manejo del embalse, por lo que se decidió asignar niveles de amenaza a los escenarios vinculados operaciones del embalse.

Finalmente, se realizó una extensa encuesta de aproximadamente 200 viviendas en el barrio afectado, donde se consultó, entre otras particularidades, sobre la ocurrencia de inundaciones pluviales y fluviales (Strusberg, 2023). Los resultados de la encuesta fueron contrastados con los resultados de la modelación.

Resultados

El modelo de hidrología urbana fue implementado en la cuenca de estudio. A partir de la información recopilada en el programa participativo se calibró el modelo numérico como se puede observar en la Figura 2. Se aprecia que la comparación de niveles simulados para los dos eventos más importantes durante los dos años de monitoreo, presentan un buen nivel de ajuste respecto a los niveles observados.

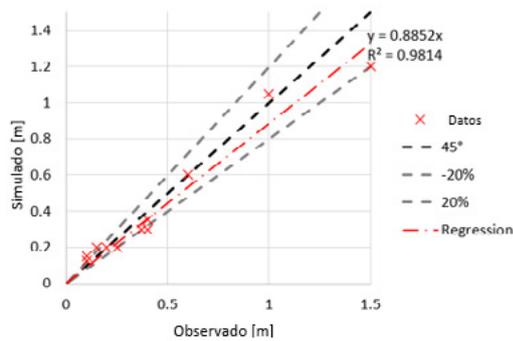


Figura 2.- Comparación de niveles observados en la cuenca urbana a partir del programa participativo y niveles modelados mediante EPA-SWMM.

Luego, se implementó el modelo hidráulico del río Suquia en su tramo urbano. A partir de la información hidráulica disponible, se calibraron los parámetros del modelo para lograr un correcto ajuste respecto a las observaciones, como se puede apreciar en la Figura 3.

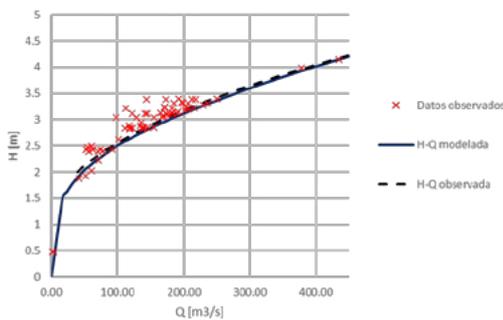


Figura 3.- Curva altura de superficie libre-caudal del río Suquia en sección de observación.

A su vez, se simularon los distintos escenarios planteados para evaluar el grado de amenaza, vinculando los resultados con los niveles de amenaza según los criterios propuestos. Se realizó un mapeo de los niveles de amenaza obtenidos utilizando un programa de sistema de información geográfico (Figura 4).

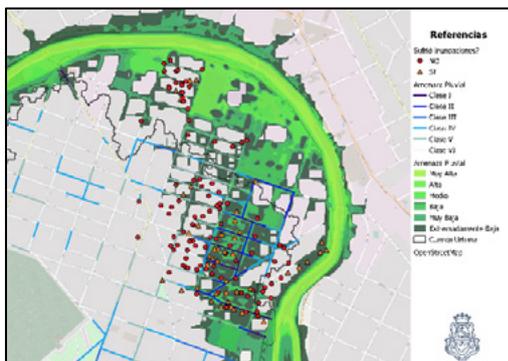


Figura 4.- Mapa de amenazas hídricas.

Finalmente, se contrastó positivamente la relación entre los resultados del mapeo de amenaza y los resultados de las encuestas realizadas. Se observa que para los sectores con alto nivel de amenaza pluvial, los encuestados en general denunciaron haber sufrido inundaciones, mientras que los sectores expuestos a amenaza fluvial los resultados dependen en gran medida de la antigüedad de residencia de los vecinos en el barrio.

Conclusiones

En este trabajo se implementaron dos modelos numéricos capaces de simular adecuadamente el comportamiento tanto de las inundaciones pluviales como fluviales, ambos modelos fueron calibrados con datos observados generados a partir de un programa de monitoreo co-creativo, alcanzando un correcto grado de ajuste. Luego se definieron criterios para la evaluación del grado de amenaza de acuerdo con escenarios de lluvia y caudales hipotéticos. Una vez simulados los escenarios, se mapearon los resultados alcanzados de manera conjunta logrando un mapa de amenaza que contenga ambos tipos de inundación integrados. Finalmente se realizó una extensa encuesta a los habitantes del barrio afectado, en donde se obtuvo información espacial sobre la ocurrencia de inundaciones pluviales y fluviales en el barrio. Los resultados de las encuestas fueron contrastados con el mapa de amenaza generado, observando un gran acuerdo entre el mapeo y los testimonios.

De esta forma se implementó un novedoso mapeo de las amenazas de inundación a los cuales se encuentra expuesta una comunidad vulnerable de la ciudad de Córdoba. La comunidad se involucró en la definición del problema, recolección de datos y en la validación de los resultados alcanzados en el mapeo de las amenazas mediante la participación de una encuesta. Estos resultados han sido transferidos a la comunidad para aumentar su resiliencia a este tipo de fenómenos y también es compartido a los organismos encargados de la gestión del riego y del recurso hídrico.

Referencias

- Markowski, P., & Richardson, Y. (2010). Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. Wiley.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.
- Rossmann, L. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. Cincinnati: Environmental Protection Agency.
- Brunner, G. W. (2016) River Analysis System User's Manual. US Army Corps of Engineers
- Lopez, S., Massó, L., Portigliatti, A., Patalano, A., Kazimierski, L., Díaz Lozada, J. M., Re, M., García, C. M. (2021) Implementación de Proyectos de Ciencia Ciudadana en el Diseño y Evaluación de Medidas para Mitigar el Riesgo Hídrico de Inundaciones Urbanas. Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Acapulco 2021.
- Massó L. (2022) Cazadores de Crecidas: Implementación de la Técnica LSPIV para Caracterizar y Cuantificar Recursos Hídricos Superficiales. Tesis de Maestría mención Recursos Hídricos- FCEFYN.
- Engineers Australia (2010). Project 10 Appropriate safety criteria for people. Australia Rainfall and Runoff Engineering.
- Strusberg, I., Vanoni, S., Correa, F., Méjico, C., Díaz Lozada, J. M., García C. M., Elorza, A. L., Gaitá, M. P., Muñoz, S., Aballay, L. (2023) Situación sanitaria y su entorno en un barrio aledaño al río Suquia de Córdoba, Argentina, en el contexto actual de cambio climático y contaminación hídrica.

MAPA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. NUEVA ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA DE LA SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICA HÍDRICA DE LA NACIÓN

Carla Lupano, Yamila Berdun

Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación
Av. Pte. Roque Sáenz Peña 777, piso 6 (sector C), CABA.
clupano@obraspublicas.gob.ar
yberdun@obraspublicas.gob.ar

Resumen

La necesidad de contar con cartografía digital de cuencas hidrográficas, en tanto unidad territorial de gestión integrada de recursos hídricos, ha sido históricamente una misión central de la entonces Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, actual Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, Ministerio de Obras Públicas.

Desde el año 2018, el Área de Cartografía y SIG del Organismo se aboca a la actualización del mapa de cuencas hidrográficas del país. En base a los antecedentes cartográficos *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina* (SsRH-INA, 2002) y *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales, versión 2010* (SsRH-INA, 2010), la presente delimitación integra y actualiza el trabajo realizado durante décadas en el Sistema Nacional de Información Hídrica.

La metodología desarrollada involucró trabajo en gabinete aplicando herramientas de SIG y teledetección. La nueva actualización cartográfica se apoyó en fotointerpretación de geoservicios de imagen satelital de alta resolución; y procesamiento digital y visual de Modelos Digitales de Elevaciones para la generación semiautomática y manual de cuencas según un criterio topográfico.

La nueva actualización cartográfica, en formato shapefile, cuenta con más de 1.400 unidades hídricas superficiales sólo en la parte continental americana –elevándose significativamente el número si se incluye Is. Malvinas-, agrupadas en aproximadamente 260 entidades mayores; agregadas, a su vez, en 14 sistemas hídricos. Para esta contribución se presenta el mapa compuesto para impresión a escala 1:3.500.000.

A diferencia de las versiones antecedentes, publicadas en formato estático (CD/DVD), la nueva delimitación cartográfica es concebida en permanente revisión y actualización.

Una versión preliminar de la capa fue puesta oportunamente a consideración de las jurisdicciones que integran el Consejo Hídrico Federal. Las provincias de Córdoba, Chubut, Neuquén y Río Negro realizaron adecuaciones a la misma en sus territorios. Dicha versión es pública y descargable a través del Portal Federal de los Recursos Hídricos de la República Argentina (<https://cohife-cohife.hub.arcgis.com>).

Palabras clave: Nueva actualización cartográfica digital – cuenca hidrográfica – Gestión integrada de recursos hídricos.

Introducción

La gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) constituye una de las misiones centrales de la política hídrica a nivel nacional, responsabilidad a cargo de la actual Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIPH), ex Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SsRH).

Entre los objetivos fundamentales de la GIRH, el mapeo de las cuencas hidrográficas tiene un rol primario, en tanto supone la definición y delimitación del ámbito espacial de referencia a la que está dirigida.

En el presente y desde el año 2018, el Organismo se aboca a la actualización de la cartografía nacional de cuencas a escala de detalle, habiéndose tomado como base de referencia la delimitación del *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas de la República Argentina, versión 2010* (Ibid.). Específicamente, el proyecto cartográfico está a cargo del Área de SIG y Cartografía, bajo la órbita de la Dirección de Sistemas de Monitoreo de los Recursos Hídricos de la Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal, perteneciente a la Subsecretaría de Planificación y Gestión Operativa de Proyectos Hídricos de la SIPH; hoy dependiente del Ministerio de Obras Públicas.

Asimismo, en el marco de la actuación del Consejo Hídrico Federal (CoHiFe), ámbito de discusión de los asuntos concernientes a la GIRH, del que Nación forma parte, se planteó la necesidad de contar con un mapa de cuencas hidrográficas de gran escala a nivel nacional. En este contexto, Nación puso a disposición y consideración de las restantes jurisdicciones el mapa actualizado. Las provincias de Córdoba, Chubut, Río Negro y Neuquén realizaron adecuaciones en sus correspondientes territorios.

Materiales y métodos

El proceso de trabajo partió de la integración de las unidades hídricas superficiales (UHS) generadas a nivel provincial en el marco del proyecto de actualización cartográfica antecedente y plasmadas en el *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas de la República Argentina, versión 2010* (Ibid.). Cabe señalar que en un número mayoritario de casos no existía correspondencia geométrica a un lado y otro de los límites jurisdiccionales.

La metodología de actualización cartográfica desarrollada involucró trabajo en gabinete informático, en entorno SIG, aplicando rutinas de procesamiento digital y visual sobre el Modelo Digital de Elevaciones MDE-Ar 30 m (IGN, 2019) - y en casos donde la escasa expresión topográfica lo requirió, sobre el MDE ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución espacial (ASF, 2015)- tendientes a la generación semiautomática y manual de cuencas; junto a fotointerpretación de geoservicios de imagen satelital de alta resolución (ESRI, 2009).

En primera instancia, se dio continuidad transfronteriza a aquellas cuencas (polígonos) que se interrumpían en el límite interprovincial. En segundo término, se identificó y delimitó una gran cantidad de nuevas UHS, gracias al aumento de la escala de análisis en virtud de la alta resolución espacial de los MDE y de los geoservicios satelitales.

A partir de esta metodología fueron tanto precisados los límites preexistentes, como reconocidas y definidas nuevas cuencas. Cabe señalar que las delimitaciones que resultaron de las intervenciones de las cuatro provincias mencionadas fueron analizadas y mayormente incorporadas; y, en ciertos casos, redefinidas; como en casos de desvíos respecto de las divisorias de agua evidenciadas por el MDE. Por ello, la capa actualizada y presentada aquí no se corresponde exactamente con la publicada en el Portal Federal de los Recursos Hídricos (PFRH). En la Figura 1 se ilustra la cronología de actualización de la cartografía

digital de cuencas hidrográficas de la República Argentina durante las últimas dos décadas en la SsRH-SIPH.

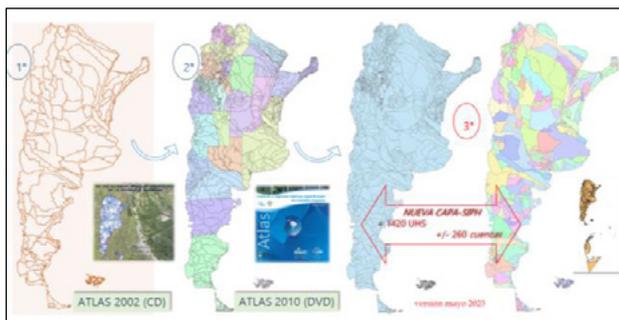


Figura 1.- Evolución de la capa vectorial de cuencas en la SIPH (ex SsRH).

Es importante señalar que el Catálogo de Objetos Geográficos de IDERA, en su última publicación (marzo 2023), incorpora por primera vez el objeto “cuena hidrográfica” como tal y establece sus atributos básicos. Actualmente, el Organismo trabaja para adecuar la base de atributos a los estándares promovidos por IDERA (normas ISO de la familia 19100).

Resultados

A partir de la metodología descrita fueron delimitadas más de 1.400 UHS, agrupadas en aproximadamente 260 entidades mayores, nivel de desagregación espacial coherente con el de la capa “Cuencas” publicada a través del PFRH. Asimismo, éstas se agregan en 14 sistemas hídricos (SH), dando continuidad al criterio de clasificación por SH que se adoptara oportunamente para el *Atlas de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina* (SSRH-INA, 2002). Merece reiterarse que, tanto la geometría de la capa, como su base de atributos, está sujeta a permanente mejora y actualización. En la Figura 2 se presenta el nuevo Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República Argentina, en formato de impresión, papel tamaño A0, escala 1: 3.500.000.

Conclusiones

A partir de la metodología descrita fue actualizada la cartografía digital de cuencas hidrográficas a nivel nacional, cuyo más antiguo antecedente se remonta al *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina* (Ibid.). Este nuevo hito cartográfico ha permitido superar la limitación del *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales, versión 2010* (SsRH-INA, 2010), cuya definición de cuencas fuera realizada a nivel provincial, implicando la interrupción de las geometrías de las entidades en límites interprovinciales, muchas veces, sin continuidad transfronteriza. Cabe destacar que dicha falencia respondió a un condicionamiento ajeno a la pretensión del proyecto, relacionado con el contexto de política hídrica de entonces. Actualmente, y en buena hora, asistimos a un contexto de política hídrica basado en criterios de GIRH y gobernanza, demandantes de análisis integrales, apoyados en cartografía coherente con éstos.

Por último, consideramos que el aporte que supone disponer de este nuevo mapa de cuencas para la GIRH a nivel nacional es de un valor indiscutible.

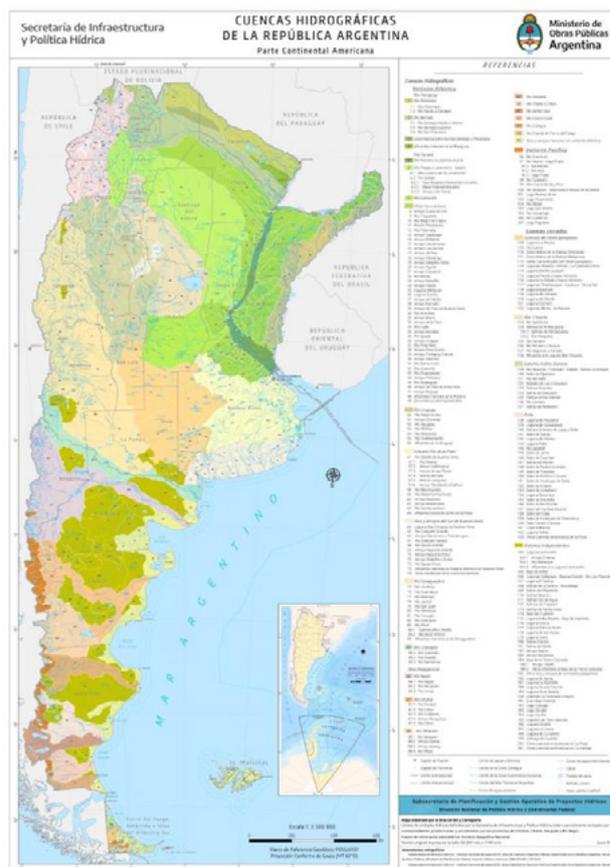


Figura 2.- Nuevo Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República Argentina de la SIPH.

Referencias

ASF Alaska Satellite Facility DAAC (2015). ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_high_res. © JAXA/METI 2007. DOI: <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>.

ESRI (2009). ArcGIS Online World Imagery basemap. Diciembre 2019. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08fbac2a9>.

Instituto Geográfico Nacional (2019). MDE-Ar v2.0. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigital/evaciones/Busqueda>.

Subsecretaría de Recursos Hídricos – Instituto Nacional del Agua (2010). *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina, versión 2010*. Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Formato DVD. ISBN 978-987-1797-05-9.

Subsecretaría de Recursos Hídricos – Instituto Nacional del Agua (2002). *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Formato CD-Rom. Obtención de premio “Al Mérito Geográfico” 2002, otorgado por GÆA; Buenos Aires, 10 de octubre de 2002. Aprobación IGM según Expediente N° GG02 1343/5. 2002.

Agradecimientos

Al Lic. Juan Martín Sitjá, por su colaboración en tareas de fotointerpretación.

A la Lic. Leila Expósito, por su colaboración en tareas de revisión del documento cartográfico.

DINÁMICA DE AGUAS SUBSUPERFICIALES EN EL PARTIDO DE GENERAL VILLEGAS

Alejandra Macchiavello^{1*}, Horacio Videla Mensegue², Rodrigo Llila Manzione³,
Cristián Álvarez⁴, Elke Noellemeyer⁵

¹INTA AER General Villegas, ²INTA AER Laboulaye, ³UNESP Universidade Estadual Paulista,
⁴INTA AER General Pico, ⁵Facultad de Agronomía UNLPam

Introducción

En muchos ambientes de la región pampeana, niveles freáticos cercanos a la superficie pueden convertirse en una fuente importante de agua para las plantas (Jobbágy y Jackson, 2004; Noretto *et al*, 2009), una segunda oportunidad de usar el exceso de agua de lluvia almacenada en los suelos. Sin embargo, largos periodos de lluvias importantes pueden provocar que el nivel freático este demasiado cerca de la superficie, afectando negativamente el crecimiento y el desarrollo de la vegetación. El partido de General Villegas está ubicado en el noroeste bonaerense, sobre una planicie sedimentaria, con escasa red de drenaje superficial y nivel freático cercano a la superficie. Lo cual, junto a excesos de precipitaciones producen con frecuencia inundaciones que ejercen una marcada influencia sobre los ecosistemas naturales y modificados. Disponer de información sistematizada de las napas freáticas, junto al planteo de métodos de análisis de datos para su caracterización, permitirían obtener estrategias de adaptación y mitigación en el territorio. Además, esta información es fundamental para validar modelos hidrológicos para poder predecir el comportamiento del sistema hidrológico ante cambios climáticos. El propósito de este estudio fue evaluar la capacidad predictiva de un modelo de series temporales llamado PIRFICT (Predefined Impulse Response Function In Continuous Time) (Von Asmuth, 2001) para conocer la dinámica del nivel freático, asociada a agroecosistemas agrícolas y su correlación con las precipitación y evapotranspiración.

Materiales y métodos

Áreas de estudio

El partido de General Villegas está ubicado en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, entre los 34° 30' y 35° 40' de latitud sur y los 62° 40' y 63° 30' de longitud oeste. Esta región tiene características climáticas, edáficas, hidrológicas, productivas y socioeconómicas representativas de la Pampa húmeda y subhúmeda Argentina.

Calibración del Modelo PIRFICT

Se confeccionaron 22 series temporales de datos de nivel freático a partir de freatómetros distribuidos en establecimientos rurales, abarcaron un período de 15 años (entre 2000-2014). Se anexaron datos climáticos como registros de precipitaciones y evapotranspiración para el mismo periodo.

PIRFICT modela la dinámica temporal del agua subsuperficial combinando una variedad de funciones para visualizar, analizar y modelar series temporales hidrogeológicas y climáticas. En el modelo PIRFICT, un pulso de bloque de la entrada se transforma en una serie de salida mediante una función de transferencia de tiempo continuo. Los resultados son una serie pronosticada de la profundidad del nivel freático, en el tiempo, con coeficientes que no dependen de la frecuencia de observación. Hay muchos tipos de tensiones que pueden afectar la profundidad del nivel freático, Von Asmuth et al. (2008) distinguieron varios factores, tales como: la precipitación, la

evapotranspiración, la extracción (o inyección) de agua subterránea, niveles de agua superficial, presión barométrica e intervenciones hidrológicas. En este estudio, se atribuye a las tensiones de precipitación y evapotranspiración, modeladas como función de transferencia-ruído por el modelo PIRFICT.

La capacidad predictiva del modelo se evaluó con la raíz del error medio cuadrático (RMSE) y el porcentaje de la varianza explicada (EVP).

Resultados

Los valores de nivel freático oscilaron entre 60 y 506 cm con una profundidad media de 251 cm (± 70 cm) (Figura 1). Los resultados de la calibración del modelo mostraron un ajuste regular para la mayoría de las series de datos (RMSE ~ 47.3 cm; EVP $\sim 55.3\%$) (Figura 2 y 3) Los mejores ajustes fueron alcanzados en suelos Argiudoles y Hapludoles típicos (RMSE ~ 36.5 cm; EVP $\sim 74.5\%$). Por el contrario, los menores ajustes fueron obtenidos en suelos Hapludoles tapho argicos y nátricos (RMSE ~ 52.3 cm; EVP $\sim 48.5\%$).

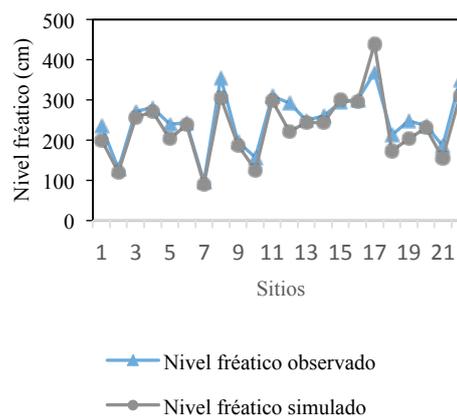


Figura 1.- Evolución del nivel freático observado y simulado en General Villegas.

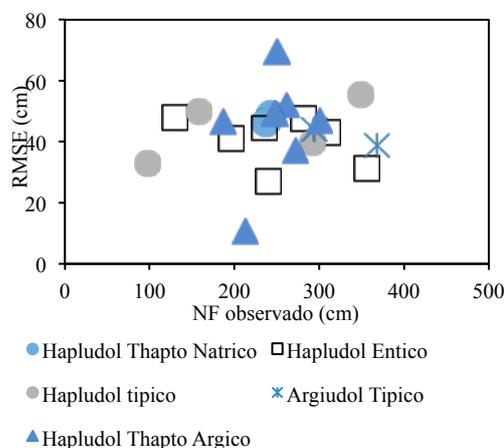


Figura 2.- Resultados de la simulación en PIRFICT (RMSE, cm) según nivel freático y tipos de suelos.

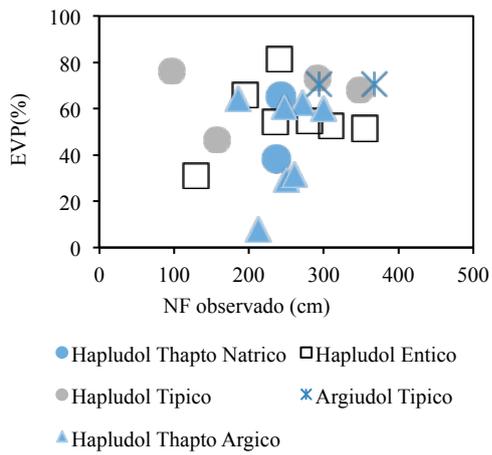


Figura 3.- Resultados de la simulación en PIRFICT (EVP, %) según nivel freático y tipos de suelos.

Conclusiones

Las conclusiones preliminares fueron que el modelo PIRFICT puede ser una herramienta apropiada para aplicar a situaciones de suelo sin restricciones de profundidad y en un rango de nivel freático entre 60 a 500 cm para el partido de General Villegas. Estas herramientas e información son claves para la gestión de los recursos hídricos subterráneos en los ecosistemas de llanura.

Bibliografía

Jobbágy, E. G., and Jackson, R. B. 2004. "Groundwater use and salinization with grassland afforestation." *Global Change Biology*, in press.

Nosetto, M.D., E.G. Jobbágy, R.B. Jackson, y G.A. Sznajder. 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crop Research* 113: 138–148. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.04.016.

Von Asmuth JR, Bierkens MFP, Maas C (2002) Transfer function noise modelling in continuous time using predefined impulse response functions. *Water Resour Res* 38.

EVALUACIÓN DE RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DEL CEREZO EN LOS ANTIGUOS, SANTA CRUZ

Juan Santiago Arhancet, Fernando Ariel Manavella

INTA AER Los Antiguos, EEA Santa Cruz, Argentina

Av. Tehuelches 556, Los Antiguos

Tel: (02963)491252

Correos electrónicos:

arhancet.juan@inta.gob.ar; manavella.fernando@inta.gob.ar

Introducción

La principal actividad productiva, en volumen y superficie, del valle de Los Antiguos (noroeste de Santa Cruz), es el cultivo de cereza (*Prunus avium L.*). Esta actividad ha crecido en superficie, en calidad y en aplicación de tecnología, desde sus inicios en la década del 70'. Actualmente, más del 60% de los montes productivos utilizan riego localizado, por lo que se considera muy importante evaluar las variables que caracterizan tanto el desempeño de los equipos, como la programación del riego (Schilardi, 2015), para identificar problemas que puedan afectar el desempeño de los sistemas.

Partiendo de un diseño agronómico e hidráulico adecuado, la programación del riego y correcta operación de los equipos, son fundamentales para obtener buen rendimiento y fruta de calidad. La implementación de una estrategia de riego se basa en definir frecuencia de riego y lámina requerida, o en otras palabras conocer el estado hídrico de la planta y el suelo, conocer las necesidades hídricas del cultivo (Zellman, P. 2016).

Hay dos aspectos del desempeño de un equipo que se deben conocer para planificar o programar los riegos:

- Uniformidad de Distribución, que caracteriza el sistema de riego al describir qué tan uniforme es la aplicación de agua a cada planta, y en el cual pueden intervenir varios factores (constructivos, hidráulicos, de envejecimiento, obturaciones, etc).
- Tasa de aplicación o lámina aplicada, que hace referencia a la cantidad promedio de agua que recibe el sector o la planta en un tiempo determinado.

(Zellman, P.2016; Pizarro, F. 1996)

Por otra parte, para que un equipo de riego opere en base a su diseño original, se debe controlar su funcionamiento y realizar el mantenimiento de los componentes del equipo (Olguín Pringles, A. 2016).

El objetivo de este trabajo, en etapa inicial de desarrollo, es detectar posibles deficiencias en componentes, manejo o desempeño de los equipos de riego localizado del valle de Los Antiguos, apuntando a implementar mejoras mediante la transferencia de conocimiento y capacitación a los productores en el correcta planificación y uso de estos.

Materiales y métodos

Se realizó el cálculo de demanda de riego para el cultivo de cereza en el valle, según la metodología propuesta por Pizarro (1996) y Allen et. al. (2006), considerando datos climáticos locales y coeficientes propuestos por FAO, contando con Kc ajustado localmente en base a experiencias previas desarrolladas desde la AER para riego de cerezos en el valle.

Para detectar la existencia de problemas en el funcionamiento de los equipos de riego localizado, se trabajó sobre una muestra

inicial de 7 sectores de riego pertenecientes a diferentes productores y empresas. En dichos lotes, se realizó la evaluación de uniformidad de riego, además de relevar la presencia de componentes esenciales (en cabezales y redes de distribución) y realizar una encuesta a productores y operarios, consultando:

- Tiempo y frecuencia de riego
- Elementos considerados para decidir los mismos
- Frecuencia de mantenimiento de los componentes del equipo (laterales, red de distribución y cabezal)

Para medir la uniformidad de riego se calculó el Coeficiente Uniformidad (CU) en base a la metodología de Merriam y Keller, 1978 (Pizarro, F. 1996), midiendo en 16 plantas el caudal total que recibe cada una de ellas y la presión en esa zona (Figura 1).



Figura 1. Medición de caudal total que afecta 1 planta y presión de funcionamiento de los emisores.

Para riego localizado, este valor de CU se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$CU = \frac{Q_{25}}{Q_m}$$

(Pizarro, F. 1996)

Q₂₅: Corresponde al caudal medio de los emisores que representan el 25% de menor caudal.

Q_m: es el caudal medio de todos los emisores

En caso de existir bajos valores de Uniformidad se estableció calcular los Coeficientes de Variación (CV) de caudales propuestos por Bralts y Kesner, 1983 (Pizarro, F. 1996):

- CV_t: coeficiente de variación total de caudales
- CV_e: coeficiente de variación debido a la baja uniformidad de los emisores
- CV_h: coeficiente de variación debido a causas hidráulicas

Resultados

Los resultados de las evaluaciones de CU de la muestra inicial (Tabla 1) no muestran inconvenientes en la uniformidad del riego.

Tabla 1. Valores de Coeficiente de Uniformidad (CU) en porcentaje, obtenidos en 7 establecimientos, clasificados en base a la descripción propuesta por Merriam y Keller, 1978 (Pizarro, F. 1996).

Establecimiento	CU (%)	Clasificación
A	87,8	Bueno
B	93,5	Excelente
C	90,7	Excelente
D	81,2	Bueno
E	97,8	Excelente
F	87,6	Bueno
G	90,7	Excelente

Por otra parte, el relevamiento de componentes en las instalaciones permitió detectar algunos problemas comunes:

- Ausencia de caudalímetros
- Equipos diseñados para funcionamiento automatizado que se utilizan de forma manual

En relación con el manejo y funcionamiento de los equipos, los principales inconvenientes detectados fueron:

- Lotes regados con presión inferior a la recomendada en el diseño, o riego de más lotes por sector de los establecidos al diseñar el equipo.
- Bajo nivel de atención a la detección de problemas desde el cabezal del equipo, combinando la información de: manómetro + amperímetro + caudalímetro.
- En los casos en que se emplea información satelital para la decisión de tiempo y frecuencia de riego, se detecta la falta del aporte de datos locales (ej: textura, estructura, velocidad de infiltración, etc)
- Escaso conocimiento y seguimiento de indicadores de agua disponible en el perfil de suelo.

La encuesta realizada a operarios y productores permitió detectar como principales fortalezas:

- Un aceptable de conocimiento y adopción de las tareas de mantenimiento o limpieza de tuberías de distribución y laterales de riego durante la temporada productiva.
- Algunos productores que implementan datos de la estación meteorológica local para estimar tiempos de riego, y productores que buscan ajustar dichos tiempos a partir del servicio ofrecido por empresas.

En cuanto a los principales problemas detectados, se observó:

- Un gran porcentaje de los productores decide la frecuencia y tiempo de riego en base a estado visual de las plantas, por recomendación de otros productores, aplicando láminas inadecuadas.
- Pocos productores toman muestras para evaluar el estado hídrico del suelo y del cultivo, o implementan algún tipo de herramienta para evaluarlo (Ej sensores).

Si bien se observa que el diseño general de los equipos en su mayoría es adecuado, y los CU son buenos, no es así en relación con la operación de los mismos. Tampoco se observa que haya una planificación de riego que garantice reponer las demandas diarias del cultivo.

Por estos motivos, se considera que este relevamiento inicial aporta información valiosa para continuar el desarrollo de este proyecto, considerando tres aspectos fundamentales:

- La capacitación a productores en relación con los componentes fundamentales del equipo y su uso, y sobre el diseño de calendarios de riego.
- Capacitar sobre la incorporación del monitoreo del estado hídrico del suelo y del cultivo.
- La necesidad de realizar una muestra de mayor tamaño para descartar definitivamente la incidencia de problemas de distribución en los lotes irrigados.

Referencias Bibliográficas

Allen, L. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (2006). "Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos". Estudio FAO Riego y Drenaje 56.

<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

Pizarro, F. (2019). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)-Goteo, exudación, microaspersión. Ed Mundi-Prensa

Schilardi, C.; Rearte, E.; Martín, L.; Morábito, J. (2015). "Diagnostico prospectivo del desempeño de métodos de riego en la provincia de Mendoza. Puntos de atención y estrategias de optimización". Facultad de Cs. Agrarias UNCuyo – INA Centro Regional Andino.

Zellman, P. (2016). "Drip Irrigation System Evaluations: How to Measure & Use Distribution Uniformity Tests".

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los socios de la Cooperativa Agrofrutícola El Oasis LTDA, de las empresas Southern Crops by Río Alara y Frutos del Valle Patagónicos, y la participación durante los monitoreos a campo de las alumnas Aylin Serrano y Mayra Gatti, de la Tecnicatura Superior en Biotecnología Agropecuaria del Instituto Superior de Enseñanza Técnica de Los Antiguos y del personal de la Secretaría de Desarrollo Productivo de la Municipalidad de Los Antiguos.

RETROCESO ACELERADO DE LOS GLACIARES DE LA ENSENADA LARSEN B DURANTE LOS AÑOS 2022 Y 2023

Liliana S. Margonari^{1,2} Sebastián Marinsek¹

¹Instituto Antártico Argentino, Argentina

²Universidad de Buenos Aires, Argentina

liliana.margonari@hotmail.com; sebastianmarinsek@gmail.com

Resumen

En el año 2002 la plataforma de hielo Larsen B se desintegró abruptamente casi por completo. Desde ese año y hasta el año 2011 los glaciares que fueron tributarios de esta plataforma retrocedieron. Esto coincidió con cambios en las condiciones de hielo marino, en donde el hielo marino que se formaba en los inviernos de dicho período se desintegraba casi por completo durante los veranos siguientes. A partir del verano 2011-2012 se observó que la formación de hielo marino se consolidó y se mantuvo ininterrumpidamente hasta el verano 2021-2022. Durante este segundo período los glaciares de la ensenada Larsen B comenzaron a avanzar. En enero del 2022 se observó que la concentración de hielo marino disminuyó abruptamente. Coincidente con esta disminución se registró un acelerado retroceso de los glaciares. Si bien los frentes de los glaciares no tuvieron grandes variaciones durante el invierno del año 2022, nuevamente entraron en un acelerado retroceso durante el verano 2022-2023, lo que coincidió con la desintegración casi total del hielo marino en la ensenada Larsen B. Se observó que la mayoría de los glaciares que desembocan en la ensenada han experimentado su máximo retroceso desde que se tiene registros. Inferimos que el hielo marino interviene como protector del retroceso frontal del glaciar. Teniendo en cuenta los datos de temperatura en la base antártica más cercana medidos durante los períodos analizados, se deduce que la formación y desintegración del hielo marino se encuentra relacionada con la suma de las temperaturas positivas. Si las condiciones actuales de calentamiento se mantienen, estas reservas de agua dulce se verán considerablemente afectadas.

Introducción

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) reportó que las actividades antrópicas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han causado un inequívoco aumento de Temperatura media superficial global de 1,1 °C en 2011-2020 por encima de la media durante 1850-1900. Pero aún, para la Península Antártica (AP), se ha detectado un calentamiento atmosférico más elevado, siendo este de 3,5 °C durante el último siglo (Morris y Vaughan, 2003).

La desintegración de plataformas de hielo en Antártida ha dejado expuestos a los glaciares a ablación por calving y contracción (Rignot et al., 2004). Nos alarma el reciente cambio climático, dado que el hielo marino parece mantener en equilibrio a los glaciares que contiene al igual que pasa con las plataformas de hielo (Thomas, 1979), si tenemos en cuenta el calentamiento mencionado, la evolución de él está en riesgo y, por lo tanto, la de los glaciares. Teniendo en cuenta que Antártida almacena el ~91% del volumen global de hielo y, entre todas las reservas de agua del mundo, los glaciares son las principales fuentes de agua dulce, la Antártida queda hoy como la mayor reserva de agua dulce del mundo en peligro.

Resultados

A partir del análisis de series temporales de imágenes satelitales (Landsat 7, Landsat OLI, Sentinel 2A, MODIS/Terra), pudo hacerse una reconstrucción detallada de la formación y

desintegración del hielo marino, así como una reconstrucción de la posición de los frentes glaciares situados en la ensenada de Larsen B, noreste de la Península Antártica, posterior a la desintegración de la plataforma de hielo en 2002 (Figura 1).

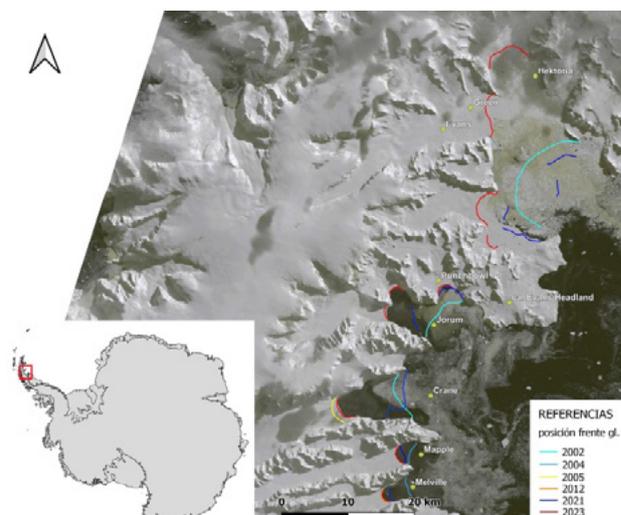


Figura 1.- Reconstrucción de los frentes glaciares en la ensenada Larsen B, Península Antártica, desde el año 2002 al 2023 (Sistema de Referencia: UTM 21S, WGS84).

En el año 2002 la plataforma de hielo Larsen B se desintegró abruptamente casi por completo, perdiendo ~3400 km² (~75% de su superficie), dejando un remanente de ~1230 km² (Larsen B') al sur. Desde ese año y hasta el año 2011 los glaciares de la bahía de Larsen B se encontraron en generalizado retroceso, registrándose pérdidas de longitud total, tomadas en el eje de flujo de los glaciares, de: 10.3 km en la cuenca Hektoria-Green-Evans (HGE); 4 km en el glaciar Melville; 1.7 km en el glaciar Mapple; 9.7 km en el glaciar Crane, 2.75 km en el Punchbowl, 6.6 km en el glaciar Jorum sur y 7.4 km del frente del glaciar Jorum norte. Esto está relacionado con las condiciones de hielo marino (Tabla 1), en donde el hielo marino que se formaba en los inviernos de dicha década se desintegraba casi por completo durante los veranos de la misma. A partir del verano 2011-2012 se observó que la formación de hielo marino se consolidó y se mantuvo ininterrumpidamente hasta el verano 2021-2022. Durante esta segunda década los glaciares ubicados en la ensenada Larsen B se hallaron en constante avance año tras año, registrándose avances, tomados en los ejes de flujo de los glaciares, de: 14.5 km en la cuenca Green-Evans; 12.7 km en el glaciar Hektoria; 1.18 km en glaciar Melville; 0.83 km en el glaciar Mapple, 11.17 km en el glaciar Crane, 0.5 km en el glaciar Punchbowl, 3.8 km en el glaciar Jorum sur y 1.4 km en el glaciar Jorum norte. En enero del 2022 se observó que la concentración de hielo marino disminuyó pronunciadamente. Coincide con éste fenómeno el acelerado retroceso que registraron en los glaciares de la ensenada Larsen B ese verano. Si bien posteriormente los frentes se vieron estabilizados durante el invierno austral del año 2022, nuevamente entraron en un acelerado retroceso durante el verano 2022-2023, lo que nuevamente coincidió con la escasez de hielo marino en la ensenada de Larsen B. Esto implicó que en los últimos dos años la cuenca Green-Evans pierda una longitud de 17.53 km, el

glaciar Hektoría 18.8 km, el glaciar Melville 1.1 km, el glaciar Mapple 1.14 km, el glaciar Crane 9.9 km, el glaciar Punchbowl 0,5 km el glaciar Jorum sur 4.2km y el glaciar Jorum norte 1.75 km, longitudes medidas en sus ejes de flujo.

Tabla 1.- Concentraciones anuales mínimas de Hielo Marino (SIC por sus siglas en inglés), del período 2002-2023, en la ensenada de Larsen B, expresados en décimos.

Verano	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09
SIC	8/10	1/10	2/10	1/10	1/10	9/10	1/10
Verano	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
SIC	9/10	1/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
Verano	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23
SIC	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	2/10	1/10

Se determinó que durante los meses de marzo y abril del 2023 la mayoría de los glaciares que desembocan en la ensenada de Larsen B han experimentado su máximo retroceso desde que la plataforma de hielo Larsen B se desintegró, a excepción del glaciar Crane, el cual tuvo su máximo retroceso en el año del 2005 influenciado por fenómenos locales vinculados a su morfología de fondo (Scambos et al., 2011) y el glaciar Melville que en el año 2011 llegó a su máxima contracción, pero solamente 100 m por detrás del retroceso de abril del 2023.

Por otro lado, se obtuvo la acumulación anual de las temperaturas medias diarias positivas estivales (Σ PDDS por sus siglas en inglés; Braithwaite & Olesen, 1985) de los últimos 21 años de la Base Marambio (Figura 2). Los meses estudiados fueron diciembre, enero y febrero, dado que en general, durante esta época del año, el hielo marino presenta su máxima contracción y luego comienza a re-generarse. Cabe mencionar que los años indicados conciernen al verano de ese año, por ejemplo.: diciembre 2022, enero y febrero 2023 corresponden al 2023.

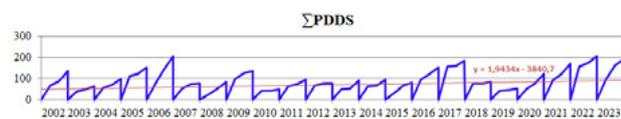


Figura 2.- Curva de las acumulaciones anuales de las temperaturas positivas de los meses diciembre, enero, y febrero (línea azul). Línea de tendencia del período 2002-2023 (línea roja). Fuente de datos: Estación Meteorológica Marambio, Servicio Meteorológico Nacional.

Las temperaturas positivas muestran una tendencia general positiva desde el año 2002 al 2023. Dado que no es posible reconocer agrupamientos de datos, se optó por definir tres períodos, en función del estudio en la permanencia o carencia de hielo marino, a los cuales se determinaron los promedios de las temperaturas y los promedios de las temperaturas positivas de los meses diciembre, enero y febrero (Tabla 2). Se determinó que el período 2002-2011 fue más cálido que 2012-2021 y el 2022-2023 fue el más cálido de los tres.

Tabla 2.- Promedios de las temperaturas estivales y las temperaturas exclusivamente positivas estivales de los períodos 2002-2011, 2012-2021 y 2022-2023, concentración de hielo marino (SIC por sus siglas en inglés) y condición de los glaciares durante los mismo períodos.

Período	Temp. prom.		SIC	Condición glaciar
	estival	(+) estival		
2002-2011	-0,97	0,72	alternante	retroceso
2012-2021	-1,69	0,56	permanente	avance
2022-2023	0,34	1,34	desintegrado	retroceso acelerado

Discusión

En marzo del 2023 Earth Observatory de la NASA publicó una

nota en la que hace referencia al nuevo mínimo histórico en la concentración del hielo marino en Antártida (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/151093/antarctic-sea-ice-reaches-another-record-low>), dado el 13 de febrero de 2023, en el que hielo marino antártico se redujo a 1,79 M Km², superando al record que se registró durante febrero del 2022 de 1.96 M Km² (Raphael y Handcock, 2022).

A partir del análisis de las temperaturas de los últimos 21 años, se determinó una alta relación entre la desintegración del hielo marino y las sumas anuales de las temperaturas positivas estivales.

Consideramos necesario mantener un constante monitoreo tanto de las condiciones de hielo marino y la posición de los frentes glaciares así como las condiciones meteorológicas, ampliando el análisis a otros factores como ser vientos locales, precipitación, entre otros, y expandir los estudios a otras regiones vulnerables.

Teniendo en cuenta las tendencias de la temperatura y las predicciones a largo plazo del clima y su relación con las actividades antrópicas, en particular la emisión de gases de efecto invernadero, creemos necesaria la implementación de políticas para la adaptación y mitigación del cambio climático. Si estos ambientes continúan con su curso actual, una de las principales reservas de agua dulce del mundo se reducirá considerablemente.

Conclusiones

Inferimos, a partir de lo expuesto, que el hielo marino actúa como protector de la ablación glaciar frontal como sucede con las plataformas de hielo permitiendo que los glaciares avancen o se mantengan estables, en contraposición con la ruptura del hielo marino, que implica una exposición a oleaje y desprendimientos del frente glaciar al mar abierto.

Si bien aún no se pueden sacar conclusiones exactas de cuáles son las razones por las que el hielo marino llegó a su mínimo, se estima que las elevadas temperaturas son las responsables de las pérdidas en la concentración de hielo marino o falta de formación de él.

Referencias

- Braithwaite, R., R. J., & Olesen, O. B.** (1985). "Ice ablation in West Greenland in relation to air temperature and global radiation." *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 200/1984, 155-168.
- IPCC** (2021). "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis." Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. In Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Raphael, M.N. & Handcock, M.S.** (2022). "A new record minimum for Antarctic sea ice." *Nat Rev Earth Environ* 3, 215-216. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00281-0>
- Rignot, E., Casassa, G., Gogineni, P., Krabill, W., Rivera, A., & Thomas, R.** (2004). "Accelerated ice discharge from the Antarctic Peninsula following the collapse of Larsen B ice shelf". *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18401, doi:10.1029/2004GL020697.
- Scambos, T., Berthier, E., & Shuman, C.** (2011). "The triggering of subglacial lake drainage during rapid glacier drawdown: Crane Glacier, Antarctic Peninsula". *Annals of Glaciology*, 52(59), 74-82. doi:10.3189/172756411799096204
- Thomas, R.** (1979). "Ice Shelves: A Review". *Journal of Glaciology*, 24(90), 273-286. doi:10.3189/S0022143000014799

EVALUACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDES Y GRISES BASADA EN MODELOS DE SIMULACIÓN ACOPLADOS 1D/2D PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES URBANAS

Carlos Martínez ¹, Arlex Sánchez ², y Zoran Vojinovic ²

¹ Programa de Ingeniería Civil - Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta - Colombia
Cra 32 No. 32-02, Tel: 605 - 4365000 Ext. 2291
cmartinez@unimagdalena.edu.co

² Departamento de Abastecimiento de agua, Saneamiento e Ingeniería Ambiental, IHE-Delft, Instituto para la Educación del Agua,
Países Bajos, Westvest 7, 2611 AX Delft, Tel: +31 (0)152151715
a.sanchez@un-ihe.org, z.vojinovic@un-delft.org

Introducción

Previos estudios han demostrado que las infraestructuras verdes y grises son soluciones rentables para gestionar el riesgo de inundaciones y, al mismo tiempo, ofrecen una serie de beneficios adicionales. Sin embargo, poco trabajo se ha centrado en la cuantificación del rendimiento de estas infraestructuras teniendo en cuenta la física del mundo real como es el proceso de lluvia-escorrentía e infiltración en el flujo terrestre y su interacción con una red de alcantarillado.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una evaluación de infraestructuras verdes y grises basada en modelos de simulación acoplados 1D/2D para la mitigación de inundaciones urbanas. Para lograr esto, se han propuesto tres componentes de modelación para formar la estructura del marco de evaluación. Los dos primeros componentes proporcionan un número óptimo de unidades de infraestructura verde distribuidas dentro de la cuenca e infraestructuras grises óptimas, como son los diámetros de las tuberías y el área de los tanques de almacenamiento, respectivamente. El tercer componente evalúa las infraestructuras óptimas verdes y grises combinadas en función del cálculo de la infiltración y la escorrentía de lluvia contabilizados en un dominio de modelo 2D. Este marco se aplicó en una cuenca urbana de la ciudad de Dhaka (Bangladesh) donde se evaluaron diferentes infraestructuras verdes y grises en relación con los daños por inundaciones y los costos de inversión. Estas soluciones implementadas por separado tienen un impacto en la reducción de daños y costos de inversión. Sin embargo, su combinación ha demostrado ser la mejor acción por seguir. Finalmente, se evidencia que la inclusión de los procesos de infiltración y escorrentía de lluvia junto con la representación de las infraestructuras verdes dentro de un modelo bidimensional mejora el análisis de las infraestructuras verde-gris óptimas y, a su vez, permite evaluar el sistema de drenaje de manera integral.

Materiales y Métodos

Se han desarrollado tres componentes de modelación para formar la metodología de la evaluación. El primer componente sigue el trabajo presentado por los mismos autores en Martínez et al. (2018a). Su objetivo es obtener una configuración óptima del sistema de Infraestructuras Verdes (IV) para la reducción de inundaciones urbanas (es decir, el número de unidades de IV distribuidas dentro de la cuenca con un área impermeable a tratar en términos porcentuales). Con las IV distribuidas en la cuenca, este componente busca un conjunto óptimo de soluciones de IV mediante la determinación de compensaciones entre los daños por inundaciones y los costos de inversión. El costo de los daños por inundaciones se ha calculado en función de la inundación de cada nodo en particular (i.e. pozo del sistema de drenaje). El costo de inversión de cada IV está relacionado con el número total de unidades de IV que se implementarán en cada subcuenca multiplicado por su costo de implementación. Se encontró que el costo total de inversión del proyecto utilizando este número máximo de infraestructuras verdes (unidades IV) fue de \$ 10 millones de dólares. Este valor se obtuvo de acuerdo con el número

máximo de unidades de cada tipo de IV y su correspondiente costo unitario. Este componente es una red de alcantarillado unidimensional - 1D construida en el software SWMM 5.1. Las IV se implementaron en su módulo de control LID. SWMM resuelve las ecuaciones de Saint Venant que gobiernan el flujo dinámico del agua a través de una red de drenaje de canales y tuberías convirtiendo las ecuaciones en un conjunto explícito de ecuaciones en diferencias finitas (Rossman, 2017).

El segundo componente sigue el trabajo presentado por los mismos autores en Martínez et al. (2018b). Las infraestructuras grises evaluadas combinan la Rehabilitación de Tuberías (RT) y un Sistema de Almacenamiento Distribuido (SAD) con el fin de obtener diámetros óptimos de tubería y área de almacenamiento óptima para la reducción de inundaciones. Con estas soluciones grises distribuidas en la cuenca, este componente busca un conjunto de soluciones (Pareto óptimo) al cuantificar las compensaciones entre los daños por inundación (calculado en un dominio computacional bidimensional - 2D) y los costos de inversión. La estimación del costo de los daños por inundación se llevó a cabo sobre la base de la profundidad máxima de la inundación en la superficie terrestre (es decir, los costos de los daños en cada celda de la cuadrícula del modelo 2D calculado utilizando la profundidad máxima del agua en las celdas [i, j]). El costo de inversión se calculó incluyendo el costo de construcción del almacenamiento más una suma de cada longitud de tubería multiplicada por el costo de esa tubería en particular según su diámetro. Se encontró que el valor máximo de las infraestructuras grises (RT + SAD) es del orden de \$ 22,3 millones de dólares.

Este componente utiliza el modelo de red de alcantarillado 1D junto con un modelo 2D sin inercia. Este modelo acoplado utiliza un enfoque tradicional en el que toda la hidrología de la cuenca se calcula en un modelo 1D (es decir, se excede la capacidad de la red de tuberías, el exceso de flujo es vertido en el dominio del modelo 2D desde las alcantarillas y luego éste es enrutado).

El tercer componente incluye el proceso de infiltración y escorrentía de lluvia en el flujo terrestre y su interacción con el sistema de alcantarillado. El modelo 2D representa la topografía urbana por las elevaciones del terreno en los centros y límites de las celdas en una cuadrícula cartesiana rectangular. También determina los niveles de agua en los centros de las celdas y las descargas (velocidades) en los límites de las celdas. Las ecuaciones de conservación de masa y momento (las ecuaciones de Saint Venant) dadas en forma discretizada fueron escritas como un algoritmo computacional en lenguaje C++ aplicando el esquema implícito de dirección alterna (algoritmo ADI).

La escorrentía superficial directa resultante de un determinado hietograma de exceso de lluvia se obtuvo aplicando el método del Hidrograma unitario UH-SCS. El método UH-SCS es un Hidrograma unitario sintético, en el que la descarga se expresa por la relación entre la descarga q y la descarga máxima qp y el tiempo por la relación entre el tiempo t y el tiempo pico del Hidrograma unitario, Tp . Dado el pico de descarga y el tiempo de retraso durante la duración del exceso de lluvia, el Hidrograma unitario puede estimarse a partir del Hidrograma sintético adimensional.

El Hidrograma correspondiente se utilizó como una condición de frontera de flujo de entrada en el dominio 2D. Significa que se permite que el agua fluya hacia el dominio del modelo en cualquier celda.

Un algoritmo de infiltración basado en el método Green y Ampt se codificó en el modelo 2D (llamado después Surf-2D). La infiltración se obtuvo teniendo en cuenta la velocidad calculada a la que el agua ingresa al suelo (tasa de infiltración) en la celda de la cuadrícula correspondiente (área de la cuadrícula) por unidad de tiempo utilizando el método Green-Ampt. El modelo Surf-2D se acopló luego con el código fuente abierto SWMM 5.1 a través de una serie de llamadas creadas dentro de una biblioteca de enlaces dinámicos: DLL. Como se indicó anteriormente, la escorrentía superficial directa resultante de un hietograma de exceso de lluvia dado se agregó directamente al modelo Surf-2D, por lo que SWMM calcula el flujo dinámico de la red de alcantarillado y no se utilizó su módulo de escorrentía hidrológica (Martínez et al., 2021a).

Se han evaluado las infraestructuras óptimas verdes y grises combinadas seleccionadas obtenidas de los componentes correspondientes 1 y 2. Las infraestructuras verdes óptimas se representaron en el modelo Surf-2D. Para ello, se utilizó el porcentaje óptimo de área impermeable a tratar obtenido del componente 1 del modelo para asignar una conductividad hidráulica específica (k) del suelo (es decir, el valor k asignado para cada celda de la cuadrícula). Los valores k se seleccionaron del tipo de uso del suelo correspondiente y los datos de infiltración del trabajo de campo del estudio de Uddin (2014). Las infraestructuras grises óptimas se simularon en el modelo de alcantarillado 1D teniendo en cuenta los diámetros óptimos de las tuberías y el tamaño del almacenamiento obtenido del componente 2 del modelo. El modelo 1D inicialmente no tiene agua para simular el drenaje del flujo superficial al sistema.

Resultados

Con las infraestructuras verdes (IV) es posible minimizar el costo de los daños al 65% mediante una inversión de \$ 3 millones (solución s1). Sin embargo, los daños por inundaciones no se reducen a cero y para una inversión de más de \$ 3 millones, la reducción del costo de los daños se hace despreciable. El número óptimo de infraestructuras verdes encontradas fue 86 dividido de la siguiente manera: 39 unidades de celdas de bioretención (BR), 31 unidades de zanja de infiltración (IT), 15 unidades de zanja vegetativa (VS) y 1 unidad de pavimento poroso (PP).

Los resultados también muestran que las infraestructuras grises pueden reducir el costo de los daños a cero para diferentes niveles de inversión. Con una solución (s2) se logra un costo máximo de daños de \$ 1.5 millones frente al obtenido con IV (\$ 2.35 millones). Se puede observar que, para una protección total contra daños por inundaciones, se necesita realizar una inversión entre \$ 2.7 y \$ 3.0 millones. De manera similar que, para la IV, se seleccionó una solución de daño distinto de cero para fines de comparación. La solución s2 reduce los daños al 70% con una inversión de \$ 2.7 millones (Martínez et al., 2021b).

Con las infraestructuras verdes óptimas representadas en el dominio 2D (solución s1), el costo del daño calculado, incluida la lluvia-escorrentía, el cálculo de la infiltración contabilizado en el Surf-2D y su interacción con la red de alcantarillado, resultó ser de \$ 1.4 millones. Este valor es un 22% menor en comparación con el valor del costo del daño obtenido originalmente de la solución seleccionada s1 (\$ 1.8 millones). El costo de inversión calculado para esta solución fue de \$ 3 millones. Las medidas óptimas verdes seleccionadas (solución s1) se han representado en el dominio 2D, mientras que las medidas óptimas grises (solución s2) se implementaron en el modelo de alcantarillado 1D. En general, se observa una reducción en la profundidad y extensión de las inundaciones. La inclusión del cálculo de infiltración en el modelo Surf-2D reduce los valores de profundidad de inundación. También

se nota el impacto de las infraestructuras combinadas verde-gris. En las regiones de Kakrail, Pirjangi majar y Purana paltan del caso de estudio, se logró una reducción de la profundidad de la inundación a cero en algunos lugares. Este impacto también se puede asociar con la conductividad hidráulica asignada (k) del suelo para cada celda de la grilla en estas regiones de acuerdo con los valores obtenidos para las texturas del suelo arenoso y arcilloso en la parte oriental de la ciudad de Dhaka de 1.0 mm / h a 1.5 mm / h (Uddin, 2014). Esto también se debe a la posibilidad de simular el flujo terrestre que drena de regreso al sistema de drenaje.

Con las infraestructuras óptimas combinadas verde-gris (soluciones s1 + s2), se encontró que el costo de daños por inundaciones calculado es de \$ 0.97 millones para un nivel de inversión igual a \$ 5.5 millones. Estos resultados muestran una reducción del costo de daños del 75% en comparación con el valor obtenido al implementar solo infraestructuras verdes (reducción del costo de daños del 65%) (Martínez et al., 2021b).

Como se esperaba, los resultados anteriores muestran que, en algunos casos, las diferencias entre la extensión de la inundación, la profundidad de la inundación y la estimación del costo de los daños de diferentes enfoques pueden ser significativas. Por lo tanto, esta evaluación basada en el cálculo de la infiltración y la escorrentía de lluvia contabilizada en el modelo Surf-2D propuesto y su interacción con la red de alcantarillado es más cercana a la física del mundo real y es probable que produzca resultados más precisos. (para mayores detalles de estos resultados presentados se recomienda al lector consultar, Martínez et al., 2021b)

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran en términos cuantitativos cómo se puede mejorar sustancialmente el análisis de desempeño de las infraestructuras verde-gris para la mitigación de inundaciones a través de esta evaluación basada en modelos. Cuando se incluyen procesos de infiltración y escorrentía de lluvia dentro de un dominio de modelo 2D junto con su interacción con un sistema de alcantarillado, los resultados de los costos de daños difieren de los otros enfoques presentados. En el caso analizado aquí, podría haber una sobreestimación de este costo (alrededor del 23%) si las infraestructuras verdes están completamente representadas en un enfoque de modelado 1D. De manera similar, podría haber una subestimación incluso si se toma en consideración el flujo superficial, pero la hidrología de la cuenca se calcula completamente en un dominio 1D (alrededor del 8%). Por lo tanto, el impacto directo de la lluvia-escorrentía y la infiltración permite reproducir la física del mundo real al identificar las mejores soluciones verde-gris para mejorar la gestión del riesgo de inundaciones urbanas.

Referencias

- Martínez, C. Sanchez, A. Galindo, R. Mulugeta, A. Vojinovic, Z. Galvis A. (2018a). Configuring Green Infrastructure for Urban Runoff and Pollutant Reduction Using an Optimal Number of Units. *Water* 10(11) 1528 - 1548, 2018. doi: 10.3390/w10111528
- Martínez, C. Sánchez, A. Toloh, B. Vojinovic, Z. (2018b). Multi-objective evaluation of urban drainage networks using a 1D/2D flood inundation model. *Water Resources Management*. 32 (13), 4329-4343. doi: 10.1007/s11269-018-2054-x
- Martínez, C. Vojinovic, Z. Price, R. Sanchez, A. (2021a). Modelling infiltration process, overland flow and sewer system interactions for urban flood mitigation. *Water* 2021, 13, 2028. doi:10.3390/w13152028
- Martínez, C. Vojinovic, Z. Sánchez, A. (2021b). Multi-objective model-based assessment of green-grey infrastructures for urban flood mitigation *Hydrology* 2021, 8, 110. doi:10.3390/hydrology8030110
- Rossman, L. (2017). Storm Water Management Model Reference Manual Volume II—Hydraulics; EPA/600/R-17/111; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.
- Uddin, Z. (2014). Impact of urbanization on hydrological processes: A case study in the Eastern Part of Dhaka city. Institute of Water and Flood Management

DETERMINACIÓN DE CURVA H-Q MEDIANTE VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES A GRAN ESCALA (LSPIV), CASO RÍO COSQUÍN, CÓRDOBA

Martos Aragón Augusto E.^a, Contreras L. Lautaro^a, Rigatuso Agustina^a, Arellano Imanol^a, De Guernica Juan M.^a, Massó Leandro^{a,b}, Tarrab Leticia^a, Antoine Patalano^{a,b}, García C. Marcelo^{a,b}, Rodríguez Andrés^{a,b}.

^a LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
^b IDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFYn, Córdoba, Argentina.
E-mail: augustomartos7@mi.unc.edu.ar

Introducción

La correcta caracterización hidrológica de un curso fluvial resulta de vital importancia para una adecuada gestión del recurso hídrico. Dentro de la multiplicidad de variables hidrológicas existentes, la que reviste mayor importancia es el caudal líquido. Sin embargo, esta variable resulta difícil de cuantificar.

Por tal motivo, resulta conveniente relacionarlo con otra variable cuya medición pueda efectuarse de forma más sencilla. Es así como las curvas de descarga se han convertido en una herramienta mundialmente aceptada para la gestión del recurso hídrico, dado que relacionan de manera biunívoca la altura de superficie libre (H) y el caudal líquido (Q) en una sección transversal específica de un curso de agua. Una vez establecida dicha relación, se puede conocer el valor del caudal a través de la simple medición de la altura de la superficie libre del flujo.

Su confección requiere del aforo de los caudales que atraviesan la sección seleccionada, en conjunto con la altura de superficie libre correspondiente. Estas mediciones deben abarcar el rango típico de comportamiento hidrológico del curso fluvial, así como también eventos extremos, tanto períodos de estiaje como crecidas extraordinarias. Este requerimiento obstaculiza el aforo mediante métodos convencionales e hidroacústicos, ya que estos son intrusivos o requieren la presencia del operador en el sitio, lo cual, durante crecidas, comprometería su integridad física.

Por estos motivos, han cobrado importancia las técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre durante condiciones hidrológicas extremas (Fujita, 1998; Patalano, 2017). Particularmente, la Velocimetría por Imágenes a Gran Escala (LSPIV, por sus siglas en inglés), forma parte de dichas técnicas.

No obstante, una curva de descarga lleva implícita ciertas hipótesis que, en flujos impermanentes, no son representativas de la realidad física. De hecho, el concepto de una única curva de descarga para una estación dada es teóricamente erróneo (Fenton & Keller, 2001). Son muchas las incertidumbres asociadas tanto a la física de los controles en un lecho, como a las mediciones de la técnica empleada. Por lo que adoptar un enfoque probabilístico que contemple dichas incertidumbres resulta imprescindible para lograr una representación más precisa y fiel de la realidad.

En este trabajo se presenta la determinación de una curva de descarga utilizando aforos obtenidos mediante LSPIV. Para esto, se empleará el software computacional BaRatinAGE (Le Coz et al., 2014), el cual utiliza inferencia Bayesiana, permitiendo la incorporación de una componente física en el ajuste y la determinación directa de los intervalos de confianza asociados.

Área de estudio y Metodología

El área de estudio se trata de la Estación Fija de LSPIV para el monitoreo del río Cosquín perteneciente a la red de monitoreo de la Administración de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, ubicada en la localidad de Santa María de Punilla. En el lugar se dispone de un sensor radar de altura de superficie libre del flujo. Además, se cuenta con información topográfica de secciones transversales y una nube de puntos de referencia necesaria para el proceso de rectificación de resultados de LSPIV

en 3D denominados GRPs (Figura 1). Para la confección de la curva, se seleccionó la sección transversal N°3 (CS3) debido a la cercanía con la cámara de forma de tener una mayor resolución.



Figura 1.- Ubicación de las secciones y nube de puntos de referencia en río Cosquín.

En la Figura 2, puede visualizarse la batimetría resultante de la CS3 junto con las alturas del sensor (H_{Sensor}).

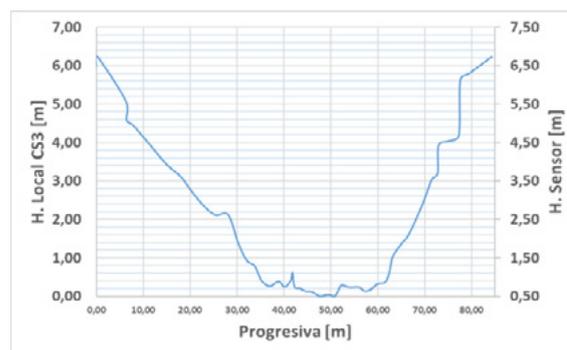


Figura 2.- Batimetría de la CS3.

La Estación Fija registró 172 videos durante eventos de crecidas ocurridos entre diciembre de 2022 y febrero de 2023. Los mismos fueron procesados para la estimación del caudal mediante el paquete computacional RIVeR (Patalano, 2017). Luego, se procedió a calificar los videos en 4 categorías cualitativas según tipo y grado de rugosidad superficial. Las calidades varían desde “Muy buena” con una incertidumbre del 10%, “Buena” con un 15%, “Mala” con un 20% y “Muy Mala” con un 30%. Aunque se descartaron estos últimos por su baja calidad. Con dichos aforos se construyó una curva de descarga ($H_{Sensor}-Q$) realizando una regresión de una ecuación potencial clásica (Ec. [1]) utilizando la metodología propuesta por (Fenton & Keller, 2001).

$$Q = C(H - H_0)^n \quad [1]$$

Donde H_0 es un nivel hipotético de caudal nulo, y C y n parámetros de ajuste. Posteriormente se utilizó BaRatinAGE para la estimación de curvas de descarga con incertidumbres asociadas. Su método se basa en el análisis hidráulico de la estación hidrométrica y en la estimación Bayesiana de la curva de descarga. Para obtener dicha curva, el usuario debe proponer, en base a un estudio físico de la sección, controles hidráulicos y parámetros “a priori” tales como su nivel de activación (k), un parámetro que describe las propiedades físicas del control (a) y uno asociado a la geometría del mismo (c), que puedan ser

representativos de la sección de análisis. Luego, BaRatinAGE correlacionará esta configuración hidráulica con los aforos y sus incertidumbres correspondientes. Con estos inputs, el programa devolverá una curva HQ “*a posteriori*” con sus incertidumbres paramétricas y totales para un intervalo de confianza del 95% junto con otros datos que reflejan la calidad del ajuste. En este trabajo, a modo de un análisis de sensibilidad sencillo, se propusieron 7 configuraciones “*a priori*” diferentes, que se detallan en la Tabla 1. Se utilizaron tamaños de los controles representativas de la geometría de la sección, valores de Manning del orden de 0,04, y pendiente de fondo del orden de 0,003.

Tabla 1.- Configuraciones hidráulicas analizadas en BaRatin.

N°	Control 1	Control 2	Actúan juntos
1	Rectangular	-	-
2	Triangular	-	-
3	Parabólico	-	-
4	Rectangular	Rectangular	No
5	Parabólico	Rectangular	No
6	Rectangular	Rectangular	Sí
7	Parabólico	Rectangular	Sí

Resultados

A partir de la metodología clásica de regresión de una ecuación potencial se obtuvieron los siguientes valores de parámetros de la Ec. [1]: $H_0 = 0,93$, $C = 46,8$ y $n = 2,05$. El ajuste resultante puede visualizarse en la Figura 3. Debido a características propias de la metodología empleada, este ajuste presenta la limitación de que no puede ser extrapolado. A su vez, en la misma figura se grafican las curvas más probables obtenidas de BaRatinAGE para cada una de las configuraciones analizadas. Se observa un comportamiento similar para todas ellas en el rango en donde se dispone de aforos de LSPIV, a excepción de la configuración 1 que presenta una subestimación en comparación al resto. En la zona de extrapolación de las curvas para niveles elevados, si bien existe cierta dispersión de las curvas, esta no es significativa.

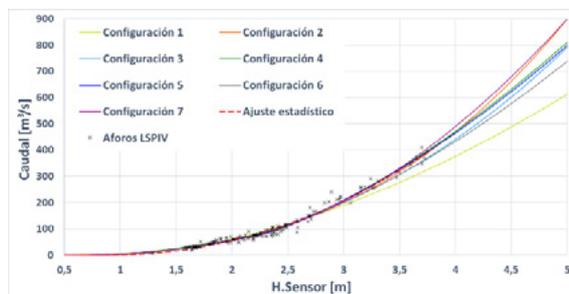


Figura 3.- Comparación de curvas de descarga obtenidas y aforos de LSPIV disponibles.

En base a un análisis de estos resultados en relación a los aforos y un estudio de la representatividad física de los controles, se preseleccionaron las curvas “*a posteriori*” correspondientes a las configuraciones N°4, N°5 y N°7 por presentar resultados más prometedores.

Posteriormente, se procedió a realizar una comparación entre ellas en lo que respecta a la amplitud de sus incertidumbres y un análisis de sensibilidad del software para asegurar una satisfactoria representatividad de las curvas, tanto en los niveles donde se cuenta con aforos como en la zona de extrapolación. Se encontró que la Configuración N°4 es la más apropiada por diversos motivos. Aunque presenta una amplitud levemente mayor en sus incertidumbres, la correlación entre la configuración *a priori* y la curva *a posteriori* resultante es más sólida, lo que aumenta la confiabilidad de su capacidad de extrapolación por estar representando adecuadamente el

comportamiento físico según tipo y cantidad de controles definidos. Esto significa que se puede tener mayor confianza en los resultados obtenidos al utilizar esta configuración para proyectar y estimar valores de caudales a niveles más elevados. Los parámetros *a posteriori* de dicha curva de descarga, junto con sus rangos de incertidumbres del 95% se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Parámetros *a posteriori* con sus incertidumbres.

	Parámetro k	Parámetro a	Parámetro c
Control 1	$0,77 \pm 0,03$	$41,3 \pm 1,88$	$1,64 \pm 0,02$
Control 2	$2,36 \pm 0,04$	$97,7 \pm 4,6$	$1,66 \pm 0,02$

La curva de descarga resultante, se muestra en la Figura 4 junto con sus incertidumbres paramétricas y totales.

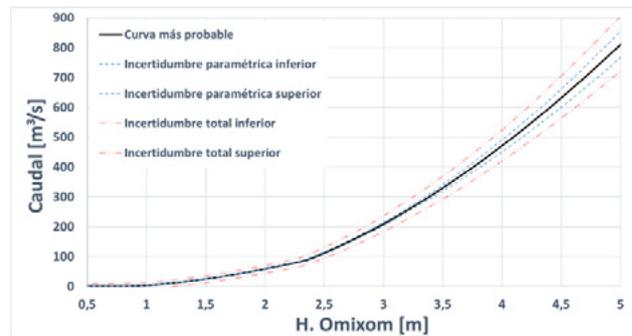


Figura 4.- Curva de descarga resultante con sus incertidumbres paramétrica y total.

Conclusiones

Se realizó el ajuste de una curva de descarga para una sección de un cauce fluvial de montaña a partir de datos medidos de caudal mediante una estación fija de LSPIV. Se realizó un ajuste estadístico clásico de la curva de descarga con una ecuación potencial, y ajustes probabilísticos por inferencia Bayesiana a partir de BaRatinAGE. Se observó que, debido a la gran cantidad de aforos disponibles, y a la simplicidad de la geometría de la sección, las diferencias entre el ajuste clásico y probabilístico para diferentes configuraciones hidráulicas *a priori* no fueron significativas. Sin embargo, el método de ajuste por inferencia Bayesiana resulta una herramienta de gran potencial no solo por intentar representar la física de manera directa, si no también que su resultado incluye un intervalo de confianza. Esto último es de vital importancia para los organismos de gestión de los recursos hídricos, en especial donde la disponibilidad de información hidrológica es escasa. Por tales motivos, líneas de investigación futuras incluyen la automatización del proceso de inferencia Bayesiana para estaciones fijas, permitiendo de esta manera una actualización constante de las relaciones altura caudal.

Referencias Bibliográficas

- Fenton, J. D. & Keller, R. J. (2001). “The Calculation of Streamflow from Measurements of Stage”. *Catchment Hydrology*.
- Fujita, I., Muste, M., Kruger, A., (1998). “Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications”. *Journal of Hydraulic Research*.
- Patalano, A. (2017). “Desarrollo e implementación a gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre”. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba.
- Le Coz, J., Renard, B., Bonnifait, L., Branger, F., Le Boursicaud, R. (2014) “Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: a Bayesian approach”. *Journal of Hydrology*.

RIESGO ANTE TORRENCIALIDAD EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES A INICIOS DEL S.XXI

Nelson Patricio Massachesi¹ y Castro-Díaz, Ricardo²

¹Instituto de Geografía Romualdo Ardissonne (Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires)- CONICET-, Puán 480 (CABA, C.P 1406; Argentina), 005411- 5287-2896, nelsonmassachesi@gmail.com

² Escuela de Planeación Urbano-Regional Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín –.

Resumen

En el marco de los estudios ambientales el riesgo se liga a eventos en pos de la relación entre una amenaza (producto de la dinámica geofísica de la Tierra) y la vulnerabilidad social. El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis espacial sobre el riesgo ante eventos de origen climático considerando la torrencialidad y vulnerabilidad social en los 135 partidos de la Provincia de Buenos Aires en el s.XXI. Metodológicamente, la amenaza fue operacionalizada mediante el R95pT, un indicador de torrencialidad que mide la cantidad de días al año con lluvias torrenciales por encima del percentil 95. La vulnerabilidad social fue tratada estadísticamente bajo el Índice de Vulnerabilidad Social ante el Desastre (IVSD) (Natenzon 2015). En cuanto a los resultados, el ángulo noreste de la provincia, sobre todo en el Gran Buenos Aires (GBA) y sus alrededores, concentra los valores de riesgo más altos dado que combina cifras elevadas en cuanto al R95pT y al IVSD.

Palabras clave: torrencialidad, vulnerabilidad, riesgo

Introducción

En los estudios ambientales, el riesgo ante un desastre se entiende como la probabilidad de ocurrencia de algún evento en torno a la relación entre una amenaza (producto de la dinámica geofísica de la Tierra) y la vulnerabilidad social. La amenaza puede variar en cuanto a su origen; Reboratti (2000), tras una sistematización de la temática, genera una distinción entre los desastres de origen geológico, climático, forestal, hídrico y zoológico.

En el año 2020, tras el reconocimiento global de la COVID-19, se registraron 40,5 millones de individuos desplazados a nivel mundial dentro del territorio de un mismo país: 9,8 millones (24,2% del total) se ligaron a episodios de violencia física y 30,7 millones (75,8%) a desastres de origen climático (lluvias torrenciales, ciclones, huracanes y tifones) y geológico (erupciones volcánicas y terremotos) donde el 97,7% se vincula al primero (GRID, 2021).

Considerando la implicancia de los fenómenos geofísicos originados en la atmósfera (climáticos), y entendiendo que la capacidad de respuesta de las poblaciones se liga a las condiciones sociales, el objetivo de este resumen es realizar un análisis espacial sobre el riesgo ante eventos de origen climático considerando la torrencialidad y vulnerabilidad social en los 135 partidos de la Provincia de Buenos Aires para el s.XXI comprendiendo que es el distrito más poblado y de mayor extensión superficial de la Argentina (17.875.743 - <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-24-85-305.907,4km2> - <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/DivisionPolitica-respectivamente>).

Método

La amenaza fue operacionalizada mediante el R95pT, un indicador de torrencialidad que mide la cantidad de días con lluvias por encima del percentil 95. Se trabajó con datos

correspondientes a cuadrículas de 0,5° de latitud x 0,5° de longitud tras simulaciones que se enmarcan en el periodo 2015-2039 cuya Representative Concentration Pathway (RCP) corresponde a 4,5 (Taylor, Stouffer y Meehl 2012 y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh 2013). RCP refiere a un conjunto de trayectorias referidas a rangos de forzantes radiativos que dependen de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera; se definen como la energía incrementada medida en Watts por metro cuadrado: el rango se encuentra entre 2,6 y 8,5 W m² para el fin del siglo XXI siendo RCP 4,5 y 6.0 los escenarios intermedios (IPCC 2022).

La vulnerabilidad fue tratada bajo el Índice de Vulnerabilidad Social ante el Desastre (IVSD) (Natenzon 2015); basado en información censal y estadísticas vitales, abarca diez variables que se enmarcan en tres dimensiones: social (población menor de 15 años, población mayor de 64 años, analfabetismo y mortalidad infantil), habitacional (hacinamiento crítico, hogares sin acceso a agua de red y hogares sin acceso a cloacas) y económica (jefe sin estudios secundarios, desocupación y hogares donde el jefe no tiene pareja). Los datos del IVSD se procesaron en base al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 alojados en <https://redatam.indec.gov.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2010B> siendo que los correspondientes a la mortalidad infantil se obtuvieron de deis.msaj.gov.ar.

El indicador de torrencialidad fue operado en torno a tres clases (bajo, medio y alto) mediante el procedimiento de cortes iguales. Su fórmula lógica se presenta a continuación:

$$\frac{X_{\min} \leq X \leq X_{\max}}{k}$$

!" !!! !!! ! !

[1]

donde “X_{mín}” es el valor mínimo, “X_{máx}” el mayor, “k” la cantidad de clases “a” la constante a sumar, “b” el primer valor crítico y así sucesivamente.

El IVSD utilizado en este resumen es el resultado de la combinación entre los valores absolutos de cada variable (IVSD absoluto), mediante la utilización de quintiles, y los relativos (IVSD relativo) a través del uso de cortes iguales. Los resultados se dividen en cinco grupos (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto). En lo que refiere al indicador de riesgo se articulará el R95pT con el IVSD conformando cinco clases mediante cortes iguales.

Los quintiles son valores críticos que separan al total de observaciones en partes teóricamente iguales. Los quintiles constan de 4 (cuatro) valores críticos que distinguen a la población en cinco clases. La fórmula de los cuantiles se explicita a continuación:

$$\frac{pc}{N} \leq X \leq \frac{(pc+1)}{N}$$

[2]

Donde “pc” es la proporción en la que el cuantil genera una separación y “N” el total de las observaciones (en el caso del primer cuantil, por ejemplo, la operación es 0,2* (135+1)).

Resultados

Las tres imágenes que se presentan a continuación constan de

documentos cartográficos donde se expone el comportamiento de cada indicador.

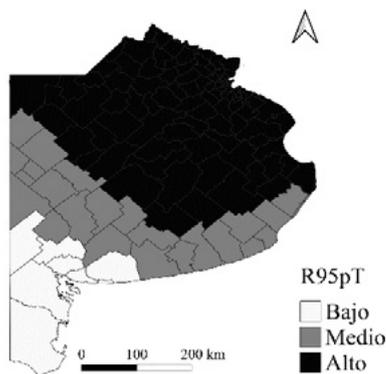


Figura 1.- Mapa de coropletas de R95pT para los partidos bonaerenses. Fuente: elaboración propia en base a Taylor, Stouffer y Meehl (2012) y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh (2013)

El R95pT muestra un claro patrón descendente de noreste a sudoeste siendo que la mayoría de los partidos se corresponden con la categoría “Alto” (102; ello implica un 57,25% de superficie).

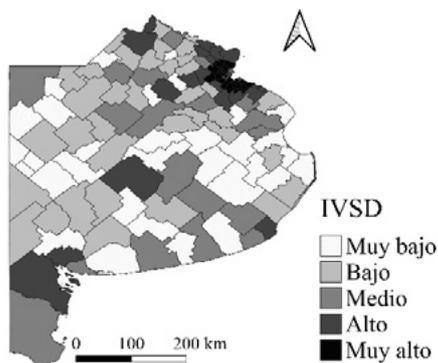


Figura 2.- Mapa de coropletas del IVSD para los partidos bonaerenses. Fuente: <https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2010B> y deis.msal.gov.ar

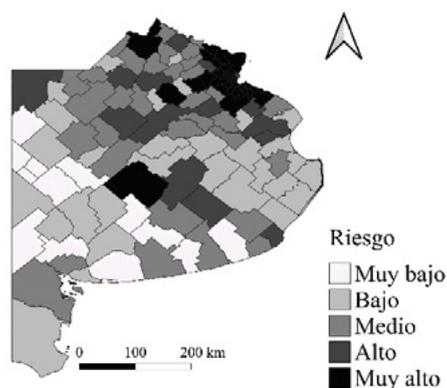


Figura 3.- Mapa de coropletas del riesgo de torrencialidad para los partidos bonaerenses. Fuente: <https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2010B>, deis.msal.gov.ar y Taylor, Stouffer y Meehl (2012) y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh (2013)

A diferencia del R95pT, el IVSD presenta valores más heterogéneos siendo que las cifras correspondiente a “Muy alto” se concentran hacia el noreste de la provincia donde se localizan los partidos del GBA que, por cierto, son los más poblados del espacio bonaerense.

El indicador de riesgo guarda mayor similitud con el IVSD que con R95pT; ello implica, sobre todo en la mitad septentrional de la provincia, que ante valores altos de torrencialidad los del IVSD son moderados a excepción, de modo general, del área del GBA.

Conclusiones

Los problemas ambientales están diseminados por todo el mundo y, obviamente, Argentina no es la excepción. La provincia de Buenos Aires expone un claro patrón descendente de noreste a sudoeste en cuanto a la torrencialidad siendo que el IVSD presenta mayor dispersión en cuanto a sus valores. La diferencia explicitada es responsable de que los resultados de riesgo ante torrencialidad sean heterogéneos espacialmente. La zona más afectada en cuanto al riesgo se ubica en el ángulo noreste de la provincia en coincidencia con los partidos del GBA. Esto último es clave puesto que en dicha área se emplaza el Aglomerado Gran Buenos Aires-Gran La Plata que es el de mayor dimensión demográfica a nivel nacional alcanzando el 36,2% del total país: 16.650.814 habitantes de acuerdo a los microdatos de la Encuesta Permanente de Hogares del tercer trimestre de 2022

(<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-Indec-BasesDeDatos>) sobre 46.044.703 (INDEC 2023) para todo el territorio argentino.

Referencias

GRID. (2021). *Internal Displacement in a Changing climate*. Internal Displacement Monitoring Center/Norwegian Refugee Council.

INDEC. (2023). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados provisionales*. INDEC. CABA, Argentina.

IPCC (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. PÖRTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LÖSCHKE, V. MÖLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Natenzon, C (2015). “Vulnerabilidad social. Amenaza y riesgo frente al cambio climático”; en *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Jefatura de Gabinetes de Ministros de Presidencia de la Nación/Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación/FMAM.

Reboratti, C (2000). *Ambiente y sociedad. Conceptos y relaciones*. Editorial Ariel. Buenos Aires. Argentina.

Sillmann, J., Kharin, VV, Zwiers, FW, Zhang, X & Bronaugh, D (2013). “Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 1/Part2: Model evaluation in the present climate”. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/jgrd.50203.

Taylor, K., Stouffer, RJ & Meehl, GA (2012) “An Overview of CMIP5 and the Experiment Design”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1.

LA SEQUÍA COMO FACTOR AMBIENTAL EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Nelson Patricio Massachesi¹

¹ Instituto de Geografía Romualdo Ardissonne (Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires)- CONICET; Puán 480 (CABA, C.P 1406; Argentina), 005411- 5287-2896, nelsonmassachesi@gmail.com

Resumen

El Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (SOBA) es un área que, además de su heterogeneidad interna y variación estacional, presenta condiciones de aridez y semiaridez. Entendiendo al agua dulce como un recurso crítico en las actividades agrarias, por cierto claves en la zona, un análisis de las sequías es de importancia al respecto. De este modo, el objetivo del trabajo es aproximarse a las sequías en el SOBA. Metodológicamente se acudió al CDD (consecutive dry days; días secos consecutivos en traducción castellana literal o máximo de racha seca como se lo conoce), un indicador de extremo climático que mide la cantidad de días con precipitaciones por debajo de 1 mm siendo que en este resumen se acudió a simulaciones enmarcadas en el período 2015-2039. En cuanto a los resultados, Patagones (el partido más austral y de mayor extensión superficial en el SOBA) posee el dato más alto con 31,56 días promedio por año con precipitaciones menores a 1mm en tanto que Saavedra está en las antípodas con 24 días; en clave causal, ni la latitud y longitud son explicativas de la estructura de los valores dado que el coeficiente de determinación (R^2) arroja 40,4% y 15,2% respectivamente.

Palabras clave: SOBA, actividades agrarias, sequías

Introducción

El SOBA está compuesto por los partidos de Bahía Blanca, Coronel Rosales, Tornquist, Saavedra, Coronel Pringles, Coronel Suárez, Adolfo Alsina, Guaminí, Puán, Villarino y Patagones (Hidalgo, 2020); ocupa 63.702,85 km² (<https://catalogo.datos.gba.gov.ar/dataset/partidos/archivo/99645069-8128-4433-845c-7a9ae6482f0f>) de los 305.907,4 km² del territorio bonaerense (<https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/DivisionPolitica>) configurando un 20,9% del total. En el período semestral octubre-marzo se registran los mayores valores de las precipitaciones alcanzado los 600 mm en la zona septentrional y manteniéndose por debajo de los 200 mm en el extremo meridional; el correspondiente a abril-septiembre expone una aproximación a los 300 mm y 150mm respectivamente (Cravero, Bianchi, Elena y Bianchi, 2017). Entendiendo al agua dulce como un recurso crítico en el plano productivo resalta el hecho que, de acuerdo a los datos del Censo Nacional Agropecuario del año 2018 (INDEC, 2021), el 84,2% de la superficie del SOBA está involucrada en actividades agrarias siendo que, de este modo, un análisis de las sequías es de importancia al respecto. En torno a ello, el objetivo del trabajo es aproximarse a las sequías en el SOBA en torno al CDD, un indicador que mide la cantidad de días con precipitaciones por debajo de 1 mm (Natenzon, 2015), en torno a simulaciones enmarcadas entre los años 2015-2039 (Taylor, Stouffer y Meehl, 2012 y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh, 2013).

Método

Los datos del CDD se obtuvieron de Taylor, Stouffer y Meehl (2012) y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh (2013). Los mismos se presentan en cuadrículas de 0,5° de latitud x 0,5°

de longitud; en este resumen se utilizaron las simulaciones que se enmarcan en el período 2015-2039. Dada la heterogeneidad de la superficie de los partidos involucrados en el área, en pos de la distribución de las observaciones del indicador, se optó por acudir a un promedio de días para cada partido independientemente del número de observaciones: Bahía Blanca y Coronel Rosales contienen un dato cada uno en tanto que Patagones y Villarino cinco; a Puán le corresponden tres al igual que Coronel Pringles, Coronel Suárez y Alsina siendo que, finalmente, a Tornquist, Saavedra y Guaminí dos (treinta en total; “Figura 1”). Los datos correspondientes al CDD se dividieron en cuatro grupos a modo de apreciar sus diferencias espaciales en torno a los cortes naturales de Jenks cuya característica básica es agrupar la información a modo de reducir la diferencia en cada clase.

Para tener una noción acerca del peso de las actividades agropecuarias en la zona, comprendiendo la importancia del agua en ellas, se obtuvieron datos del Censo Nacional Agropecuario del año 2018 (INDEC 2021) a modo de aproximarse a la superficie (por partido) correspondiente a explotaciones agropecuarias (EAP); éstas constan de las unidades estadísticas censales (siempre que empaten o superen los 500 m² y no excedan los límites de una provincia) en torno a dos condiciones excluyentes: la producción de bienes agrícolas, pecuarios o forestales dedicados al mercado (también se incluyen explotaciones ligadas al autoconsumo o investigación en caso de generar un excedente con fines mercantiles) y una única conducción que ejerza la gestión, reciba los beneficios y asuma los riesgos.

Resultados

En el SOBA, el CDD presenta un promedio de 27,07 días de sequía al año en lo que refiere al período 2015-2039; no obstante, hay diferencias internas puesto que Patagones, el partido de mayor extensión superficial de toda la Provincia de Buenos Aires y por ende del SOBA (13.582 km²) además de ser el más meridional, expone un valor de 31,56 días en tanto que a Saavedra le corresponden 24 destacando como la unidad espacial con el valor más bajo (“Tabla 1”). Dadas las características ambientales del área, donde las precipitaciones más bajas se concentran hacia el sur, podría postularse que la latitud es un factor explicativo del CDD. Tras tomar el valor correspondiente a cada una de las treinta observaciones del indicador de extremo climático, el coeficiente de correlación de Pearson (R) entre los días con sequía y los valores de latitud resulta en -0,6 en tanto que la correlación con la longitud es -0,4; en este sentido, el coeficiente de determinación (R^2) es 0,4 y 0,15, respectivamente, que en tanto porcentajes implican 40,3% y 15,2%. Los datos significan que la variación latitudinal explica algo más que el 40% de los valores en tanto que la longitud apenas supera al 15%.

Tras aplicar el procedimiento de cortes de Jenks a los valores del CDD, puede apreciarse que las cifras más altas se ubican hacia el frente austral pero las más bajas no se localizan en el extremo septentrional (“Figura 1”); ello es entendible al observar el comportamiento del R^2 que data de una relación relativamente débil entre latitud y CDD (con la longitud es más débil aún).

Tabla 1.- Valor del CDD de acuerdo a simulaciones 2015-2039, superficie total de cada partido y la correspondiente a explotaciones agropecuarias sumado al porcentaje de ésta sobre aquella (los valores se discriminan por partido)

Partido	CDD (días promedio al año)	Superficie del partido (km ²)	Superficie de EAP (km ²)	Superficie EAP sobre total (%)
Patagones	31,56	13.582	11.738,39	86,4
Villarino	31,45	10.495	8.492,32	80,9
Bahía Blanca	24,26	2.282	1.949,46	85,4
Coronel Rosales	30,28	1.283	854,94	66,6
Puan	26,98	6.380	5.390,90	84,5
Torquinst	25,43	4.163	3.746,80	90,0
Saavedra	24,0	3.548	2.922,40	82,4
Coronel Pringles	24,1	5.257,71	4.585,21	87,2
Coronel Suárez	26,09	5.990,18	5.169,11	86,3
Adolfo Alsina	28,79	5.891,53	4.966,03	84,3
Guamini	24,81	4.829,58	4.433,84	91,8
Promedio	27,07	5.791,17	4.931,76	84,2

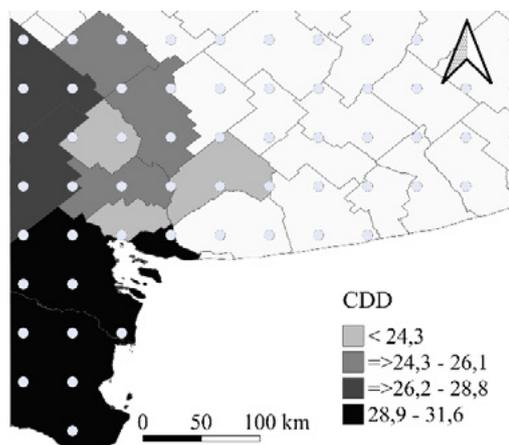


Figura 1.- Valores del CDD (simulaciones 2015-2039) en el SOBA (se excluyen los correspondientes al resto de partidos) sumado a las observaciones del indicador. Fuente: elaboración propia en base a Taylor, Stouffer y Meehl (2012) y Sillman, Kharin, Zwiers, Zhang y Bronaugh (2013) y <https://catalogo.datos.gba.gov.ar/dataset/partidos/archivo/99645069-8128-4433-845c-7a9ae6482f0f>

La superficie dedicada a actividades agrícolas se ubica en un intervalo relativo cuyo límite inferior es 66,6% y el superior 91% correspondiendo a Coronel Rosales y Guamini respectivamente (“Tabla 1”). Patagones y Villarino, amén que

no sean los partidos con mayor superficie relativa dedicada a actividades agropecuarias, resaltan por poseer la mayor extensión superficial absoluta en términos espaciales (13.582 km² y 10.945 km²) como así también de superficie dedicada a actividades agropecuarias (11.738,39 km² y 8.492,32 km²).

Conclusiones

El SOBA es un espacio caracterizado por su aridez y semiaridez tanto en términos estacionales como espaciales. No se encontró una asociación lineal fuerte entre los valores del CDD con los de la latitud, por un lado, ni con los de longitud por el otro pero la primera resulta más explicativa que la segunda. Las correlaciones cuantitativas mediante R son negativas lo cual significa que el incremento de una variable se liga al descenso de la otra. El cuadrado de este indicador, coeficiente de determinación (R²), expresa cuantitativamente el cambio de una variable (explicada) respecto a la otra (explicativa): en cuanto a la relación entre la latitud (variable explicativa) y el CDD (variable explicada) el valor es 40,3% en tanto que desciende a 15,2% para dicho indicador climático (variable explicada) y la longitud (variable explicativa). Sobre lo último, vale aclarar que los valores del CDD deben comprenderse en torno a la asimetría superficial referida a los partidos involucrados en el área: Patagones y Villarino son los dos partidos más extensos del SOBA reuniendo diez observaciones que, por cierto, implican el 33,3% del total. Ambas unidades no presentan las cifras relativas más altas de superficie ligada a actividades agropecuarias pero sí en términos absolutos siendo que superan en tamaño al total superficial de cada uno de los partidos restantes de la zona.

Las simulaciones del CDD pueden contribuir a la anticipación de eventos climáticos relacionados a la falta de agua en un espacio donde es un recurso escaso, dadas sus condiciones ambientales, e imprescindible debido a las actividades productivas desarrolladas que, como lo demuestran los datos expuestos, son predominantemente agropecuarias.

Referencias

- Cravero, S.A.N, C.L. Bianchi, H, J. Elena. and A.R Bianchi (2017). *Clima de la Argentina. Mapas digitales mensuales de precipitación y precipitación menos evapotranspiración potencial. Adenda del Atlas Climático digital de la República Argentina*. Salta.
- INDEC (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos*. CABA.
- Hidalgo, C (2020). “Procesos colaborativos en acción: la provisión de servicios climáticos y la elaboración de pronósticos por impacto en el sur de Sudamérica”. *Medio ambiente y urbanización*, 92-93, pp. 63-92.
- Natenson, C (2015). “Vulnerabilidad social. Amenaza y riesgo frente al cambio climático”, en *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Jefatura de Gabinetes de Ministros de Presidencia de la Nación/Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación/FMAM.

Taylor, K., Stouffer, RJ and Meehl, GA (2012) “An Overview of CMIP5 and the Experiment Design”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1.

Sillmann, J., Kharin, VV, Zwiers, FW, Zhang, X and Bronaugh, D (2013). “Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 1/Part2: Model evaluation in the present climate”. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/jgrd.50203.

ANÁLISIS DE EXTENSIÓN DE AGUA SUPERFICIAL CON ENFOQUE EN EL ODS 6.6.1. ESTUDIO DE CASO: CUENCA ALTA DEL RÍO RECONQUISTA

Mondelo, V. ^a; Mazzucchelli, M.G. ^a y F.J. Gaspari ^a

^a Dirección General Ejecutiva del Comité de Cuenca del Río Reconquista (COMIREC).
E-mail de los autores unidad.gestion@minfra.gba.gov.ar

- *Formato del trabajo: póster.*

- *Área temática: 02. Agua y Desarrollo Sostenible*

- *Área disciplinar: 02. Hidrología Superficial y Subterránea*

Palabras Clave: Agua superficial, Clima, ODS, SIG, Planificación territorial.

Introducción

El ciclo hidrológico, la geología y la configuración de los paisajes continentales les confieren a los ecosistemas acuáticos continentales (EAC) un papel central en el flujo de materia y energía dentro de los ecosistemas de la tierra (Covino, 2017; Pascual et al, 2022). El estudio de la presencia de agua superficial se ha convertido en una temática importante a tratar para la planificación territorial a nivel mundial, por ende, la gestión integrada del agua debe encaminarse en la identificación y manejo adecuado para su preservación. La persistencia de la extensión de cuerpos de agua superficiales se ven afectadas por el clima y/o la actividad antrópica (Montealegre Medina et al, 2022).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 sugiere garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, basándose en que la escasez/excesos de recursos hídricos, la mala calidad del agua dulce y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria y la salud, incluyendo fenómenos como inundaciones y/o sequía. En particular el indicador 6.6.1 estudia el cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo. Es conocido que la persistencia de la extensión de cuerpos de agua superficial se ve afectada por el clima y/o la actividad antrópica, acompañada a la planificación territorial.

El objetivo del trabajo aborda el concepto del ODS661 aplicado en la Cuenca Alta del Río Reconquista (CARR), Provincia Buenos Aires, Argentina.

Materiales y métodos

Se realizó con la implementación de productos de imágenes satelitales, provenientes de Global Surface Water Explorer, (GSWE) integrando el uso de herramientas geoespaciales para su evaluación, en un periodo 1990-2020. Se analizaron áreas con presencia de agua, permanente o estacional, para identificar zonas con potencial de inundación. Se buscó correlacionar dicha extensión con datos de precipitación anual provenientes del Servicio Meteorológico Nacional de estaciones meteorológicas regionales.

La metodología de seguimiento del indicador 6.6.1 se describe a continuación, presentando el método utilizado para mapear globalmente todas las aguas superficiales permanentes y estacionales por medio de la GSWE, donde Pekel et al. (2016) indican que este conjunto de datos mapea la ubicación y la distribución temporal a largo plazo (desde 1984 en adelante) de las superficies de agua a escala global.

Los datos incluyen superficies terrestres que están bajo el agua (por ejemplo, un área de agua permanente) durante los doce meses del año. También tiene en cuenta las fluctuaciones estacionales y climáticas del agua, lo que significa que se capturan lagos y ríos. Las áreas de cobertura de nubes consistentes inhiben la observación de las

superficies del agua en algunas áreas y en estos lugares limitados las observaciones ópticas pueden no estar disponibles. Se ha aplicado una máscara costera global a los datos para evitar que el agua del océano, en zonas costeras, se incluya en las estadísticas de agua dulce y la metodología (Sayer et al. 2019).

Los mapas proporcionados por la plataforma Portal de datos www.sdg661.app, que es la utilizada en este trabajo, se derivan del análisis de más de cuatro millones de imágenes recopiladas durante 36 años que se han procesado individualmente utilizando un clasificador de sistema experto preciso.

El portal de datos *sdg661* documenta varias transiciones hídricas relacionadas con las aguas superficiales permanentes y estacionales entre dos puntos en el tiempo (por ejemplo, 2000 - 2019), por ejemplo, aplicado a la CARR.

Desde de dicha plataforma, se obtuvieron datos que expresaron diversas transiciones espacio-temporales:

- las nuevas superficies de agua permanentes (es decir, la conversión de un lugar sin agua en un lugar de agua permanente);
- las superficies de agua permanentes perdidas (es decir, conversión de sitios de agua permanente en sin agua),
- las zona definidas como agua nueva y perdida estacionalmente. Estos permitieron capturar datos mensuales de presencia o ausencia de agua.

Además, fue posible identificar meses/años específicos en los que las condiciones cambiaron, por ejemplo, la fecha de presentación de una nueva presa o el mes/año en que cambio de tamaño del agua del embalse - dique Roggero. Ello permitió proporcionar datos sobre estacionalidad, capturando los cambios resultantes de la variabilidad intra e interanual o resultantes de la aparición o desaparición de superficies de agua estacionales o permanentes.

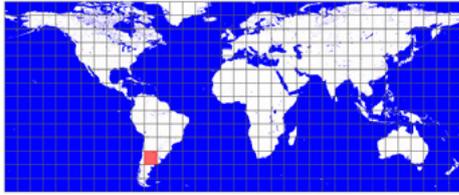
Los datos que dispone la plataforma permitieron separar las masas de agua "permanentes" (aquellas que están presentes durante todo el período de observación) [nominalmente un año] de las "estacionales" (aquellas que están presentes solo durante una parte del año).

Los datos de aguas superficiales globales están disponibles para descargar en mosaicos de 10°x10° (Figura 1) donde cada celda despliega los conjuntos de datos disponibles. Cada uno de estos conjuntos de datos es un hipervínculo al archivo *.tif.

Resultados

El mapa base para la CARR tomado de la cuadrícula a nivel mundial, se muestra en la Figura 1, donde se obtuvo información de ocurrencia, cambio, estacionalidad, recurrencia, transición y extensión máxima de cuerpos de agua superficial, como se muestra en la Figura 2, indicando el mapa satelital de base de Google Maps y Google Earth

Engine, y en la leyenda lateral derecha se presentan las diferentes opciones para su representación.



Granule with top-left corner at 70W, 30S:
 Occurrence: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/occurrence/1984_2020.tif
 Change: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/change/1984_2020.tif
 Seasonality 2020: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/seasonality/1984_2020.tif
 Recurrence: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/recurrence/1984_2020.tif
 Transitions: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/transitions/1984_2020.tif
 Maximum extent: https://storage.googleapis.com/global-surface-water/datasets/2020/water/1984_2020.tif

Figura 1. Presentación de la cuadrícula de base del GSWE.

La herramienta está pensada como un visor de datos, entonces el análisis de los datos, se realizó mediante descarga de datos web y/o Google Earth Engine (Pekel et al, 2016).



Figura 2.- Presentación del Portal Web <https://global-surface-water.appspot.com/map>. En recuadro rojo la CARR.

Este análisis logró evidenciar periodos de aumentos en la extensión de agua entre los años de 2000 a 2002 y entre 2012 y 2018, los cuales coinciden con periodos de alta precipitación; en contraste con años como 2005 y 2011 donde se registraron sequías en la zona, y el área de cuerpos de agua era considerablemente más reducida.

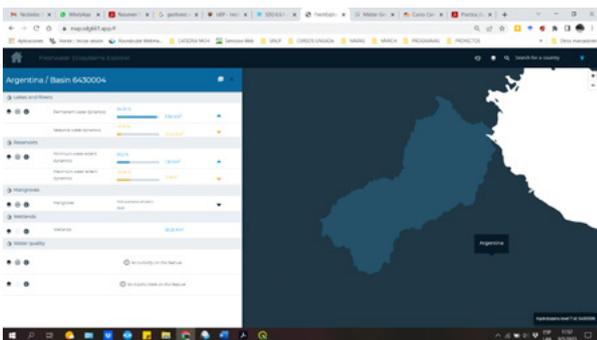


Figura 3.- Zonificación de transición de agua en superficie en la CARR y detalle del cuerpo de agua del Embalse Roggero.

Para un análisis a nivel de detalle en la CARR, para el período entre los años 1984-2020, en la Figura 4 se muestra la zona de ocupación de agua en superficie permanente, pérdida o cambios, elaborado con el programa QGIS 3.26, a partir del procesamiento de la información descargada de GSWE.

Con *sdg661.app* se definió la cuenca en estudio a nivel 7, como se presenta en la Figura 4, la cual integra toda el área que compone la Cuenca del Río Reconquista. En la Figura 5 se muestra la superficie de ocupación de la transición de agua en superficie en la CARR

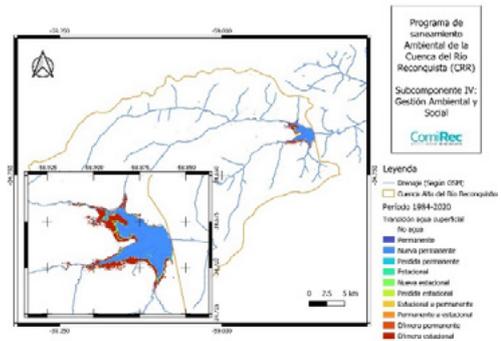


Figura 4.- Zonificación de transición de agua en superficie en la CARR y detalle del cuerpo de agua del Embalse Roggero

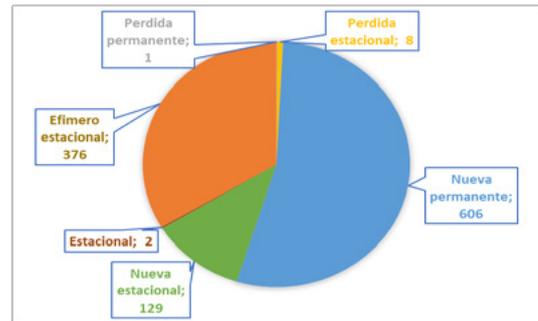


Figura 5.- Superficie de ocupación de transición (ha) de agua en superficie en la CARR y del Embalse Roggero.

Conclusiones

Conocer la secuencia geoespacial y superficie de ocupación (tamaño) de ocurrencia de acontecimientos ambientales del pasado ayuda a comprender las consecuencias de nuestras decisiones económicas y sociales pasadas. El SIG aporta a la planificación de las obras de mantenimiento y mejoras ambientales en la CARR. Los resultados alcanzados permiten aportar datos para la planificación del territorio y como insumo para los entes tomadores de decisiones en la región, con respecto a los recursos hídricos, y que aporte a la consolidación de datos e información que conlleve a un fortalecimiento del indicador ODS en cuestión.

La información del GSWE es un insumo de utilidad que permite comprender la evolución temporal de la “cobertura de agua y su consecuente riesgo a futuro”. Al mismo tiempo, se reconoce que esta plataforma contribuye a la toma de decisiones de gestión de los recursos ambientales y el uso por parte de la sociedad.

Referencias Bibliográficas

- Covino, T. (2017). Hydrologic connectivity as a framework for understanding biogeochemical flux through watersheds and along fluvial networks. *Geomorphology* 277:133-144.
- Montealegre Medina F.A., Salazar Barajas I N., Gaspari F.J. (2022). Análisis de extensión de agua superficial con enfoque en el indicador ods 6.6.1, Argentina. E-ICES 17. UNCUYO Argentina. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices-17>
- Pascual, M., Barral, M. P., Poca, M., Pessacq, N., García Silva, L., Albariño, R., Romero, M. E., y E.G. Jobbágy. (2022). Ecosistemas acuáticos continentales y sus servicios: Enfoques y escenarios de aplicación en el mundo real. *Ecología Austral*, 32 (1-bis), 195–212.
- Pekel, J.; Cottam, A.; Gorelick, N.; Belward, A. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422

INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA SATELITAL AL MONITOREO DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN LOS VALLES IRRIGADOS Y ÁREAS DE SECANO DEL NORESTE RIONEGRINO

Ayelen Montenegro¹, Andrea Rodríguez¹, Ángel Muñoz¹, Lucía Mañueco¹, Romina Solorza², Luciano Romaldi², Álvaro Soldano²

¹ EEA INTA Alto Valle. Río Negro, Argentina.

² Gerencia de Observación de la Tierra. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Córdoba y Buenos Aires, Argentina. montenegro.ayelen@inta.gob.ar

Introducción

La actividad antrópica como el incremento desmedido de las forestaciones, los cambios en el uso del suelo, la sobreexplotación y contaminación de bienes comunes en el mundo, el proceso de industrialización y globalización han inducido a una aceleración del calentamiento global debido al efecto invernadero.

El sexto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2022) indica como algunas consecuencias un incremento sostenido de la temperatura a nivel mundial, una creciente frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (sequías, incendios, inundaciones), y escasez de agua, contemplando una disminución de la disponibilidad mundial del 20 % al 2050, aportando a un desequilibrio ambiental.

Ante estos escenarios de cambio climático, la producción regional atraviesa un momento crítico en donde las estrategias de adaptación son fundamentales (Rodríguez et al, 2022).

El sector agropecuario se ve fuertemente impactado por las consecuencias del calentamiento global acelerado generando cambios en el ámbito rural, como la aparición de nuevos usos de la tierra, avance de las urbanizaciones, limitaciones en el uso del bien común “agua”, entre otros.

Para asistir a las problemáticas que tienen lugar en los valles irrigados y las áreas de secano de la Norpatagonia, la CONAE y el INTA EEA Alto Valle realizaron en agosto del 2022 la firma de un convenio interinstitucional de trabajo (IF-2022-67857988-APN-GVT#CONAE).

En este convenio, se utilizará información satelital a distintas escalas espaciales y con frecuencia de monitoreo multitemporal, poniendo especial énfasis en los datos de la constelación satelital argentina SAOCOM (Satélite Argentino de Observación con Microondas) 1A y 1B, puestos en órbita en 2018 y 2020, respectivamente. Con su capacidad full-polarimétrica, SAOCOM permite obtener información de detalle sobre el contenido de humedad del suelo, fundamental para la gestión del agua en la agricultura. Además, se trabajará en objetivos complementarios como la identificación de cultivos, el avance urbano, estudio de la disponibilidad de agua, estimación de biomasa, detección de eventos climáticos.

Este trabajo tiene como objetivos presentar la primera actividad a campo realizada en marco del convenio, y una primera aproximación al uso de las imágenes SAOCOM vinculando los datos de humedad del suelo con valores físicos extraídos de escenas procesadas, así como una interpretación visual de las imágenes del satélite argentino en el área.

Metodología

En la chacra “La Modesta” (39° 18.984'S y 65° 47.256'O) en Luis Beltrán, localidad del Valle Medio del Río Negro, la CONAE instaló dos sensores Hydra Probe que registran humedad del suelo, temperatura y salinidad (a 5 y 50 cm de profundidad), conformándose el nodo 81 de la red telemétrica de medición continua que dicha institución tiene distribuida en el país. La EEA Alto Valle instaló un sensor de medición continua de napa freática y dos sensores de humedad EC50 a la

misma profundidad que los del nodo de la CONAE (Figura 1). Los datos medidos a campo se utilizarán como insumos para validar los productos satelitales.



Figura 1.- Nodo de la CONAE (Izq.) – Nodo EE Alto Valle (Der.)

Se accedió a la Base de Datos Geográfica del Área de Valle Medio, aportada por instituciones que trabajan en el territorio, como el DPA y los Consorcios de Riego. Dicha base cuenta con información catastral, canales y desagües de la Red de Riego, entre otros, las capas están en formato vectorial para ser utilizadas en un SIG de escritorio.

Se obtuvieron los valores medidos de humedad por los sensores Hydra Probe desde el 2/8/2022 hasta el 1/2/2023 y se observó su evolución temporal, además se extrajo el valor a ambas profundidades de humedad del suelo en las fechas que se analizaron las imágenes de radar.

Del catálogo de la CONAE se descargaron dos imágenes disponibles para el área de estudio en el nivel de procesamiento de Single Look Complex (SLC) y el modo de adquisición de STRIPMAP con las cuatro polarizaciones. Las fechas fueron: 11/8/22 y 15/11/22.

Se realizó la calibración, el ML y corrección geométrica con el SNAP 9.0, extrayendo el valor del coeficiente de retrodispersión del pixel que coincide con la localización del nodo de sensado en tierra en las cuatro polarizaciones: HH, HV, VH y VV. Además, se realizó la composición de Pauli (Pottier, 1996) realizando un análisis visual y cuantitativo para tener una primera aproximación del comportamiento del territorio frente a la tecnología analizada. Cabe destacar que esta composición es útil para analizar las interacciones de la señal SAR con los elementos presentes en el territorio (cultivos, pastizales, suelo desnudo, etc.) y es factible de hacer gracias a las capacidades full polarimétricas que ofrece SAOCOM.

Resultados

La humedad registrada fue elevada en todos los meses analizados, se obtuvo un rango entre 0.3 y 05 m³/m³. Según el Plan Director de Valle Medio (1972), los suelos son de textura mediana a moderadamente fina, de valores de tabla se

desprende que la humedad de saturación en dichos suelos esta entre los $0,42 \text{ m}^3/\text{m}^3$ y $0,55 \text{ m}^3/\text{m}^3$ y la capacidad de campo entre $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$ y $0,34 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

El contenido de agua estuvo por encima de capacidad de campo, llegando a humedad de saturación en todos los meses, como se muestra en la figura 2. Solo a los 5 cm de profundidad entre el 7 de diciembre y el 16 de enero la humedad estuvo por debajo del límite máximo de capacidad de campo, pero siempre encontrándose dentro del rango.

A 50 cm de profundidad en todos los meses, la humedad registrada se encontró en el rango de saturación. Esto denota que el acuífero está aportando agua a la zona radicular constantemente a través del proceso de ascenso capilar. Por ende, se mantuvo una humedad elevada en el perfil, caracterizando también una napa freática cercana a la superficie. La humedad a 5 cm se acercó o igualó a la de 50 cm en momentos en que las precipitaciones ocurridas elevaron la humedad superficial, solo el evento de enero logro equiparar dichas humedades.

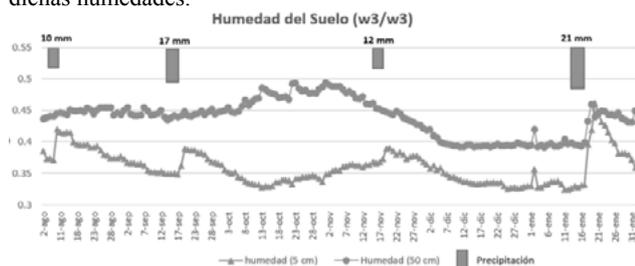


Figura 2. Registros de humedad del nodo CONAE y precipitaciones registradas en el periodo analizado.

En el mes de agosto la cuenca de Valle Medio está finalizando la temporada de no riego que coincide con el receso invernal de los frutales de pepita. En noviembre ya hace dos meses que comenzó la temporada de riego, los canales distribuyen el agua al interior de las chacras a través de la red de riego existente.

Se espera que el suelo en la cuenca tenga más humedad tanto por la actividad del riego como por el aumento del caudal del río y la elevación de la napa freática.

La tabla 1 muestra los valores de coeficiente de retrodispersión en dB en las cuatro polarizaciones en el pixel que se corresponde con la localización de los sensores y los registros de humedad en los días analizados.

Tabla 1.- Polarizaciones obtenidas y humedad medida.

	HH (dB)	HV (dB)	VH (dB)	VV (dB)	Humedad a 5 cm (dB)	Humedad a 50 cm (dB)
11/8/22	-10	-21	-22	-12	0,42	0,45
15/11/22	-11	-19	-18	-1	0,37	0,46

La polarización VV registro una diferencia de 11 dB entre ambas fechas, este comportamiento disímil frente a humedades superficiales distintas (tabla 1), indicaría en principio que dicha polarización se ve fuertemente afectada por la humedad del suelo, por ende, sería la más importante para analizar el parámetro. No obstante, es importante destacar que la banda VH tuvo una diferencia de 4 dB, si bien el comportamiento no es tan evidente como en VV, podría dicha polarización aportar más información al procesar nuevas imágenes del área.

En este primer análisis exploratorio se observó que las polarizaciones que emiten en vertical (VV y VH) son más importantes para estudiar la humedad del suelo, y la que recibe en vertical (VV) sería la más adecuada, siendo consecuente con la teoría de las imágenes de radar.

A 50 cm de profundidad no se vio una variación de la humedad, de hecho, se mantuvo alrededor de los 0,46 en todo el periodo entre ambas imágenes como se observa en la figura 1. Dados los valores obtenidos podría inferirse que la humedad a 50 cm no alteraría los coeficientes de retrodispersión, se podría decir, por ende, que no habría interacción con las ondas del radar a esa

profundidad.

La humedad que estaría afectando la señal que recibe el radar solo estaría dada por la humedad superficial, en este caso a 5 centímetros. Esta primera aproximación seguirá siendo estudiada.

Para comenzar a comprender y discriminar, de manera visual, los diferentes mecanismos de retrodispersión generados por la superficie del área de estudio, se realizaron las composiciones de Pauli para ambas imágenes.

En agosto en las zonas de monte natural, la combinación se ve de colores con diferentes tonalidades de la gama del azul, correspondiéndose a zonas con interacciones de superficie, es decir que son suelos de baja cobertura de vegetación, como es esperable en los suelos de la ecorregión del Monte. Los pivots se ven muy oscuros, como el río, esto denota una baja reflectividad, asociado a principalmente interacciones de superficie, con bajo retorno al radar de la señal emitida. En el interior del valle se observan zonas muy brillantes (como las ciudades, caminos, entre otros) y variaciones en las gamas del verde y azul en las áreas cultivadas.

En cambio, en noviembre el monte natural posee combinaciones con diferentes tonalidades de la gama del verde, esto quiere decir que comenzó a ser dominantes las interacciones en volumen, es decir, que se podría decir que la vegetación comenzó a desarrollar más follaje generando más rebote de la señal. La zona de los pivots se ve con mayores reflectividades reflejándose en colores más claros, por ejemplo, en la época analizada esto podría estar indicando un aumento de la señal en VV que se condice con mecanismos de retrodispersión dominante en superficie y un aumento de la humedad. En la zona de chacras se visualizan cambios generalizados en relación a un aumento de los coeficientes de retrodispersión en las distintas polarizaciones, la vegetación en esta fecha está más desarrolla que en agosto que es plena época invernal.

Las interacciones que se observan en la composición de Pauli indican diferencias espaciales y temporales en la cobertura presente y en la humedad del suelo. Los cambios que se dan en el territorio en ambas escalas serán fundamentales para analizar las características del Valle Medio y poder obtener los productos planteados en el convenio interinstitucional.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó una primera aproximación en el uso de imágenes radar y como es su comportamiento en los valles irrigados y áreas de secano de la provincia de Río Negro. En principio las polarizaciones VV y VH serán fundamentales en el estudio de la humedad del suelo.

La composición de Pauli será una herramienta de visualización que demuestra los cambios producidos en el tiempo por la presencia de diferentes coberturas. Dicha información será de utilidad para realizar clasificaciones junto con campañas de validación en campo.

Bibliografía

Cloude, S.R.; Pottier, E. (1996) A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1996, 34, 498–518

Catálogo de imágenes del satélite SAOCOM: <https://catalog.saocom.conae.gov.ar/catalog>

IF-2022-67857988-APN-GVT#CONAE. ANEXO 1. (2022). Proyecto: Información satelital para la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle. Aplicación de los productos de la misión SAOCOM 1 en los valles irrigados y las áreas de secano de la Norpatagonia.

Plan Director. Agua y Energía Eléctrica (AyEE) (1972) Estudio para el desarrollo integral Valle Medio de Río Negro. Comité director Agua y Energía Eléctrica, provincia de Río Negro.

Rodríguez A.; Muñoz A., (2022). Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Análisis de los últimos 50 años. Buenos Aires: INTA Ediciones. Centro Regional Patagonia Norte.

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO EN EL DISTRITO DE RIEGO DE VILLA REGINA, PROVINCIA DE RÍO NEGRO

Ayelen Montenegro¹, Darío Fernandez¹ y Mauro Holzmann²

1. EEA Alto Valle de INTA. Ruta 22 km 1190. Allen. Río Negro. Argentina
2. Instituto de Hidrología de Llanuras. "Dr. Eduardo Jorge Usunoff". República de Italia 780. Azul. Buenos Aires. Argentina
montenegro.ayelen@inta.gob.ar

Introducción

La producción de frutales de pepita en el Alto Valle de Río Negro es la principal economía regional. Dadas las condiciones climáticas de aridez, es que hace más de 100 años se opera un sistema de riego conformado por canales y desagües distribuidos en el área. Se han registrado aumentos paulatinos en los niveles freáticos con la actividad, debido a que la recarga por el uso del agua para riego es mayor que la descarga natural. Por ejemplo, en el Consorcio de Riego y Drenaje de Villa Regina (CRyDVR) existen problemáticas relacionadas al drenaje del área asociadas al ascenso paulatino del nivel freático (Rossi, 2005).

Desde el 2021 la región se encuentra bajo emergencia hídrica, debido a que hace más de 15 años las condiciones hidrológicas de las cuencas están por debajo de las condiciones normales, es decir, los módulos medios de los ríos Limay y Neuquén se encuentran por debajo de la media histórica, esto impacta directamente en los caudales del río Negro. Actualmente, el escenario de crisis hídrica en la región plantea la necesidad imperiosa de tener un enfoque integral en la administración de los bienes comunes.

En este contexto, los gestores del agua deben optimizar tanto los recursos hídricos como los económicos, conocer cómo es el comportamiento del agrosistema brindará datos para ser transformados en decisiones, coordinando acciones conjuntas entre las instituciones que intervienen a distintos niveles.

En la zona hay trabajos que estiman el aporte por ascenso de los niveles freáticos en la zona de exploración radicular, según Mañueco (2020) dicho aporte podría llegar a remplazarse por un riego en la temporada, en el momento adecuado del crecimiento de los cultivos. Conocer la dinámica de la freática a nivel de distrito en un área del alto valle es fundamental para la gestión del agua.

La calibración y validación del modelo numérico de un acuífero permite integrar una gran cantidad de información georreferenciada y obtener un modelo que sea lo más representativo posible del sistema real. Permite también, simular la respuesta de un acuífero en diferentes escenarios, con el fin de aportar a la toma de decisiones (Rodríguez et al, 2006).

En este trabajo se propuso elaborar el modelo hidrogeológico del Distrito de Riego de Villa Regina y calibrar el modelo numérico en estado estacionario, es decir, sin variación de almacenamiento, con el objetivo principal de comprender el funcionamiento del acuífero freático y cómo se relaciona con distintos factores tanto naturales como antrópicos.

Metodología

área de estudio y modelación

El Sistema Integral de Riego del Alto Valle (SIRAV) constituye la infraestructura de riego más importante de la provincia de Río Negro, permitiendo la sistematización de aproximadamente 60000 hectáreas. Actualmente, cuenta con siete consorcios de primer grado encargados de la operación y mantenimiento de las redes de riego y drenaje (Figura 1): Cinco Saltos, Cipolletti, Allen-Fernández Oro, General Roca, Cervantes, Ingeniero Huergo y Villa Regina. Todos forman parte de un consorcio de segundo grado que se ocupa del canal principal y obras menores.

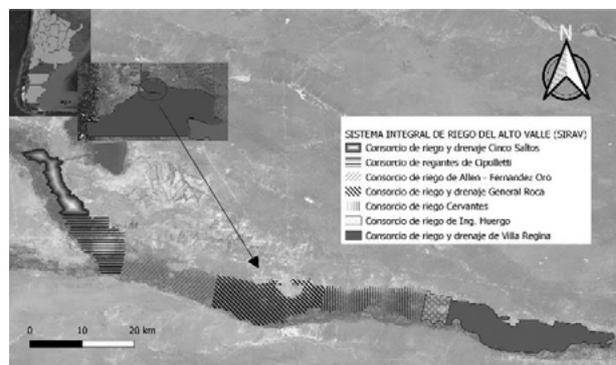


Figura 1. Consorcios del SIRAV

En el presente trabajo se realizó la modelación en el último consorcio del SIRAV, es decir, en el distrito de Villa Regina.

Realizando una búsqueda bibliográfica, se propuso un modelo conceptual hidrogeológico del distrito, se recabó información geológica, geomorfológica, hidrológica e hidrogeológica del área en las bases de datos existentes de organismos vinculados a la temática hídrica en la región. Esta información fue utilizada como insumo para el modelo matemático y para robustecer la base de datos geográfica (BDG) ya existente.

Luego, se reprodujo el flujo subterráneo mediante su simulación numérica con el código Visual Modflow contemplando todas las entradas y salidas al acuífero en un año típico. Para realizar la calibración se utilizaron datos de Niveles Freáticos (NF) en el mes de agosto del 2018 con mediciones de 51 freatímetros aportadas por el consorcio de riego y drenaje.

Resultados y conclusiones

MODELO HIDROGEOLÓGICO

El Consorcio de Riego y Drenaje de Villa Regina conforma una porción del valle del río Negro, con un ancho variable entre los 3 y 11 km y un largo de 31 km. De estudios previos en el área se conceptualizó la interacción entre el acuífero freático y los cuerpos de agua superficiales (CIL-AyEE 1991; Home et al, 1992).

En resumen, el acuífero freático libre somero se ve recargado por la actividad del riego que se da en los meses de septiembre a abril en base al ciclo de los frutales, son cuatro momentos bien diferenciados respecto al nivel de la capa freática. Octubre y noviembre son los meses en los cuales se registra el mayor aporte a la freática, luego descendiendo en los periodos de cosecha por las labores culturales, ascendiendo nuevamente en marzo y abril por los riesgos poscosecha y finalmente en otoño e invierno comienza a descender hasta llegar al mes de agosto, momento donde más baja se encuentra, llegando a su punto de equilibrio natural (Galeazzi et al, 2004).

Existe una interacción constante entre los canales de riego, los desagües y el acuífero durante todo el año, la infiltración en los sistemas de distribución es otro factor importante. También es importante destacar que el exceso de agua drena por dichos desagües y descarga al río aguas abajo del área de estudio.

Cabe destacar la marcada heterogeneidad del área en las características geológicas e hidrológicas que definen el modelo conceptual.

CALIBRACION DEL MODELO NUMERICO DEL AREA DE VILLA REGINA

El modelo conceptual planteado fue calibrado mediante la simulación numérica, la Figura 2 muestra las isopiezas del área y su configuración espacial.

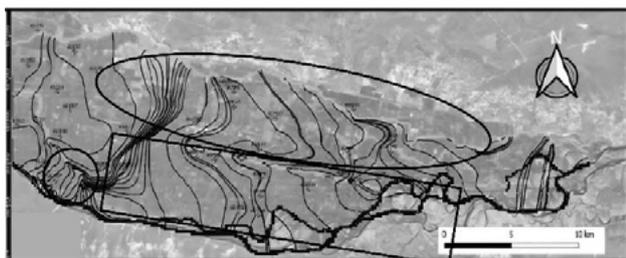


Figura 2. Isopiezas del modelo numérico calibrado en agosto del 2018.

Se obtuvieron mapas de isopiezas, el flujo y la velocidad del agua y el balance general de agua del sistema, cuyo resultado se correspondió con el modelo hidrogeológico.

El modelo numérico demuestra que dicha zona se comporta como una pequeña isla, ya que una parte del flujo del agua descarga al Norte del área debido a un desagüe troncal (en la figura 2 el área está marcada con una elipse), y otra parte hacia el río al Sur (área marcada en la figura 2 con un rectángulo). No obstante, al Oeste del área se observa como el río le aporta al acuífero actuando como ganador (en la figura 2 área marcada con un círculo). También se observa la influencia de los desagües dentro del área y cómo éstos sacan agua del acuífero todo el año, el balance hídrico obtenido indicó que el 75% del agua que se evacua es por dichos desagües.

En relación a los parámetros estadísticos, el coeficiente de correlación R arrojó un valor de 0.99, confirmando un buen ajuste y demostrando un grado elevado de correlación entre los niveles freáticos observados y los datos calibrados, como muestra la Figura 3.

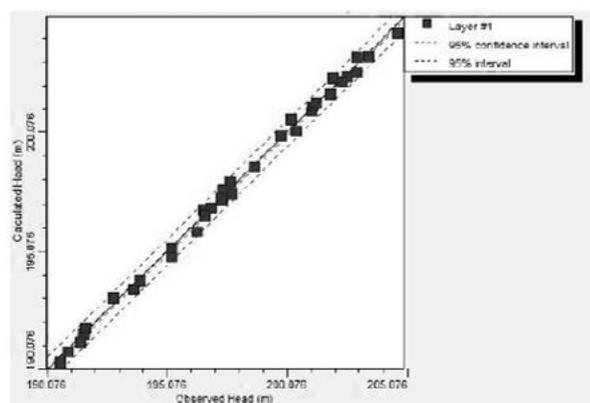


Figura 3. Niveles freáticos calculados vs observados.

La media residual absoluta arrojó un valor de 0.19 metros, el error cuadrático medio (RMS) de 0.22 m y el RMS normalizado 1.57 %, estos valores resultan adecuados, dado el tamaño del área muestreada (162 km²) y los datos disponibles para ser utilizados en el ajuste.

Los resultados permiten concluir que el uso de herramientas de modelación matemática integrada al uso de información geográfica permitió analizar y comprender la interacción de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, en el marco del

funcionamiento de un sistema productivo tan importante como lo es un consorcio del Alto Valle del Río Negro y Neuquén, brindando conocimiento y herramientas que aporten a la implementación de una GIRH.

Se pretende en futuros estudios validar el modelo calibrado en estado transitorio con más datos freáticos incorporando la variable tiempo. Analizar si los ascensos del acuífero freático, debido tanto a eventos naturales como antrópicos, generan en el tiempo un ascenso paulatino de la capa freática que afectaría a la sustentabilidad del agrosistema.

Cabe destacar la importancia de realizar este tipo de experiencias con una visión interinstitucional, los insumos para poder realizar el trabajo fueron aportados por diversos entes que intervienen en la gestión del agua en la región.

Referencias

- CIL-AyEE (Consortio Iconas Latinconsul - Agua y Energía Eléctrica) (1991). Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Etapa II. Investigaciones y estudios Hidrogeológicos. Informe Final. Tomos 1-2-4. Río Negro.
- Galeazzi, J. O.; Pesan, P.; Muñoz, P. (2004). Informe Técnico - Programa de monitoreo del sistema de riego y drenaje del área de "Puente la S". Convenio ARSA – FaCA (UNCo).
- Horne, F.J.; Alvarez, O.; Galeazzi, J.O.; Polla, G.; Stangaferro, S. (1992). Análisis y elaboración de datos freáticos e hidroquímicos del Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-AyEE-ITAC; 47 p.
- Mañueco L. (2020). Comportamiento de niveles freáticos y efecto de su variación estacional sobre el desarrollo y manejo agronómico de cerezos (*Prunus avium* L.). Tesis para optar por el título Magister en Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
- Rodríguez, L.B.; Cello, P.A; Vionnet, C.A. (2006). Modeling stream-aquifer interactions in a shallow aquifer, Choele Choele Island, Patagonia, Argentina. *Hydrogeology Journal* 14. 591–602. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0472-3>.
- Rossi, P. (2005). Informe Freático. Área de Influencia Consorcio de Riego y Drenaje Villa Regina, General Godoy y Chichinales. 10 p. Delegación Regional Valle Medio. Departamento Provincial de Aguas (DPA). Luis Beltrán. Argentina.

IMPACTO DE DIFERENTES CONDICIONES HIDROLÓGICAS EN LA SUPERFICIE CUBIERTA POR AGUA EN UN TRAMO ESTRATÉGICO DEL RIO NEUQUÉN

Ayelen Montenegro

EEA Alto Valle de INTA. Ruta 22 km 1190. Allen. Río Negro. Argentina
montenegro.ayelen@inta.gob.ar

Introducción

El norte de la Patagonia es una de las regiones más vulnerables a los cambios en el clima. Durante los últimos 15 años, se intensificó un periodo de sequía que impactó de forma contundente sobre el ambiente, las poblaciones y las producciones. Denominado como megasequía, es el más largo en el registro bajo condiciones secas en la zona central de los Andes. Al respecto, las evaluaciones y proyecciones climáticas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) estiman que las condiciones de sequía se mantendrán en los próximos años (MAyDS, 2020).

La cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro (figura 1) se encuentra situada en dicha región. Constituye uno de los sistemas hidrográficos más importante de todos los que se extienden íntegramente en el territorio de la Nación Argentina. El río Neuquén, con un módulo medio histórico de 280 m³/seg drena un área de 30.000 Km²; el río Limay tiene un módulo medio histórico de 650 m³/seg. y drena un área de 56.000 Km². Ambos conforman el río Negro que drena una cuenca de 116.000 Km², con un módulo medio histórico de 930 m³/seg (AIC, 2023).



Figura 1.- Hidrografía y área de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.

A partir del año 2021 la Autoridad Interjurisdiccional de Cuenas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) decretó estado de emergencia hídrica (Disp. 5194/21), ratificándola hasta la actualidad. Este escenario es consecuencia de una disminución en las precipitaciones sólidas y líquidas en las altas cuencas, como lo corroboran los informes hidrometeorológicos de la AIC (Frassetto, 2021). Dicho organismo resalta que, la situación de sequía en las cuencas patagónicas es más severa en el río Neuquén. (Informe Hidrometeorológico 21/22, AIC).

El Alto Valle del río Negro y Neuquén es un valle irrigado que depende de la disponibilidad de agua del río Neuquén, el agua que se utiliza para riego deriva del dique Ballester que se encuentra sobre dicho río. El agua disponible para generación de energía hidroeléctrica, para riego y para consumo humano se regula aguas arriba en el complejo hidrológico cerros colorados.

En la entrada a dicho complejo el curso del río refleja la disponibilidad total de agua que la cuenca ofrece de forma natural, ya que aguas abajo está regulada por el embalse “Los Barreales”.

Se aplicaron técnicas de teledetección para analizar la evolución

de la cuenca del río Neuquén y cuál es el estado hídrico en tres años con distintas condiciones hidrológicas. Se utilizaron imágenes satelitales que poseen una resolución espacio-temporal con gran potencial para analizar fenómenos naturales.

Para ello, se calculó a través de imágenes Landsat 5 y Sentinel 2 el Índice de Diferencia de Agua Normalizada Modificado (MNDWI) en los años 2001, 2016 y 2021, con el objetivo de cuantificar la disminución de área cubierta por agua en diferentes periodos hidrológicos.

Metodología

La AIC suministro la base de datos de caudales y alturas hidrométricas diarios en la estación de medición de La Higuera (38° 35' 13.27" S; 69° 21' 46.69" O) del periodo comprendido entre el 1/1/2000 hasta el 31/5/2022. Del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica se obtuvo un informe histórico del 1903 hasta el 2019 de caudales medios mensuales, que se descargó de la web oficial. Las mismas se procesaron y calcularon caudales y alturas hidrométricas anuales para caracterizar la condición hidrológica de cada escena.

Como primera condición en la selección de las imágenes, se priorizo el mes de noviembre, ya que en esa fecha el caudal está directamente relacionado con las precipitaciones líquidas y sólidas caídas en la cuenca, que para esa época fueron escurridas en la zona de estudio. Al mismo tiempo se decidió tomar en principio solo 3 imágenes y hacer un primer análisis de situación para probar la metodología en el área, luego de analizar los resultados obtenidos, se pretende a futuro extender su aplicabilidad a otras escalas espaciales y temporales aumentando la cantidad de escenas a evaluar.

El 2001 fue el primer año que se halló una imagen de buena resolución (Landsat 5) y era una época que todavía no era negativo el balance hídrico de la cuenca. En base a la declaración de emergencia de la AIC (Disp. 5194/21) se seleccionó el 2016 con ocho años de déficit hídrico siendo el primer año en el que hay imágenes de una mejor resolución, es decir, Sentinel 2. El 2021 fue el tercer año seleccionado, ya que fue cuando se decretó la emergencia, con trece años de déficit y con información satelital. Cabe destacar que en los tres años se cuenta con información hidrológica que corresponde a diferentes condiciones hídricas que se muestran en la tabla 1, dicha localización indica el caudal natural del río.

Tabla 1.- Parámetros hidrológicos en los 3 años.

Año	Caudal [m ³ /s]	Altura Hidrométrica [m]
2001	447	2
2016	119	1.2
2021	158	1.3

Los años 2016 y 2021 tienen caudales por debajo de la media histórica del río. Es importante destacar que la disminución del caudal conlleva una disminución en la altura hidrológica, que está condicionada a la forma del río. Aguas abajo de dicho punto y previo al ingreso del complejo se localiza el área en la cual se realizó la medición de superficie cubierta por agua (figura 2).

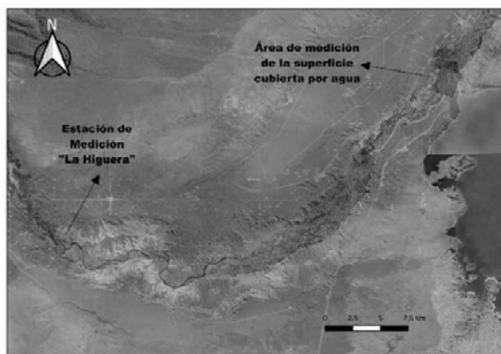


Figura 2.- Estación la Higuera y área del río que se vectorizó.

Para el año 2001 se usó una Landsat 5 con un tamaño de pixel de 30 metros, para el 2016 y el 2021 se usaron Sentinel 2 con una resolución de 10 metros. En el año 2001 no había imágenes Sentinel 2, por lo que se decidió trabajar con Landsat 5. Debido a que la escala de trabajo es a nivel de cuenca, con superficies de trabajo mayores a las 35 hectáreas, la resolución de dicha imagen permite que sea comparable con Sentinel 2.

Las imágenes fueron descargadas del sitio del Servicio Geológico de los Estados Unidos y para cada año fueron seleccionadas imágenes de noviembre (USGS, 2021).

A las mismas se le calculó el Índice de Diferencia de Agua Normalizada Modificado (MNDWI) propuesto por Xu (2006), para lograr diferenciar el agua del resto de las coberturas. Este, se basa en la combinación de reflectividades de superficie en las bandas del verde (GREEN - 500/565 nm), y del Infrarrojo Medio (SWIR - 1000 y 2500 nm). La ecuación 1 se aplicó para el cálculo del índice en la Imagen Landsat 5, y la ecuación 2 para Sentinel 2.

$$MNDWI_{L5} = \frac{B2 - B5}{B2 + B5} \quad [1]$$

$$MNDWI_{S2} = \frac{B3 - B11}{B3 + B11} \quad [2]$$

Asume valores entre -1 y 1, indicando presencia de agua para valores mayores a cero; los valores menores son las coberturas vegetales y suelo desnudo.

Utilizando el software QGIS 2.18, en la calculadora raster se elaboró el MNDWI para los tres años. Se analizó el histograma de frecuencias de cada banda obtenida y se seleccionó un umbral de "0" para separar la cobertura de agua libre del resto de la superficie, construyendo un raster binario con valor 0: no agua y 1: agua.

Cada capa raster se vectorizó utilizando la herramienta "Poligonizar" y se calculó el área de los polígonos con valor de número digital 1, es decir, aquellos pixeles que representaban agua, siguiendo la metodología propuesta por Montenegro et al, 2022.

Resultados y Conclusiones

Cuando el balance hídrico de la cuenca es negativo y se acentúa con los años, como consecuencia, existe una disminución del área cubierta por agua en la entrada del embalse regulador en el río Neuquén, esto puede cuantificarse en la superficie con la aplicación del MNDWI.

La figura 2 muestra los resultados obtenidos en cada año analizado. Visualmente se observa el detrimento en la superficie de área mojada cubierta por el río.

Este volumen de derrame representa la oferta de agua acumulada que la cuenca ofrece de forma natural, y, estaría indicando un déficit hídrico que se vuelve más severo con los

años. Comparando la superficie cubierta por agua obtenida en el 2001 con el 2016 hubo una disminución del 36 % del área. En el 2021 la disminución fue del 52 %.

AÑO	SUPERFICIE (KM2)	DISMINUCIÓN DE AREA CUBIERTA (%)
2001	715598	-
2016	461668	36
2021	346704	52

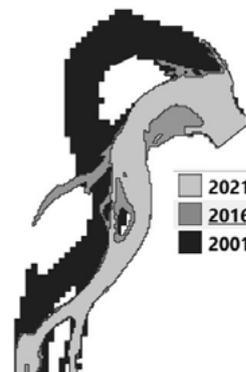


Figura 3 - Superficie cubierta por agua en la entrada al complejo cerros colorados en los 3 años.

Estas situaciones pueden traducirse en una menor disponibilidad de agua para diferentes usos en la cuenca aguas abajo. Como se observa en la tabla 1, los parámetros hidrológicos en los años analizados denotan la situación de déficit hídrico los años 2016 y 2021, confirmando la hipótesis de menor cantidad de agua en el río que se visualiza con el MNDWI.

Si el escenario hídrico continúa como hasta la actualidad, el almacenamiento del embalse y consecuentemente la disponibilidad de dicho bien común para los diferentes usos aguas abajo en las cuencas podría verse afectado.

Actualmente el manejo hidrológico de dicho bien común ha asegurado el suministro de agua para diferentes usos, no obstante, es importante prestar atención en la evolución hidrológica y cuáles son las tendencias hídricas esperadas en la región.

El MNDWI logro cuantificar el impacto de la sequía que atraviesa el río Neuquén desde hace años (Disp. 5194/21). Esto podría explicarse como una consecuencia de los cambios que se vienen dando por la variabilidad del clima en el norte de la Patagonia, ya que es una de las regiones más vulnerables a dichos cambios, afectando directamente a los cursos de agua y su disponibilidad hídrica (INTA - CRPN, 2022).

El sector científico/técnico asegura que las cuencas seguirán sufriendo mermas en la oferta hídrica vinculadas principalmente a la disminución de las precipitaciones nivales en la Cordillera de los Andes (MAYDS, 2020).

Por lo expuesto, es importante continuar con dicho análisis para monitorear los estados hidrológicos de las cuencas patagónicas y su impacto, para realizar una planificación de los bienes comunes orientada a maximizar el uso del agua. Es prioritario contemplar un manejo integral de cuencas.

Bibliografía

- Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro** (2023). <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>
- Frasetto, F.** (2021). Análisis Tiempo Clima de Río Negro (Julio 2021). Disertación en el marco del ciclo Hidrógeno Verde, organizado por la Provincia de Río Negro. Disponible en: <https://youtu.be/UByRTnyZVt8>.

USO DE DRONES PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS CASO DE ESTUDIO: CUENCA MATANZA RIACHUELO

Mayra Morale, Nicolás E. Ortiz y Pablo E. García.

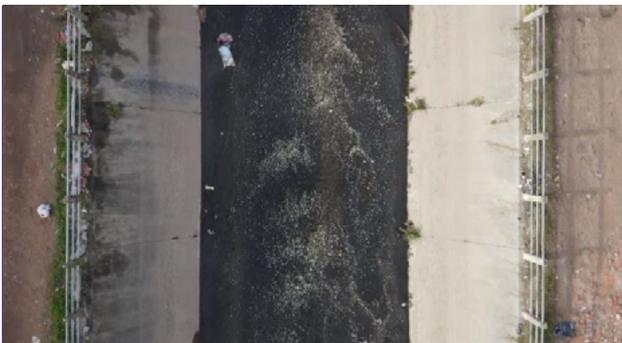
Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua. Ezeiza, Argentina.
mmorale@ina.gov.ar

Instrucción

El uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT's), comúnmente denominados *drones*, ha aumentado significativamente en el campo de los recursos hídricos, ofreciendo diversas ventajas en la ejecución de tareas y el desarrollo posibilitando el desarrollo de otras. Este trabajo presenta una síntesis de las actividades desarrolladas con VANT's en estaciones de monitoreo (EM) de la Cuenca Matanza Riachuelo (CMR) en el marco del Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA) (ACUMAR, 2016) llevadas adelante por el Programa de Hidráulica Computacional (PHC) del Instituto Nacional del Agua (INA) en el período 2020-2023 (García et al., 2021; García et al., 2022). Se destaca especialmente el potencial del uso de imágenes obtenidas por VANT's como herramienta valiosa para la gestión del recurso hídrico.

Actividades y productos

Entre las actividades destacadas se encuentra la implementación de la técnica LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) como alternativa valiosa para realizar aforos de caudales líquidos en una cuenca que presenta altos niveles de contaminación en agua, y la medición en cursos de agua difícilmente accesibles (Morale et al., 2022). Entre noviembre de 2020 y mayo de 2023 se han realizado más de 40 aforos de secciones con LSPIV. La Figura 1 muestra un *frame* obtenido del video realizado durante el aforo en la EM76 ubicada en el Arroyo Susana para su procesamiento con LSPIV (ver Figura 2), donde se identifican claramente los trazadores de viruta de madera utilizados y los conos en las márgenes como puntos fijos de referencia.



[PpdC1][M2]

Figura 1.- Aforo con LSPIV en la EM 76

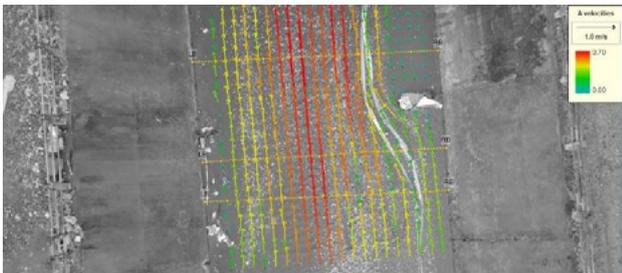


Figura 2.- Aforo con LSPIV en la EM 76

Además, se generaron imágenes aéreas mediante planes de vuelo, lo que posibilitó crear ortomosaicos de alta resolución en las EM, superando la calidad de las imágenes satelitales de disponibles

libremente y más actualizadas. En un la Figura 3 se observa una imagen comparativa donde se aprecia una mejora sustantiva en la resolución de los ortomosaicos contra las imágenes satelitales de libre disponibilidad.



Figura 3.- Ortomosaico vs imagen satelital de Bing.

Los planes de vuelo con VANT facilitan la obtención sistematizada de imágenes para la comparación temporal y la generación de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta precisión. Las imágenes permiten identificar y realizar el monitoreo de la biodiversidad, la detección de residuos sólidos y/o intervenciones antrópicas lo que la convierte en una herramienta óptima para la evaluación en el tiempo de cambios que pueden presentarse en los puntos de medición. Durante 2023 se llevaron a cabo 20 vuelos con *drones* con el objetivo de obtener ortomosaicos de alta resolución espacial para la confección de monografías de Estaciones de Monitoreo.

En la Figura 4 se observa el ortomosaico construido a partir de un plan de vuelo llevado a cabo con un equipo Mavic 2Enterprise Advanced para la elaboración de la monografía de la EM12.



Figura 4.- Ortomosaico construido en la EM12

Los vuelos también se utilizaron para obtener imágenes térmicas, lo que permitió identificar variaciones de temperatura en los cursos de agua y facilitar la detección y caracterización de contaminación térmica. Durante 2023 se han ensayado vuelos de *drone* en confluencias de cursos de agua a fin de detectar cambios en la temperatura superficial. La Figura 5 muestra claramente la identificación de la descarga de la Planta el Jagüel en la EM12 ubicada sobre el río Matanza, a partir de las imágenes térmicas obtenidas.

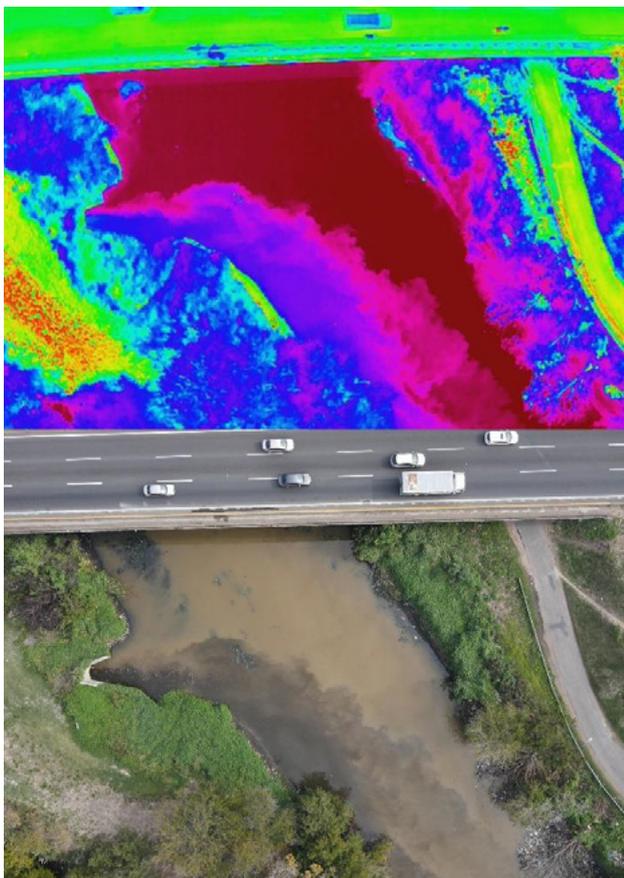


Figura 5.- EM 12 identificación de descarga

También se llevaron adelante ensayos en zonas donde se planteó la hipótesis de la presencia de un delta térmico superficial relevante, confirmando o descartando dicha hipótesis. En la Figura 6 se presenta una imagen fotogramétrica y una imagen RGB con fines comparativos que permiten identificar una zona del cauce sobre la margen con un diferencial de temperatura relevante.

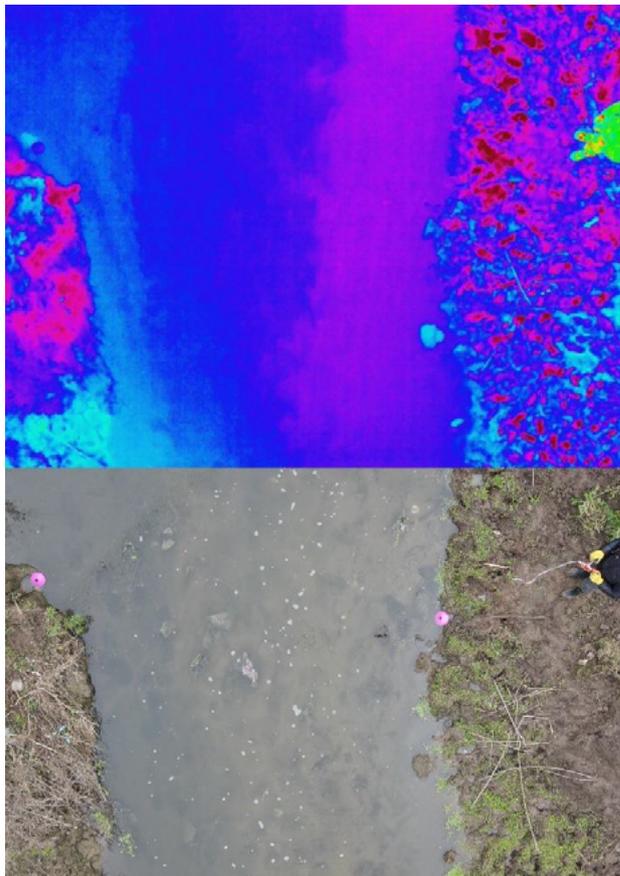


Figura 6.- EM 37, imagen fotogramétrica vs imagen RGB

Conclusiones

El estudio demuestra que el uso de VANT's resulta una herramienta altamente exitosa para la obtención de material filmográfico georreferenciado destinado a múltiples usos en general y para la gestión de cuencas con zonas de difícil acceso terrestre en particular.

Se destaca la celeridad para la obtención de datos, la facilidad para obtener material de forma remota y la calidad superior del material adquirido en comparación con otros métodos tradicionales.

Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias al financiamiento otorgado por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) mediante un Convenio firmado entre ambas instituciones.

Referencias Bibliográficas

- ACUMAR (2016). "Plan Integral de Saneamiento Ambiental Actualización PISA 2016". <https://www.acumar.gov.ar/wp-content/uploads/2016/12/PISA-2016.pdf>
- García, P., Ortiz, N., Morale, M., Heredia Ligorria, A., Lagos, M., Mortarino, N. & Elcano, G. (2021). Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe INA LHA 04-397-21.
- García, P., Ortiz, N., Morale, M., Heredia Ligorria, A. & Lagos, M. (2022). Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe INA LHA 06-397-22.
- Morale, M., Ortiz, N., García P., Re, M., Heredia, A. & Lagos, M. (2022). Implementación de la técnica LSPIV para aforar una cuenca altamente contaminada. XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz de Iguazú, Brasil

CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA CRISIS HÍDRICA OCURRIDA EN EL DPTO. GRAL. SAN MARTÍN (SALTA)

Moraña, L.⁽¹⁾, Alvarez Dalinger, F.^(1,2), Borja, Cl.⁽¹⁾, Lozano, V.^(1,2) y Salusso, M.⁽¹⁾

(1) Facultad de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Salta. (2) CONICET Argentina
lilymorana@gmail.com, floralvarezdalinger0@gmail.com, borja.claudian@gmail.com, veritol77@gmail.com, mmsalusso@gmail.com

Introducción

Los embalses El Limón e Itiyuro, son al presente los ambientes acuáticos destinados a captación del agua para potabilización de mayor riesgo de la provincia de Salta. Dadas las condiciones climáticas altamente favorables de la región tropical, que facilitan el desarrollo de floraciones de cianobacterias productoras de cianotoxinas (Vidaurre, et al, 2018). Esta situación requiere de un continuo monitoreo del sistema para procurar en tiempo real las medidas de corrección adecuadas.

En el Dpto. Gral. San Martín el registro histórico de precipitación promedio acumulada para los meses de octubre a febrero fue de 843 mm (1991 a 2021), mientras que la acumulada desde octubre 2022 a febrero 2023 fue de 115,29 mm, se registró además un aumento de 5°C en la temperatura al compararla con los registros históricos. Ésta sequía histórica ocasionó severos problemas en el tratamiento y provisión de agua para consumo humano, viéndose afectada una población cercana a los 400.000 habitantes.

Área de estudio y metodología

El departamento Gral. San Martín posee un clima tropical, cálido y húmedo hacia el norte (Tartagal), tornándose subtropical con invierno seco hacia el sur (Embarcación), con régimen de precipitaciones de tipo Monzónico, donde, dependiendo de la zona, entre el 75 al 85% de las lluvias anuales ocurren entre los meses de noviembre a marzo. En éste departamento se encuentran emplazados los embalses El Limón e Itiyuro y los restantes sitios de muestreo (Figura 1 y Tabla 1). Se realizaron muestreos en 12 sitios durante los meses de febrero y mayo del 2023 (Tabla 1). Se determinaron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto (mg/L y % de saturación), sólidos totales (ST) y disueltos (STD), color verdadero, alcalinidad total, dureza total, nutrientes (nitros, amonio, nitritos, y fosfatos), DQO, según técnicas normalizadas (APHA, 2005).

Tabla 1.- Detalle de los sitios de muestreo y códigos utilizados en las figuras 2 y 3.

Febrero	Mayo	Descripción Ubicación
Ef	Em	Embalse Itiyuro (I)
Ef	Em	Embalse El Limón
Ef	Em	Entrada a PP Itiyuro (EPPI)
Rf	Rm	Salida PP Itiyuro (SPPI)
Ef	Em	Entrada PP Tuyunti
Rf	Rm	Salida PP Tuyunti
Ef	Em	Entrada PP Tartagal (EPPT)
Rf	Rm	Salida PP Tartagal (SPPT)
Rf	Rm	B° 350 Viviendas (Tgal)
Rf	Rm	Cisterna Villa Guemes (Tgal)
Rf	Em	Entrada PP Embarcación
Ef	Rm	Salida PP Embarcación

E= Embalses y entradas a Plantas Potabilizadoras (PP), R= Salidas de PP y muestras de aguas de red, f= febrero, m= mayo.

Para el análisis del fitoplancton, en el laboratorio se colocaron a sedimentar alicuotas de volumen variable debido a la densidad sestónica (2,5 – 50 mL), en cámaras combinadas siguiendo la metodología de Utermöhl (1958).

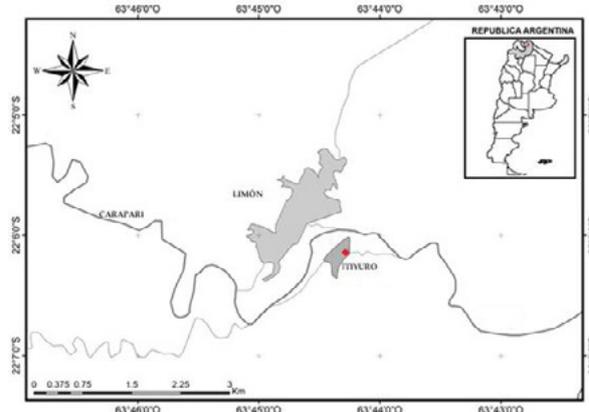


Figura 1.- Ubicación de los embalses Itiyuro y El Limón (Salta).

Resultados y Discusión

El bajo nivel de cota del Itiyuro, provocó que se debiera utilizar agua cruda de El Limón para potabilizar. El embalse El Limón, a raíz de la situación climática antes descrita, y de los niveles de nutrientes elevados (principalmente N y P disueltos), viene desarrollando floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas. En muestreos realizados en diciembre de 2022, el agua de salida de la Planta Potabilizadora e incluso de muestras tomadas en agua de red presentó niveles elevados de cianobacterias. Muestreos de control realizados en 2023 confirman que continuaba la floración de cianobacterias en febrero, disminuyendo la misma en mayo (Figura 2).

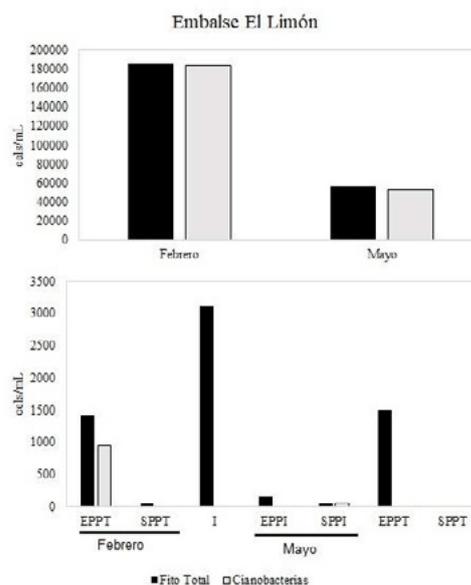


Figura 2.- Variación del fitoplancton en los sitios muestreados.

Se observaron correlaciones positivas y significativas entre las

abundancias del fitoplancton y las variables fisicoquímicas (Tabla 2). El aumento del oxígeno disuelto se relaciona con la actividad fitoplanctónica de las algas que lo liberan al medio por fotosíntesis. En el embalse El Limón, en febrero, se produjo una intensa floración de cianobacterias (184.829 cel/mL, Figura 2) elevando el pH y el OD% a 9,60 y 143,40% respectivamente; en mayo, cuando las condiciones climáticas se tornaron favorables, el registro de cianobacterias y consecuentemente los valores de pH y OD% bajaron a 52.370 cel/mL, 8,06 y 88,01% respectivamente.

Tabla 2.- Análisis de Correlación de Pearson entre variables fisicoquímicas y la abundancia total de algas fitoplanctónicas.

Variable biológica	vs	Var.fisicoquímica	R ²	p
Fitoplancton total	vs	pH	0,78	0,0001
Fitoplancton total	vs	Turbidez	0,71	0,0002
Fitoplancton total	vs	Color verdadero	0,94	0,0001
Fitoplancton total	vs	Oxígeno disuelto %	0,74	0,0001

Se realizó un Análisis Discriminante (AD) a efectos de encontrar las variables que mejor expliquen la diferenciación de 4 grupos construidos a priori: Gupos E contienen muestras de los embalses y de las entradas a Planta Potabilizadora, o sea aguas naturales sin tratar, Ef muestras de febrero y Em de mayo. Mientras que los grupos R contienen muestras de las salidas de las PP y de aguas de red, Rf y Rm en los muestreos de febrero y mayo respectivamente.

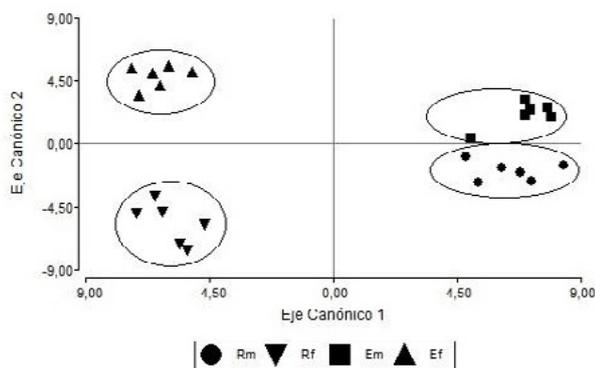


Figura 3.- Representación de observaciones multivariadas en 4 grupos, definidos a priori, en el espacio discriminante conformado por los ejes canónicos 1 y 2 del AD.

El primer eje canónico explicó el 71,11% de la variación entre grupos, siendo las variables temperatura del agua y concentración de fosfatos las más importantes. Hacia la región positiva del eje se ubicaron las muestras recolectadas en mayo, caracterizadas por menores registros de temperaturas y de fosfatos, y hacia la región negativa las tomadas en febrero con los mayores valores de ambas variables (Figura 3).

El segundo eje canónico explicó un 27,32%. Las variables alcalinidad, conductividad, formas inorgánicas de nitrógeno y oxígeno disuelto fueron las más importantes para lograr la discriminación. Las muestras tomadas en los embalses y entradas a las plantas potabilizadoras, situadas en la región positiva del eje, se caracterizaron por menores valores de conductividad y nitratos, y mayores registros de amoníaco, nitrito y oxígeno. Las muestras tomadas a la salida de las PP y las de red de distribución se ubicaron hacia la región negativa del segundo eje canónico (Figura 3).

Los embalses Limón e Itiyuro constituyen las fuentes superficiales de agua más importantes del norte salteño. Además, no existen muchos embalses emplazados en climas tropicales en Argentina, siendo los más estudiados los de climas

templados y de las regiones más densamente pobladas, por lo que su dinámica es poco conocida. Ambos embalses presentan floraciones de cianobacterias recurrentes al menos desde 2013 (Vidaurre et al., 2018). Estudios realizados entre 2018 y 2020 han reportado la presencia de especies toxicogénicas en ambos diques y en la planta potabilizadora Itiyuro (Alvarez et al., 2023), situación que sigue observándose a la fecha y que pareciera agravarse en cada época estival. Las cianobacterias registradas en Limón correspondieron principalmente al orden Nostocales, destacándose *Cylindrospermopsis raciborskii* y *Raphidiopsis mediterranea*, lo cual está en línea con lo reportado en la mayoría de los embalses argentinos (O'Farrell et al., 2019). Se observa que la floración de febrero fue mucho más intensa que la de mayo, aunque en ambos muestreos las cianobacterias representaron más del 90% de la abundancia relativa total. En cuanto a Itiyuro y las plantas potabilizadoras, en la figura 2 se observa que estas últimas presentaron un porcentaje de remoción de algas y cianobacterias elevado en las muestras post tratamiento vs las muestras de ingreso a las plantas. Los resultados de elevada turbidez y color responden al material biogestivo en suspensión y los sedimentos provenientes del río Carapará.

Algunos estudios recientes han demostrado que, en embalses de América, la carga de nutrientes es una variable predictora de floraciones de cianobacterias más fuerte que la temperatura; sin embargo, en embalses someros como El Limón, se observó que los cambios meteorológicos a corto plazo en las temperaturas y precipitaciones tienen un efecto mayor que la carga N/P. Ante un escenario de cambio climático, con años inusualmente secos y calurosos en la zona como fueron 2022-2023, la situación puede comprometer seriamente la calidad de un recurso que ya se encuentra comprometido. Los procesos de sequías prolongadas favorecen la concentración de nutrientes y además la estabilidad de la columna de agua es mayor, condiciones que sumadas a elevadas temperaturas favorecen a las cianobacterias. En Argentina, el recuento de cianobacterias o la determinación de cianotoxinas no es obligatorio para las prestadoras del servicio ya que no se encuentra legislado y los pocos valores límites que existen solo funcionan como guías (WHO, 2003). Sin embargo, tanto en el muestreo de febrero como en el de mayo, la abundancia de cianobacterias superó el nivel de alerta 2 o moderado propuesto por la OMS, lo que sugiere la posibilidad de efectos adversos a la salud a corto plazo. Por ser estos embalses utilizados para consumo de agua de grandes poblaciones, el monitoreo continuo y la determinación de cianotoxinas resulta clave para asegurar una buena calidad de agua.

Referencias

- Alvarez Dalinger, F. S., Lozano, V. L., Borja, C. N., Moraña, L. B., & María Mónica, S. (2023). Short-Term Meteorological Conditions Explain Cyanobacterial Blooms in a Tropical Reservoir. *Water*, 15(2), 302.
- O'Farrell, I., C., Motta, M., Forastier, W., Polla, S., Otaño, N., Meichtry, M., Devercelli, Lombardo, R. (2019). Ecological meta-analysis of bloom-forming planktonic Cyanobacteria in Argentina. *Harmful Algae*, 83, 1-13.
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9:138
- Vidaurre, A., Alvarez Dalinger, F., Moraña, L. y Salusso, M. (2018). "Cianobacterias en un embalse subtropical de la provincia de Salta (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53 (4): 543-549. <http://dx.doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n4.21977>
- WHO. (2003). World Health Organization. Guidelines for Safe Recreational Water Environments, vol. 1 Coastal and fresh waters, Geneva, Switzerland.

RELACIÓN DE LAS BAJANTES Y LAS CRECIENTES DE LOS RÍOS PARANÁ Y PARAGUAY Y SU IMPACTO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

María José Müller, Rosana Mazzón, Silvia Rafaelli

Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional del Litoral (INA- SCRL), Santa Fe, Argentina
E-mail: mmuller@ina.gov.ar, rmazzon@ina.gov.ar, srafaelli@ina.gov.ar

Introducción

Las bajantes y las crecientes como fenómenos hidrológicos extremos originan cambios de importancia en el ambiente natural y en las intervenciones antrópicas sobre el litoral fluvial.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que aportan los ecosistemas a los seres humanos para realizarse en todas sus facetas, mediante servicios de abastecimiento, de regulación, culturales y de soporte. (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

De la amplia gama de impactos de los eventos hidrológicos extremos sobre los servicios ecosistémicos, el presente trabajo considera aquel relacionado con la provisión de agua potable y su infraestructura asociada.

El área de estudio se enmarca en el sistema fluvial Paraná-Paraguay que pertenece a la Cuenca del Plata y que se encuentra localizada en el sur-este del continente sudamericano, abarcando territorios de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. Se analizan datos de estaciones hidrométricas y obras de toma de agua superficial ubicadas en el litoral Argentino.

Objetivos

Relacionar las bajantes y las crecientes de los ríos Paraná y Paraguay con su impacto sobre las tomas de agua superficiales en el litoral argentino, aportando umbrales de niveles hidrométricos a considerar en su diseño estructural.

Metodología y resultados

Se realiza la caracterización hidrológica de los ríos Paraguay y Paraná en los tramos argentinos hasta Rosario, mediante un análisis exploratorio de las series históricas de niveles hidrométricos y caudales en estaciones de referencia, identificando los eventos extremos de crecidas y bajantes.

En particular se destaca el análisis en Corrientes, que cuenta con la estación 3805 de la Red Hidrológica Nacional (RHN). Se ubica aguas abajo de la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay, donde aproximadamente el 75% del caudal proviene del Alto Paraná y el 25% del río Paraguay. Dispone de una serie de caudales mensuales 1904–2021 y una serie de niveles diarios 1904–2022. El caudal medio anual (período 1904–2022) es de 17239 m³/seg. El máximo absoluto corresponde al día 18/07/1983, con una altura hidrométrica de 9.81m, y el mínimo absoluto el 07/10/1944 con un valor de -0.82m.

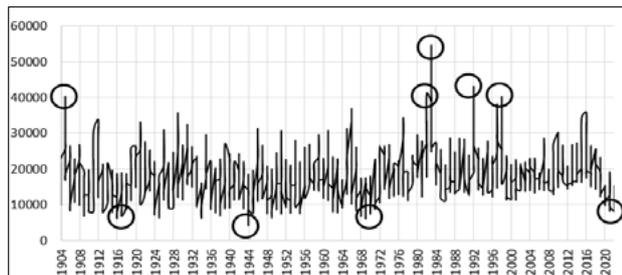


Figura 1.- Caudales medios mensuales en el Río Paraná Estación 3805 RHN - Corrientes. Serie 01/02/1904-01/07/2022

Sobre las obras de toma en la región, se dispone del relevamiento de 46 estructuras en los tramos analizados y se integra la información en un SIG incluyendo coordenadas, río y tipo de obra, entre otros. Se seleccionan 9 obras de toma y se realiza la identificación de niveles máximos y mínimos en la estación hidrométrica próxima a cada estructura. En la Figura 2 se presentan las obras de toma seleccionadas.

	Obra de Toma	Estación de referencia
A	Formosa km 218	2608 - RHN
B	Formosa km 207,8	2608 - RHN
C	Corrientes	3805 - RHN
D	Barranqueras Chaco	Prefectura Naval Argentina (PNA)
E	Reconquista Santa Fe	PNA – Hidrovía Reconquista
F	Colastiné Santa Fe	3249 - RHN
G	Hernández Santa Fe	3339 - RHN
H	Desvío Arijón SF	3252 - RHN
I	Rosario Santa Fe	PNA

Figura 2.- Obras de toma de agua superficial analizadas

En las obras de toma de Formosa, Hernández y Colastiné de Santa Fe, se dispone de datos acotados de las estructuras, los cuales son necesarios para comparar con los niveles hidrométricos de eventos extremos.

Los impactos de eventos extremos en obras de tomas de aguas superficiales son diferentes en el caso de bajantes o crecidas. En situación de bajantes, el principal impacto está relacionado con la posibilidad de captar el agua en cantidad suficiente para cubrir la demanda. Generalmente se produce una disminución en el rendimiento de las bombas que toman el agua cruda y por lo tanto se deben ampliar la capacidad de bombeo incorporando nuevas bombas. La calidad de agua puede variar por diversos factores asociados al evento extremos (salinidad, cianobacterias, sedimentos, entre otros). En situación de crecidas, los principales efectos sobre las obras de tomas pueden ser sobrepaso de las estructuras, destrucción total o parcial de captaciones, daños en estaciones de bombeo cercanas a cauces, rotura de tuberías, suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones, entre otros.

Este estudio está enfocado al análisis hidrológico, poniendo énfasis en que los niveles máximos registrados no sobrepasen las estructuras de captación de las tomas (en el caso de las tomas donde se cuentan con datos de las estructuras) y que los niveles mínimos permitan captar el agua en cantidad suficiente acorde a la demanda.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos del análisis de la toma Hernández en Santa Fe. Es una estructura tipo muelle con bombas de eje vertical y se encuentra implantada sobre el Canal de Derivación Norte que descarga el escurrimiento proveniente de la Laguna Setúbal. Se cuenta con el perfil longitudinal de la obra de captación de agua con las cotas de diseño, datos brindados por la prestadora Aguas Santafesinas S.A. Para el análisis de eventos extremos en dicha toma, se considera como escala de referencia la estación 3339 de la Red Hidrológica Nacional ubicada en el puerto de la ciudad de Santa Fe. La cota del cero de escala es de 8.28m IGN. (Figura 3).

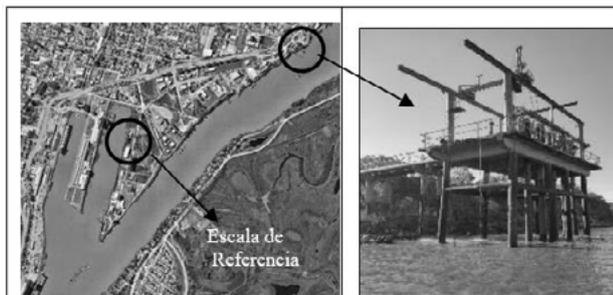


Figura 3.- Obra de Toma Hernández – Ciudad de Santa Fe

Se identifican y grafican datos diarios donde se registraron los niveles mínimos (Figura 4) y máximos (Figura 5). La mínima absoluta de -1.03m se produjo el 03/11/1944 y la máxima absoluta de 7.72m se produjo el 15/06/1905.



Figura 4.- Identificación de bajantes históricas en el Puerto de Santa Fe



Figura 5.- Identificación de crecidas históricas en el Puerto de Santa Fe

Del análisis de los eventos extremos expuestos surge que las obras de toma en la ciudad de Santa Fe deberían considerar en su diseño al menos el umbral de 16.00m (correspondiente a la altura máxima registrada en el 1905) para que la estructura de captación no sea sobrepasada, y una cota mínima de 7.25m

(correspondiente a la menor altura registrada en el año 1944), para asegurar el servicio de prestación de agua potable.

En 2021, en la toma Hernández se bajaron las captaciones de las bombas del muelle para adecuarlas a los niveles del río. Además, se produjo un aumento del contenido de sales debido a la influencia de la laguna Setúbal, por el aporte de los Saladillos que fue más preponderante al aporte del arroyo Leyes. (Ramonel et al., 2020).

Se realizó el mismo análisis hidrológico de eventos extremos en las tomas de Formosa y Colastiné en Santa Fe.

Conclusiones

El trabajo realizado permite contar con información de base sobre las tomas de agua superficiales en el Litoral Argentino identificando los umbrales para el diseño en función de los niveles hidrométricos alcanzados en eventos extremos en casos seleccionados. Se presentó como ejemplo el análisis para la toma Hernández en Santa Fe.

Los resultados pueden ser enriquecidos con otros estudios de interés relacionados a monitoreo de calidad de agua, evolución morfológica de las márgenes y sedimentación en suspensión, entre otros, para planificar las obras y gestionar el riesgo desde la prevención.

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto Interinstitucional en Temas Estratégicos “Socioecosistema Fluvial Paraná-Paraguay: Estudio argentino en el escenario de cambios globales”.

Referencia bibliográfica

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Link: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Mazzón R., Müller M.J. Rafaelli S. (2023) Impactos de Eventos Extremos sobre Obras de Tomas en la Región Litoral de Argentina. Proyecto Convenio INA - SlyPH MOP (ID 19). Informe INA-2023. Link: <https://www.ina.gov.ar/archivos/publicaciones/IF%20SCRL%20TOMAS%20DE%20AGUA%20-%20LITORAL-%20MARZO%202023%20v6.pdf>

Ramonel, C, Collins, P, Prendes, H., Serra Meng, P. (2020). Las bajantes y sus impactos. Cap. 16 del libro *El río Paraná en su tramo medio*. Tomo III. C. Paoli y M. Schreider, Editores. 2ª edición actualizada. Ediciones UNL, Santa Fe. Argentina.

PERSPECTIVA GLOBAL DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CAUDALES EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Omar V. Müller¹, Patrick McGuire², Pier Luigi Vidale² y Ed Hawkins

¹ Centro de Estudios de Variabilidad y Cambio Climático (CEVARCAM), Facultad de Ing. y Cs. Hídricas (FICH), Universidad Nacional del Litoral (UNL) y CONICET, Argentina

ovmuller@gmail.com, Ciudad Universitaria, Santa Fe, CP 3000, 0342-4575233 int 115

² University of Reading and National Centre for Atmospheric Science, Reino Unido

Introducción

Los ríos son vitales para el ciclo del agua, la agricultura, el transporte y la energía, pero bajo condiciones anómalas pueden producir daños devastadores. El cambio climático está intensificando todos los componentes del ciclo global del agua (Caretta y otros, 2022). Los cambios en la cantidad e intensidad de la precipitación, y/o los cambios en la interacción entre la humedad del suelo y la evapotranspiración pueden alterar la generación de escurrimiento produciendo caudales anómalos. La magnitud de estas anomalías dependerá del tipo de cuenca y de la intensidad del cambio.

En el contexto del calentamiento global, las proyecciones indican un aumento generalizado en la precipitación y escorrentía a nivel global, pero con variaciones regionales sustanciales (Douville y otros, 2021). Por ello resulta importante explorar los cambios esperables en todos los ríos del mundo. El objetivo de este trabajo es investigar los posibles efectos del calentamiento global en el caudal de los ríos a escala global en las próximas décadas, mediante el análisis de simulaciones hidrológicas globales utilizando técnicas novedosas como la denominada Tiempo de Emergencia (ToE por su expresión en inglés).

Datos y métodos

Se realizaron 18 simulaciones hidrológicas globales para evaluar cómo se espera que los caudales cambien en un futuro cercano (2015-2050) en comparación con el pasado reciente (1950-2014). Las simulaciones se forzaron con escurrimiento superficial y subsuperficial generado por modelos del Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 - High Resolution Model Intercomparison Project (CMIP6-HighResMIP), cuyas proyecciones consideran un escenario de alta emisión. Como se aprecia en la Tabla 1, las simulaciones incluyen cinco familias de modelos climáticos globales (GCMs por su expresión en inglés): CNRM-CM6, EC-Earth3P, HadGEM-GC31, MRI-AGCM3-2 y NICAM16, que varían en el tipo de simulación y la resolución horizontal. El tipo de simulación puede ser atmósfera-suelo (AMIP) u océano-atmósfera-suelo (COUPLED). Todos los modelos presentan simulaciones AMIP, pero solo CNRM-CM6, EC-Earth3P y HadGEM-GC31 tienen simulaciones COUPLED. Además, todos los modelos produjeron simulaciones de baja y alta resolución, excepto la familia HadGEM-GC31 que también ofrece resolución intermedia. La resolución horizontal varía entre 25 km y 250 km. Notar que los resultados aquí presentados se focalizan en la media del ensamble conformado por las 18 simulaciones, independientemente del tipo de simulación y la resolución.

Los caudales se estiman utilizando un modelo de enrutamiento de ríos llamado Total Runoff Integrating Pathways (TRIP). En cada punto de grilla TRIP usa la escorrentía para estimar el almacenamiento de agua en la celda y el caudal de salida de la misma. Es importante destacar que el modelo no gana ni pierde

agua, por lo que el caudal simulado se puede asociar directamente al modelo climático que lo forzó. Las simulaciones se ejecutan a nivel global (excluyendo la Antártida) a una resolución común de 0,25°. El período simulado se extiende desde 1950 hasta 2050 a una escala de tiempo mensual, considerando 1950-2014 como la climatología actual (en adelante, PRESENTE) y 2015-2050 como el futuro cercano (en adelante, FUTURO).

Tabla 1.- Simulaciones GCM

GCM	Tipo de simulación	Resolución
	AMIP, COUPLED	[km]
CNRM-CM6-1	si, si	250
CNRM-CM6-1-HR	si, si	50
EC-Earth3P	si, si	100
EC-Earth3P-HR	si, si	50
HadGEM-GC31-L*	si, si	250
HadGEM-GC31-MM	si, si	100
HadGEM-GC31-HM	si, si	50
MRI-AGCM3-2-H	si, no	50
MRI-AGCM3-2-S	si, no	25
NICAM16-7S	si, no	100
NICAM16-8S	si, no	50

*=M para AMIP (HadGEM3-GC31-LM) y

*=L para COUPLED (HadGEM3-GC31-LL)

Para entender los cambios esperados en los ríos en las próximas décadas se hace un análisis de tres pasos. En primer lugar, se identifican las principales diferencias entre FUTURO y PRESENTE en variables hidrológicas clave. En segundo lugar, se estima el ToE de la descarga global de los ríos. Por último, se centra la evaluación del flujo de los ríos en aquellos que pueden resultar peligrosos debido a las desviaciones significativas de su flujo medio histórico.

Para comparar FUTURO con PRESENTE, se evalúan las anomalías esperadas en el futuro cercano (2015-2050) con respecto al pasado reciente (1950-2014) de la precipitación terrestre, la evapotranspiración, y el escurrimiento. Luego, se centra el análisis en los caudales para entender cómo las anomalías en la escorrentía terminan alterando los diferentes ríos del mundo.

Se calcula la relación señal ruido (S/N) y el ToE siguiendo el enfoque propuesto por Hawkins et al. (2012). El objetivo del método es separar la señal del cambio climático (S) de la variabilidad natural (ruido N). En este trabajo, el método se aplica a la anomalía anual del caudal de los ríos de cada simulación, utilizando el período PRESENTE como base para calcular las anomalías en todo el período (1950-2050). El ToE es el año en el cual S emerge del rango de variabilidad histórica [-N,N]. Mas detalles del método en Hawkins et al. (2012).

Este análisis permite identificar los ríos cuyas predicciones sugieren un cambio de su clima *conocido* a un clima *desconocido* o incluso *inusual*. Estos ríos se evalúan individualmente para determinar cuándo se espera que ocurra el cambio, sus efectos sobre la dinámica del ciclo anual y su impacto sectorial potencial.

Resultados

La Figura 1 muestra la evolución temporal de las anomalías de la descarga global de los ríos en el período completo (1950-2050) junto a la señal S (línea punteada). Las líneas horizontales punteadas son los umbrales que permiten identificar el año en el cual la señal del cambio climático emerge de la variabilidad natural (N) hacia un clima *desconocido* (período gris claro) o hacia un clima *inusual* (período gris oscuro). Como se observa, las simulaciones hidrológicas proyectan una clara tendencia positiva en los caudales desde el ~2000, que excede los niveles de variabilidad natural en 2016 y se vuelve *inusual* en el 2032. Esta tendencia se sostiene por fuertes aumentos de caudales de los ríos de África central, este de Rusia, Alaska y Groenlandia.

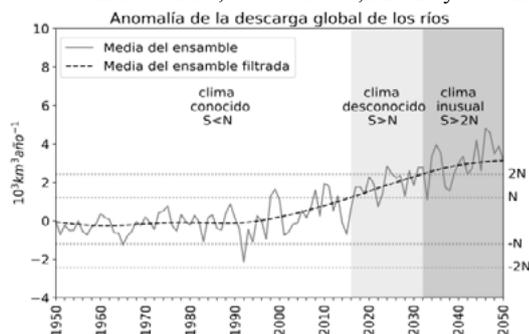


Figura 1.- Evolución temporal de las anomalías de la descarga global de los ríos (línea sólida gris) junto a su versión filtrada (línea negra discontinua). El período PRESENTE se utilizó como base para el cálculo de las anomalías.

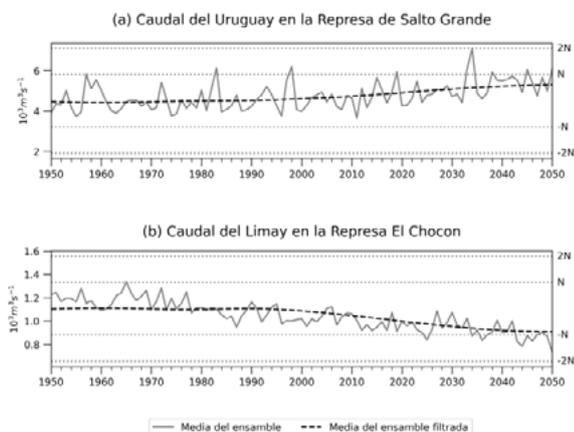


Figura 2.- Evolución temporal de los caudales simulados para (a) el río Uruguay en la Represa de Salto Grande y (b) el río Limay en la Represa El Chocón.

En Sudamérica los resultados muestran que algunos ríos proyectan cambios importantes en sus caudales, pero ninguno excede los límites de su variabilidad histórica. En particular, el

río Paraná y principalmente el Uruguay presentan un aumento en sus caudales que podría conducir a crecidas más frecuentes (Figura 2a). Contrario a la tendencia global positiva, los ríos de la Patagonia, presentan anomalías negativas para las próximas décadas. La Figura 2b muestra como el río Limay muestra una clara señal de reducción del caudal medio hacia mitad de siglo, que podría incluso atravesar el umbral de variabilidad histórica (-N) si la simulación se extendiera hasta finales de siglo. Las observaciones de caudales en la Patagonia indican que efectivamente estos ríos van en esa dirección, con un aumento en la frecuencia de sequías hidrológicas (Rivera y otros, 2021). Inclusive, los bajos niveles de los ríos motivaron a las autoridades a declarar en 2022 la emergencia hídrica en las cuencas del río Limay, Neuquén y Negro, limitando la operación de las represas para garantizar la disponibilidad del agua en las zonas afectadas.

Conclusiones

A escala global, el ensamble de simulaciones realizadas muestra un aumento significativo de los caudales, cuya señal excede el rango de variabilidad histórica y tiende a condiciones *inusuales* en las próximas décadas. No obstante dicha tendencia no es homogénea para todos los ríos del mundo. En particular, los ríos de Sudamérica presentan tanto tendencias positivas como negativas (dependiendo de la cuenca) pero en ningún caso exceden el rango de variabilidad natural. Para el río Uruguay se proyecta un aumento importante de caudales que podría aumentar la frecuencia de inundaciones. Por otro lado, los ríos que se extienden por la Patagonia Argentina proyectan reducciones significativas de los caudales. El déficit hidrológico de estos ríos podría reducir la capacidad de generación de energía hidroeléctrica debido a los bajos niveles de agua en las represas, a la vez que limita la disponibilidad de agua para el consumo humano, para la ganadería y para la irrigación afectando la agricultura.

Si bien resulta preocupante que varios ríos importantes se proyecten a cruzar el límite de su variabilidad natural, las predicciones hidrológicas se basan en un escenario de altas emisiones, y deben interpretarse como un límite superior para la toma de decisiones.

Referencias Bibliográficas

- Caretta, M., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, y S. Supratid (2022). "Chapter 4: Water". *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editado por Pörtner, H.-O., D. Roberts, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, y B. Rama. Páginas 551–712, Cambridge University Press, Cambridge, UK y New York, NY, USA.
- Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R. Allan, P. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A. Cherchi, T. Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tierney, y O. Zolina (2021). "Chapter 8: Water Cycle Changes". *Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editado por Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. Matthews, T. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou, B. Páginas 1055–1210, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Hawkins, E. y R. Sutton (2012). "Time of emergence of climate signals". *Geophysical Research Letters*, Vol. 39.
- Rivera, J., S. Otta, C. Lauro, y N. Zazulie (2021). "A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina". *Frontiers in Water*, Vol. 3, 640544.

DETERMINACIÓN DE HUMEDALES EN GRANDES EXTENSIONES MEDIANTE GEE Y ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Navarro, MF.¹, Navarro, CS.¹, Barrios, R., Calamari, N.¹, Dieta, V.¹, García Martínez, G.¹, Iturralde Elortegui, MR.¹, Kurtz, DB.¹, Michard, NJ.¹, Paredes, P.¹, Saucedo, G.¹, Alday, S.¹, Cianfagna, F.¹, Curcio, M.¹, Enriquez, A.¹, Lopez, A.¹, Miranda, F.¹, Pezzola, A.¹, Umaña, F.¹, Vidal, C.¹, Winschel, C.¹, Albarracín Franco, S.¹, Alvarenga, F.¹, Behr, S.¹, Cremona, M.V.¹, Gavier Pizarro, G.¹, Mosciaro, MJ.¹, Perucca, R.¹, Sepulcri, MG.¹, Utrilla, V.¹, Zadora Gomez, JP.¹, Livragui, E.¹, Sica, Y.¹,

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina

E-mail: navarroderau.maria@inta.gob.ar, navarro.carlossaul@inta.gob.ar

Introducción

Todos los procesos de la vida dependen del agua, desde el crecimiento de las plantas y los ciclos reproductivos de algunos animales hasta la subsistencia humana. Los humedales son, por lo tanto, parte de un delicado equilibrio ambiental. Según Ramsar (2018) estos ecosistemas representan aproximadamente el 8% de la superficie terrestre y, a pesar de estar entre los ecosistemas que más servicios ambientales brinda, se encuentran en un sustancial declive, con una pérdida del 35% de su superficie, desde 1970 a la actualidad. Es evidente que las consecuencias del cambio climático están ocurriendo más rápido de lo previsto y, en este marco, el suministro adecuado de agua resulta fundamental, siendo los humedales esenciales para la seguridad hídrica. Por ello, disponer de información precisa sobre la ubicación y extensión de los humedales permite gestionarlos adecuadamente y tomar decisiones informadas sobre su conservación y uso sostenible manteniendo o mejorando su funcionamiento. No obstante, dada la dinámica propia de estos ecosistemas, su identificación y cuantificación han presentado múltiples dificultades. Sin embargo, en las últimas décadas, los avances en teledetección y sistemas de información geográfica, con nuevas tecnologías de computación en la nube permitiendo el almacenamiento y procesamiento de grandes conjuntos de datos, hacen factible el mapeo y monitoreo de humedales en grandes regiones y a lo largo del tiempo. En este trabajo implementamos un algoritmo de aprendizaje automático en la plataforma Google Earth Engine (GEE) que nos permitió identificar y estimar la superficie de humedales en el país mediante el análisis de 20 años de imágenes satelitales de resolución espacial de 30 m.

Área de estudio

El presente trabajo fue conducido a nivel de todo el país, abarcando un área de 2.8 M km². La variabilidad inter e intraanual de los humedales, particularmente respecto al tamaño, extensión y conexión hidrológica local, está dominada mayormente por el momento y la cantidad de precipitación estacional, las variaciones meteorológicas anuales y los cambios climáticos a largo plazo (Hird et al. 2017). Dadas estas particularidades, dividimos el país en regiones y subregiones, según Benzaquen et al. (2017)

Aproximación metodológica

Si bien no hay una única definición de humedal, a modo operativo para este trabajo asumimos la adoptada por COFEMA (2016), la cual propone como rasgos distintivos de humedales la presencia de agua superficial o subsuperficial, biota adaptada a estas condiciones y/o suelos hídricos o sustratos con rasgos hidromórficos. Los humedales son sistemas espacial-y temporalmente dinámicos que experimentan ciclos de fases húmedas y secas a escala estacional, anual y decadal. Esta variación en la oferta hídrica, así como otros factores que interactúan entre sí

(tipo de humedal, geomorfología, suelo, vegetación, clima, tiempo y usos circundantes) determinan la existencia de una variación espacio-temporal (elasticidad) desde los bordes del humedal, donde la presencia de agua es más efímera, hasta el centro del mismo donde el agua puede ser permanente. Por esta razón y, a fin de predecir la probabilidad de la presencia de un humedal, seguimos un enfoque probabilístico, en base a la presencia de agua superficial, vegetación (a través del análisis de series temporales de la fenología de la vegetación) y, características hidrogeomorfológicas (mediante datos topográficos). Este proceso se realizó en la plataforma de código abierto y acceso libre GEE, siguiendo el enfoque de la Figura 1. Dado que el objetivo de este trabajo fue determinar la ubicación y extensión de los humedales en Argentina, hemos considerado solo dos clases: humedales y no humedales.

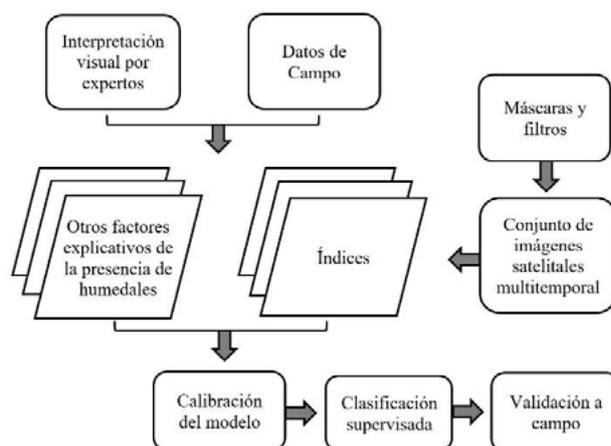


Figura 1.- Flujo de trabajo

Para la determinación y obtención de un mapa preciso de humedales es clave considerar variables óptimas. Según estudios previos (Hird et al. 2017, Amani et al. 2019, entre otros), las variables derivadas de sensores ópticos y de modelos de elevación tienen el mayor potencial para discriminar diversos tipos de humedales. En la Tabla 1 mostramos las variables utilizadas en el presente estudio. Asimismo, incorporamos datos vectoriales, tanto en el proceso de obtención de las muestras de entrenamiento como en la generación de máscaras utilizadas en el proceso de clasificación. Analizamos un total de 54.720 imágenes satelitales y utilizamos 26.000 sitios de entrenamiento para todo el país. Para la clasificación de los humedales aplicamos el modelo Random Forest (RF), dada su eficacia para cartografiar con precisión la cobertura del suelo en paisajes altamente complejos y heterogéneos, y debido a que mostró el mejor desempeño en la separación de los humedales respecto a los demás usos/coberturas del suelo. Las clases de usos/coberturas fueron recodificadas de manera binaria 1-0 (siendo 1 humedales y 0 no humedales). Luego, transformamos los valores de frecuencia, obtenidos a partir de la clasificación, a valores de probabilidad

mediante una regresión logística binaria y el conjunto de datos de referencia relevados a campo. Finalmente, validamos la clasificación con datos a campo.

Tabla 1.- Lista y descripción del conjunto de datos utilizados en el análisis y las variables derivadas de los mismos

Conjunto de datos	Descripción	VARIABLES derivadas
MDE 30m	Modelo digital de elevación (MDE-Ar v2.0) desarrollado por IGN	TPI y TWI (índices topográficos de posición y humedad)
Imágenes ópticas	54720 imágenes satelitales de los sensores Landsat 5 y Landsat 8 de un período de 20 años (2000-2020)	NDVI, SAVI, MNDWI1, MNDWI2, NDWI1, NDWI2, bandas espectrales
Mapa global de superficie con agua	Conjunto de datos conteniendo ubicación y distribución temporal de aguas superficiales a nivel mundial, desde 1984 a 2020	Se utilizaron las bandas originales (ocurrencia, recurrencia y estacionalidad)
Datos auxiliares	Datos vectoriales de: cuerpos de agua continental y de cursos de agua permanentes y transitorios; urbanizaciones	

Resultados y discusión

Los humedales determinados por el algoritmo se correspondieron con los datos relevados a campo a partir de la frecuencia igual o mayor a 0.5 lo cual equivale a una probabilidad de 70% (Figura 2). A partir de este valor de frecuencia y hasta aproximadamente 0.7 se correspondieron, en general, con la zona de elasticidad del humedal o bien con humedales donde la presencia de agua es semipermanente. En algunos casos, según observamos a campo, algunos valores de frecuencia en este rango concordaron con una disminución paulatina de la superficie del humedal, posiblemente debido a una mayor presión de uso en áreas circundantes y/o al cambio climático. Es necesario aclarar que la frecuencia refiere a al número de veces que el clasificador le otorgó la categoría correcta a la clase.

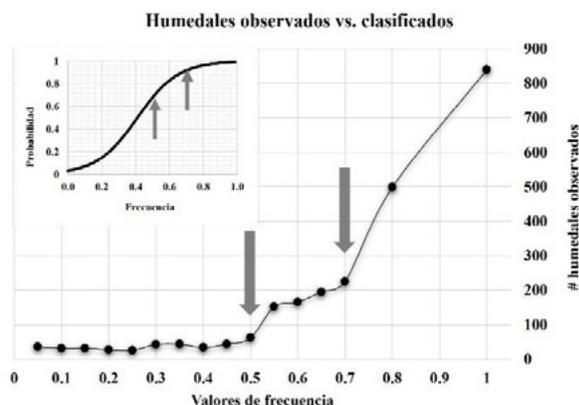


Figura 2.- Relación entre valores de frecuencia y valores observados a campo. Arriba a la izq., transformación a valores de probabi-

La mayor concentración de humedales se encuentra en la región centro este y noreste del país, seguida por las regiones este y extremo sur de la Patagonia, donde se concentra la mayor cantidad de mallines y turberas del país (Figura 3). La superficie total de humedales de Argentina, considerando valores de probabilidad superiores a 70%, es de 265.200 km², lo que representa el 9,5% de la superficie total del país. La exactitud global fue de 89,3%,

mientras que la exactitud del productor y del usuario (especificidad y precisión, respectivamente) para la clase humedales fue, en ambos casos, del 85%. Consideramos esto un muy buen nivel de precisión teniendo en cuenta la inmensidad del área clasificada y la diversidad de coberturas.

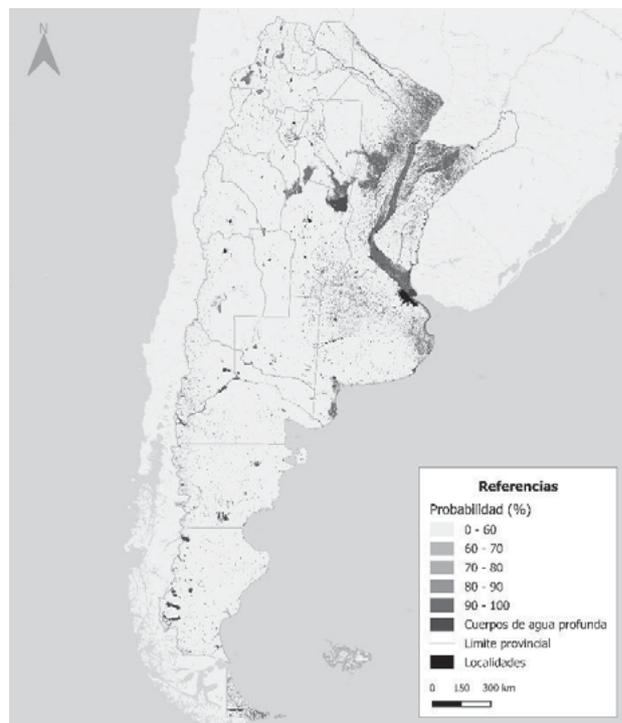


Figura 3.- Distribución de humedales en la Rep. Arg.

Conclusiones

- El enfoque seguido en el presente trabajo y la documentación del mismo, disponible y accesible, permite ser replicado a múltiples escalas y en cualquier parte del territorio nacional.
- El uso de información de base según las tres características distintivas de los humedales (suelos hídricos, agua en superficie o a menos de 50 cm y vegetación hidrófila) mejoró la precisión en la identificación de los humedales.
- Este trabajo logró una alta precisión, incluso considerando la superficie de Argentina (2,78 Millones km²), a un bajo costo económico y con un método de análisis eficiente.
- El enfoque metodológico conducido sienta las bases para futuros estudios sobre la dinámica de los humedales, inventarios, etc. y brindar un sólido aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Referencias bibliográficas

- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mohammad Javad Mirzadeh, S., Hopkinson, C. 2019b. Canadian wetland inventory using Google Earth Engine: The first map and preliminary results. *Remote Sens.*, 11(7), 842. <https://doi.org/10.3390/rs11070842>
- Benzaquen, L., Blanco, D., Bo, R., Kandus, P., Lingua, G., Minotti, P., Quintana, R. 2017. Regiones de humedales de la Argentina, 337 pp
- Hird, J.H., DeLancey, E.R., McDermid, G.J., Kariyeva, J. 2017. Google Earth Engine, open-access data and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote Sens.*, 9, 1315. <https://doi.org/10.3390/rs9121315>

FERTIRRIEGO POR SURCO ALTERNO PARA MAÍZ EN EL VALLE INFERIOR DE RÍO NEGRO

Neffen^{1,2}, E.; Zelmer¹, H.R; Muzi^{1,2}, Enrique; Reinoso², L.G.; Martinez^{1,2}, R.S.

¹EEA INTA Valle Inferior Río Negro, (8500) Viedma, Argentina. ²Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica. (8500) Viedma, Argentina.

E-mail: neffen.evelyn@inta.gob.ar

Introducción

El VIRN, también conocido como Valle de Viedma y Valle del IDEVI, es una zona agrícola de regadío. Corresponde actualmente a un área de 24.000 hectáreas con infraestructura de riego y drenaje (Papadakis, 1960; Masotta, 1975), de las cuales 18.316 has se encuentran empadronadas. Están distribuidas en 524 parcelas de entre 30 y 200 hectáreas (Villegas Nigra, 2014).

El clima semiárido propio de la región genera la necesidad de riego artificial para cubrir los requerimientos hídricos de los cultivos. Es por ello que en la actualidad el IDEVI continúa incrementando y empadronando nuevas superficies bajo riego con inversión de capitales privados, aprovechando la infraestructura troncal para riego existente (Musi Saluj, 2015). En la temporada 2020-2021 se ha alcanzado la mayor superficie trabajada desde la creación del IDEVI, superando las 20.000 hectáreas (IDEVI, 2021).

La fertilización y el riego simultáneo son los factores de manejo importantes para ejercer influencia positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas, especialmente cuando los nutrientes son aplicados en momentos estratégicos del cultivo (Baligar *et al.*, 2001). Considerando las problemáticas de ingresar a fertilizar en estados avanzados del cultivo, el fertirriego constituye una técnica que prescinde del uso de maquinaria, optimiza el uso del agua y los nutrientes y permite elegir momentos adecuados de dosificación.

Objetivos

Estudiar la dinámica del fertirriego para dos alternativas de fertilizante nitrogenado, cuantificando su relación con el cultivo de maíz (eficiencia en el uso del agua y productividad) y comparándolo con la aplicación convencional en suelo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el valle Inferior del río Negro (40° 47' S; 63° 03' O), sobre 2,4 hectáreas de la Chacra B11 en un suelo sin limitaciones para la producción, sobre un cultivo de maíz de ciclo intermedio (Híbrido KWS 3916) sembrado el 25/10/2022 con una densidad de 85.000 plantas ha⁻¹.

Se estudiaron tres tratamientos, aplicación convencional con urea en suelo (ACU), y fertirriego con dos tipos de fertilizantes granulados: urea (46-0-0) (FU) y Novatec (FN) (45-0-0). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones.

Todos los tratamientos se regaron con una manga de polietileno con boquillas regulables bajo la técnica de riego por surco alterno para aumentar la eficiencia en el uso del agua (EUA) y la productividad de agua (PA) (Neffen, 2020). Se aplicaron 46 kg N. ha⁻¹ en V4 y 36 kg N. ha⁻¹ el comienzo de la floración masculina (VT).

La programación del fertirriego se realizó evaluando el desempeño de los 2 riegos previos a fertirrigar, estimando su comportamiento con el software WinSRFR.

En cada riego se determinó:

Aforo: de caudal erogado por la boquilla de riego.

Medición del tiempo de avance y receso del frente de agua

Número de surcos regados simultáneamente.

Tiempo de aplicación: se registró el tiempo total de ingreso de agua a la parcela regada.

El tiempo de riego se estableció cuando en la mitad de los surcos evaluados el agua llegó al final del mismo.

Se utilizó el Kit de fertirriego de P&R, conectando el mismo al TRC de la manga (Figura 1). La solución de fertirriego se preparó en 200 litros de agua, la solución madre fue de 0,4 kg.L⁻¹ y el ritmo de aplicación de 5,7 L.m⁻¹. El fertirriego inició cuando transcurrió la mitad del tiempo de riego con el objetivo de mejorar la distribución del fertilizante.

Figura 1: Instalación del kit de fertirriego en la manga de polietileno para el riego por surco alterno en el cultivo de maíz en el VIRN.



La productividad de agua (PA), y la eficiencia de uso del agua (EUA), se calcularon a través de los cocientes (Van Halsema & Vincent, 2012; Caviglia *et al.*, 2004):

$$PA = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{agua evapotranspirada}} \quad [1]$$

$$EUA = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{agua aplicada}} \quad [2]$$

Los resultados de rendimiento en grano, EUA y PA fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA), DGC con nivel de riesgo α del 5 %.

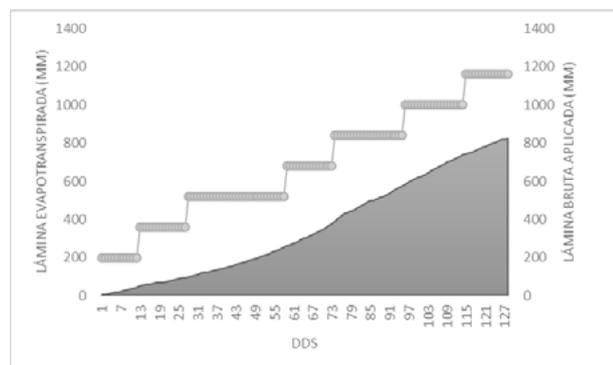
Resultados

La lámina evapotranspirada por el cultivo de maíz de 128 días en el valle Inferior de Río Negro fue de 824 mm. Otros estudios para el valle mencionan láminas de 650 mm (Neffen, 2020), variando según condiciones ambientales y genéticas.

La lámina bruta aplicada por el productor fue de 1160 mm, con 7 riegos y una frecuencia promedio de 18 días.

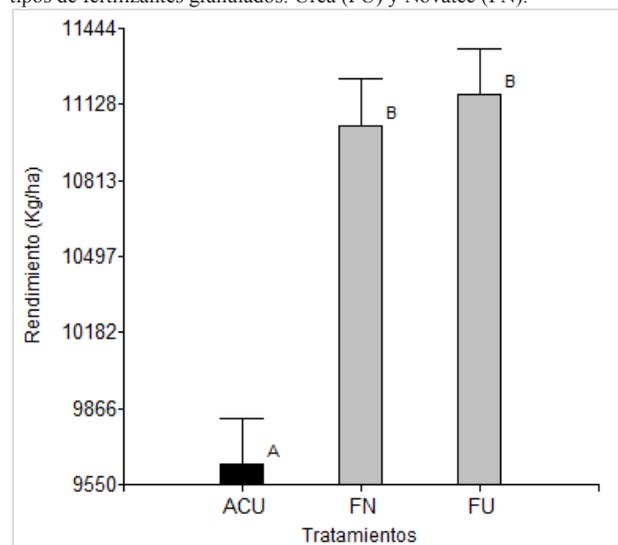
Los eventos evaluados bajo riego por surco Alterno, representan el manejo típico que realiza dicho productor, y describieron una eficiencia de aplicación promedio de 68%. (Gráfico 1)

Gráfico 1: Comparación entre la lámina evapotranspirada (área) y la lámina bruta aplicada (línea continua), sobre el eje x representando el tiempo transcurrido como los días después de la siembra (DDS).



El rendimiento de grano promedio fue de $10615 \pm 788 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dentro de un rango de 9401 a $11327 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, considerándose adecuado si tenemos en cuenta un requerimiento de 22 kg de N por tonelada producida (Ciampitti & Garcia, 2007). Se encontraron diferencias estadísticamente significativamente entre los tratamientos ($p=0,01$), los mayores valores de rendimientos se asocian al fertirriego, tanto con Urea como con Novatec. (Gráfico 2)

Gráfico 2: Rendimientos de grano de maíz según los tratamientos: aplicación convencional con urea en suelo (ACU), y fertirriego con dos tipos de fertilizantes granulados: Urea (FU) y Novatec (FN).



Para la EUA y PA existen diferencias estadísticamente significativamente entre los tratamientos ($p=0,01$), los mayores valores se asocian al fertirriego (FU, FN), específicamente $0,95 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ y $1,35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Mientras que para ACU se registraron valores de EUA y PA de $0,83$ y $1,17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Otros autores han encontrado para técnicas de riego por surco en maíz valores de EUA del orden de $1,15-3,38 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Neffen, 2020; Reinoso, 2014), $1,5-2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Montemayor Trejo *et al.*, 2012) y valores similares en condiciones de secano $0,8-1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Conclusiones

Como conclusiones preliminares, se destaca el aumento en el rendimiento para los tratamientos con fertirriego, específicamente un 14% superior, sin encontrarse diferencias significativas para los tipos de fertilizantes nitrogenados, factor a considerar por los valores de adquisición de cada uno. En términos de facilidad de preparación para diluirlos no se encontraron diferencias en su manipulación.

Considerando las problemáticas de ingresar a fertilizar en estados avanzados del cultivo, el fertirriego constituye una técnica que prescinde del uso de maquinaria, optimiza el uso del agua y los nutrientes y permite elegir momentos adecuados de dosificación.

Para futuros estudios se considera establecer como última aplicación convencional con urea en suelo (ACU) al estado fenológico de octava hoja expandida (V8), que es el último momento de ingreso con maquinaria; ya que este tratamiento a pesar de ser el que menor rendimiento presentó, se vio favorecido por realizarlo de forma manual en el suelo, forzando su posible aplicación con el resto de los tratamientos en fertirriego (FU, FN) durante floración masculina (VT).

Agradecimiento

Agradecemos la colaboración de Rubén Soruco y Nora Kugler por brindarnos el espacio de trabajo y colaborar en la toma de datos. Este trabajo fue financiado por el Proyecto de INTA "Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de regadío" (PE 505) y "Herramientas para la gestión eficiente y sostenible del recurso agua en las valles irrigados de Viedma y General Conesa" (PL 456)

Referencias Bibliográficas

- Baligar, VC, Fageria, NK y He, ZL. (2001) Eficiencia en el uso de nutrientes en las plantas. Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas, 32: 7, 921-950.
- Ciampitti, I. & F. Garcia. (2007). Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Informaciones Agronómicas N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. Field Crops Res. 87:117-129.
- Masotta, H.T. (1975). Reconocimiento detallado de suelos con fines de riego en el área de influencia del canal secundario VII. Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Serie Técnica 5. Instituto de Desarrollo del Valle Inferior del Río Negro (IDEVI). Estación Experimental de Riego y Cultivos. 98 pp
- Montemayor Trejo, A; Lara Míreles, J.; Woo-Reza, L.; Munguía López, J.; Rivera González, M.; Trucíos Cacicano, M. (2012). Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la comarca Lagunera de Coahuila y Durango, Méjico. Agrociencia 46: 267-278.
- Musi Saluj, C.A. (2015). Flujo de la información entre las instituciones de investigación y extensión agropecuaria y los productores. La capacitación Agropecuaria en el Valle Inferior del Río Negro. Tesis. Universidad Nacional del Comahue (UNCo). Viedma, Río Negro. Argentina.
- Neffen, E. (2020). Alternativas de manejo en riego por surco para el cultivo. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad.
- Reinoso, L.; R.S. Martínez; F. Margiotta; R.M. Martínez y P. Zalba. (2009). Estudios de frecuencias de riego sobre el rendimiento de maíz en el Valle Inferior del Río Negro. En Congreso Nacional del Agua Ed: Dirección Oficial de Impresiones, Rawson. 318 pp. ISBN: 978-987-25369-0-9.
- Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp. Ilustraciones y cuadros.
- Papadakis, J. (1960). Clima y ecología. Plan de desarrollo agrícola del Valle de Viedma. Anexo I Consejo Agrario Nacional. Italconsult. Roma.
- Van Halsema, G.E. & L., Vincent. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. Agricultural Water Management. Volumen 108: 9-15. ELSEVIER
- Villegas Nigra, H.M. (2014). Estrategia, innovación y nueva ruralidad en el valle de Viedma en la Provincia de Río Negro (República Argentina). Tesis de Magister Scientiae en Procesos Locales de Innovación y Desarrollo Rural. Universidad Nacional del Sur (UNS). Bahía Blanca (Buenos Aires). Argentina.

AVANCES EN EL MONITOREO DEL GLACIAR HIELO AZUL, RÍO NEGRO, ARGENTINA

NINI, Martín; SCHMIDT, Federico; POPOFF, Nicolás; BUDNIEWSKI, Marcos; SOTO, Hernán; LEMA, Santiago; BERGAGNO, Leonel; BODOIRA, Fernando

Departamento Provincial de Aguas (Río Negro, Argentina)
mnini.dpa@gmail.com

Introducción

Los glaciares son cuerpos de nieve y hielo que se mueven pendiente abajo por acción de la gravedad y que han sido formados por la recrystalización de la nieve. La retracción de los mismos ha sido uno de los primeros indicadores respecto de cambios climáticos a gran escala en el planeta.

Como componentes del ciclo hidrológico, son importantes en su función de reguladores de los caudales base de los escurrimientos superficiales, haciéndose notar más su efecto en los períodos de sequía.

El glaciar Hielo Azul es un glaciar de montaña ubicado en el suroeste de la provincia de Río Negro, en la cuenca del río Azul, y parte de la cuenca binacional Manso-Puelo. Su superficie es de unas 45 Ha. Es monitoreado anualmente por el Departamento Provincial de Aguas (DPA) desde el año 2011, y, además, se dispone de antiguos relevamientos y marcas en terreno, de forma aislada, que datan desde 1953 (IANIGLA, 1982; NINI, et al., 2013).



Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Metodologías de medición

A fin de poder establecer relaciones entre las mediciones temporales, se han identificado y definido puntos fijos de referencia en lugares estratégicos que permiten vincular las mediciones pasadas y las nuevas.

Las precisiones de los relevamientos topográficos han diferido de acuerdo al instrumental con el que se contaba al momento de su ejecución. En las primeras dos campañas se contó con un DGPS de simple frecuencia. Luego, en 2013 y 2014, se midieron distancias y ángulos mediante topografía clásica. Las mejores precisiones y, principalmente, mayor densidad de datos, se obtuvieron a partir de 2015, a través de un sistema DGPS de doble frecuencia, y desde la campaña de marzo de 2021 se realiza un levantamiento topográfico mediante Unidad Autónoma de Vuelo (UAV) de toda el área de estudio.

La UAV utilizada es un Parrot modelo AnafiWork®, la cámara

fotográfica permite 180 grados de pleno movimiento cenital-nadiral y capturar imágenes de 21 Mpx. Para el programa de vuelo se utilizó la aplicación Pix4D Capture®. Las imágenes captadas por las cámaras de la UAV fueron procesadas en gabinete mediante programas y herramientas específicas. Así, se obtiene por fotogrametría apoyadas en marcas en terreno georeferenciadas mediante GPS diferencial, un Modelo Digital de Superficie (MDS) y un mosaico ortorrectificado del área relevada.

Medición del retroceso del frente del glaciar

Para evaluar la velocidad de retroceso del glaciar, se midieron las áreas entre curvas de posición del frente de los mismos entre dos campañas consecutivas, dividiendo luego por el promedio de la longitud de estas dos líneas –o ancho medio del frente– para obtener la distancia promedio de retroceso entre dos campañas consecutivas. A partir de estas determinaciones, se estimaron las velocidades de retroceso para cada año con respecto al anterior.

Medición de pérdida de espesor de hielo

Se desconoce el espesor de hielo existente en el glaciar, debido a que no se cuenta con el equipamiento que permitiría estimarlo. No obstante, midiendo puntos sobre la superficie del glaciar y comparándolos con años subsiguientes, puede conocerse el espesor de hielo perdido entre diferentes años. Para esto, dadas las dimensiones del glaciar y la imposibilidad inicial de realizar relevamientos que permitan generar modelos de superficie adecuados para cuantificar estas diferencias, se escogieron tres perfiles longitudinales donde densificar los relevamientos anuales, a fin de compararlos y poder conocer en estos sectores la pérdida de espesor de hielo sufrida. Desde 2022 se comparan el MDS obtenido con la UAV en una campaña con el de la campaña anterior, pudiéndose a través de álgebra de ráster determinar pérdidas de espesores y volúmenes de hielo en el glaciar.

Monitoreo de la velocidad de desplazamiento del glaciar

El movimiento glaciar consiste en el desplazamiento de toda la masa de hielo a lo largo del terreno, accionado por la fuerza de gravedad. Para realizar el monitoreo del avance del glaciar se utilizan, desde 2016, derrubios transportados por el mismo. Para ello, se escogieron inicialmente tres rocas que se presumen estables y con poca o nula capacidad de rodar o avanzar individualmente, de manera que representen el movimiento de toda la masa de hielo (o al menos de su capa superficial), distribuidos en diferentes puntos del glaciar.

Resultados

A partir de las vinculaciones y las mediciones efectuadas, se realizaron trabajos de georeferenciación de los relevamientos volcados en el plano de IANIGLA, los puntos identificados en campo y las determinaciones de las campañas actuales, bajo entorno SIG, lo cual permitió contrastar y evaluar las diferentes ubicaciones del frente del glaciar y su variación en el tiempo,

como se observa en la Figura 2.

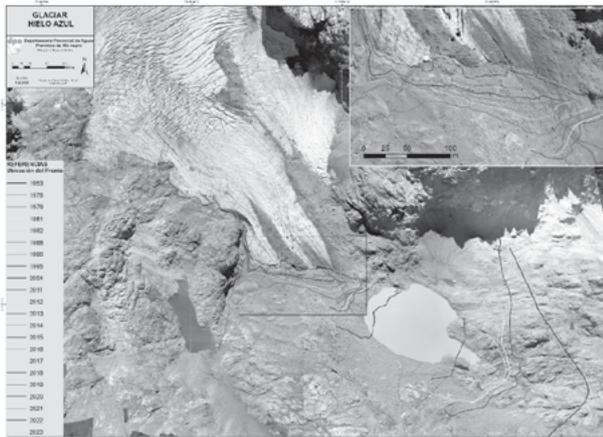


Figura 2.- Evolución temporal del frente del Glaciar.

Las tasas de retroceso medidas pueden agruparse en tres períodos bien diferenciados: un primer período (1953-1995), con tasas de retroceso anual promedio de 5.8 m/año, seguido de un período corto (1995-2004) donde este retroceso se incrementa notablemente, para luego volver a retrocesos del orden de los 6.4 m/año.

El segundo período, 1995-2004, donde se dieron mayores tasas de retroceso anual, es coincidente con la aparición de la laguna, y la ubicación del frente del glaciar sobre la misma. Esto hace presumir que la laguna ha influido en este proceso de aceleración del retroceso del frente, tanto por generar un cambio en el balance de energía, como por significar un menor sustento para la masa de hielo, aumentando la inestabilidad del frente.

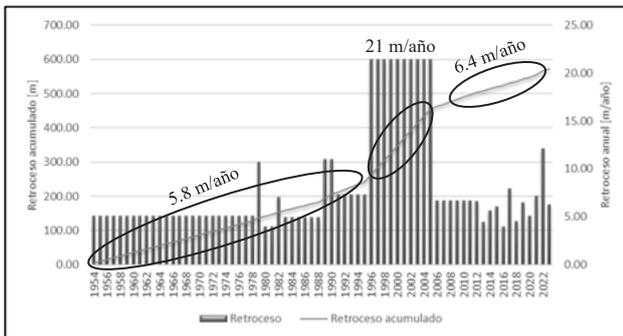


Figura 3.- Retroceso acumulado del frente del Glaciar y tasas de retroceso anual.

La pérdida de espesor medida sobre un eje central en la zona de ablación fue de alrededor de 30 m. en el período 2012-2023.

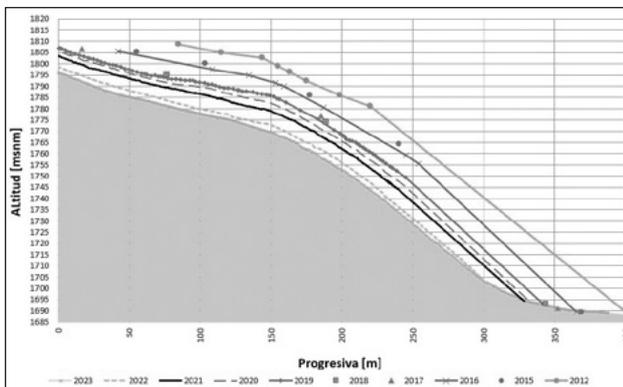


Figura 4.- Pérdida de hielo zona de ablación (2012-2023).

A partir de la comparación de los MDS obtenidos para los años 2021, 2022 y 2023, puede conocerse píxel a píxel el espesor de hielo perdido en el período. Los resultados para el año 2021-2022

muestran una pérdida de espesor mayor a 5 m para la mayor parte del glaciar, con sectores de hasta 10 m de pérdida en la zona de ablación.

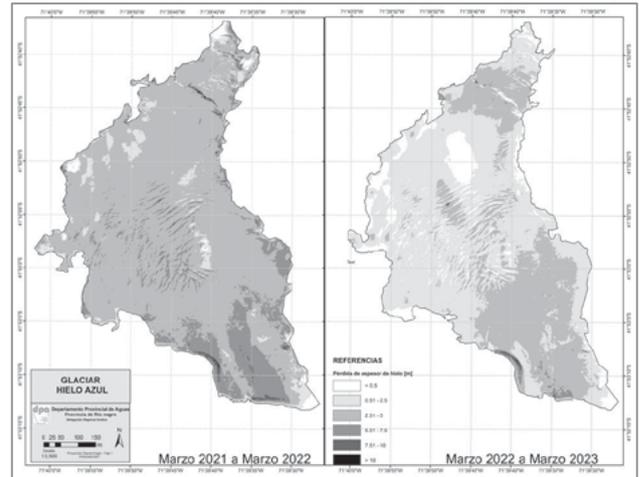


Figura 5.- Pérdida de hielo 2021-2022 y 2022-2023.

Los resultados de la medición de avance de las Rocas (R), indican velocidades de avance del glaciar de entre 3 y 8 m/año, siendo estas mayores en la parte central del glaciar, y menores en cercanías del borde de margen derecha del mismo. Esto puede deberse a una mayor fricción en las márgenes, tanto lateral como de fondo, al existir allí un menor espesor de hielo.

A su vez, en los puntos monitoreados se registraron mayores desplazamientos en los períodos más secos, lo que podría indicar también una relación entre estas variables.

El período 2021-2022 fue el más crítico en cuanto a retrocesos del glaciar y pérdidas de hielo, coincidiendo también con los mayores desplazamientos en las rocas monitoreadas.

Conclusiones

El glaciar Hielo Azul se encuentra, como la mayoría de los glaciares de la región, en constante retroceso.

Los estudios realizados arrojaron tasas de retroceso de su frente de unos 6.4 m/año desde 2011 en adelante, habiendo sufrido el glaciar un período de retroceso acelerado entre 1995 y 2004, en coincidencia con la ubicación del frente sobre la laguna.

La pérdida de espesor de hielo medida en la zona de ablación, desde 2011 hasta la actualidad, fue de alrededor de 30 m. En el año 2021-2022 se registró una pérdida de espesor promedio de casi 4 m. en toda su extensión, significando una pérdida de volumen de hielo de alrededor de 1.71 millones de m³.

Los estudios referentes a la velocidad de desplazamiento de la masa de hielo, realizados a través del monitoreo de rocas ubicadas sobre la superficie del glaciar, aportan valores de velocidades de avance del cuerpo de hielo de entre 3 y 8 m/año.

Referencias

IANIGLA (1982) Plano "Glaciar Hielo Azul. Fluctuaciones del frente del glaciar. Planialtimetría de la campaña 1982".

Nini, M.; Merg, C.; Petri, D.; Schmidt, F.; Bodoira, F.; Popoff, N.; Anteano, G. (2013) "Relevamiento y Estudio de Glaciares en la Provincia de Río Negro". CONAGUA 2013, San Juan.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación SAyDSN (2014). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. "Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones". Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Buenos Aires, Argentina.

AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE JÁCHAL EN SAN JUAN

ANTECEDENTES Y MONITOREO

Irene Ortega, Fernanda Carelli y Romina Battistella

Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS), Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
iortega@ina.gob.ar, mfcarelli@ina.gob.ar, rbattistella@ina.gob.ar

Introducción

El presente trabajo se llevó a cabo en el marco del Convenio de Asistencia y Colaboración Recíproca, acordado entre el Instituto Nacional del Agua (INA) y el Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de San Juan; cuyo objetivo es realizar un estudio y monitoreo de los acuíferos del Valle de Jáchal. En este informe se presenta el análisis y descripción de los antecedentes obrantes en el instituto como así también actualización de los niveles de agua de la cuenca subterránea en el área de estudio y de los parámetros fisicoquímicos medidos in situ. Además, se compararon las mediciones de niveles en perforaciones con los antecedentes, a fin de determinar las variaciones en el tiempo.

Ubicación y marco hidrogeológico

Para llegar al Valle de Jáchal se debe circular desde la ciudad capital de San Juan por ruta nacional N°40 hacia el norte, hasta llegar al paraje San Roque donde se empalma con ruta nacional N°150, luego se ingresa por el Portezuelo a la depresión o Valle de Jáchal. (Fig. 1).

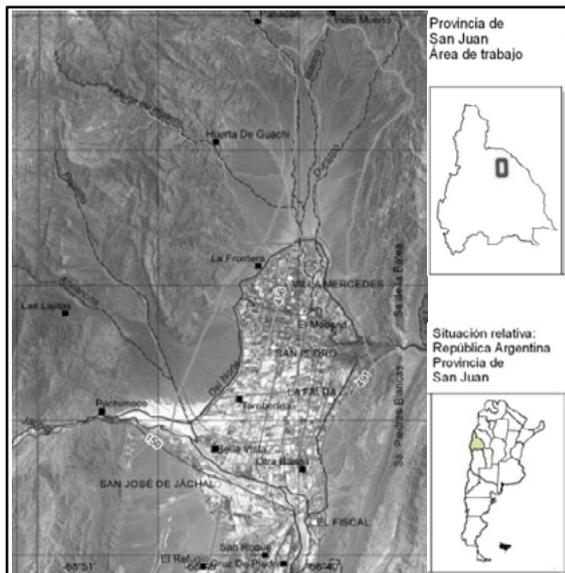


Figura 1.-Área de Trabajo. Cuenca de Jáchal

Según los antecedentes analizados de perfiles de pozos y niveles de agua subterránea en la cuenca de Jáchal, se deduce que el acuífero es de característica libre o freática; donde las perforaciones tienen profundidades que varían entre -10 y -170 m. Las principales características de un acuífero libre son por un lado su elevada permeabilidad que, desde el punto de vista químico lo hace más susceptible de estar o de ser contaminado, y por otro las amplias fluctuaciones de los niveles freáticos. Debido a esta característica es que en la zona de estudio se debe tener especial cuidado a la contaminación de las aguas subterráneas y se debe prestar atención a los ciclos hidrológicos que afectarían directamente los niveles freáticos.

Metodología

Para el análisis se han considerado por un lado los antecedentes con que cuenta el CRAS (Centro regional de Aguas

Subterráneas) en la zona de estudio y por otro los niveles medidos en el período 2021-2022, en ambos casos las mediciones se realizaron en estaciones secas y húmedas. Los antecedentes se consideraron a lo largo de 46 años, entre 1971 y 2017 donde se muestrearon 45 pozos en la cuenca de Jáchal; los que presentaron profundidades que varían entre -11 y -169 m. Además, en dicho período (1971-2017) se midieron 56 niveles para luego compararlos con 34 niveles medidos en el período 2021-2022. Durante las campañas de monitoreo, se determinaron en campo Conductividad Eléctrica (CE) y pH. Los análisis efectuados en el Laboratorio de Hidroquímica del CRAS, se realizaron siguiendo las técnicas descriptas en "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, AWWA, WEF, 1998) e incluyeron las siguientes determinaciones: Sólidos Disueltos Calculados (SDC), Alcalinidad Total (AT), Calcio (Ca⁺⁺), Magnesio (Mg⁺), Sodio (Na⁺), Carbonato (CO₃⁼), Bicarbonato (HCO₃⁻), Sulfato (SO₄⁼), Cloruro (Cl⁻), Nitrato (NO₃⁻) y Boro (B); expresándose la CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, el pH en unidades de pH, la AT en mg/l de CaCO₃ (miligramos por litro de carbonato de calcio) y finalmente los SDC y la concentración de los diferentes iones determinados en mg/l. Estos análisis permitieron caracterizar hidroquímicamente a la cuenca utilizando el Diagrama de Piper (Piper, 1944) para lo cual se consideraron los siguientes iones principales Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Na⁺, HCO₃⁻, SO₄⁼ y Cl. Además, se evalúa la calidad del agua para riego, utilizándose para ello el Diagrama de Salinidad del United State Salinity Laboratory (USSL) (Richards, 1954) y la clasificación de Flannery, modificada por Lohn (Lohn, 1970).

Resultados y Discusión

En primer lugar, se presentan los resultados de las mediciones de niveles. Con ambos grupos (antecedentes y datos actuales) se realizaron mapas de igual profundidad del agua subterránea. Al analizar la figura 2 (Izq. antecedentes – Der. datos actuales) y comparar ambos mapas se observó que de un período a otro se produjo una disminución de entre -1 a -3 m, lo que podría tener relación directa con la recarga de la cuenca. La CE es una medida de la cantidad de sales disueltas que se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. En esta cuenca, la CE (antecedentes), presenta un valor promedio de 2919 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valores máximo y mínimo de 5403 y 948 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, con un total de 40 pozos (88% de perforaciones) que superan el máximo permitido para consumo humano según la OMS (WHO, 2017). Al analizar la CE medida en los monitoreos actuales, vemos que la misma supera al valor máximo en todas las perforaciones analizadas, es decir que los valores elevados de salinidad se han mantenido, e incluso comparando con los antecedentes se observa un aumento de los mismos. Esto podría deberse a la intensa sequía que viene atravesando la provincia. Respecto al pH, en las mediciones de campo (antecedentes), se observó un valor promedio de 7,6 con un máximo y un mínimo de 8,6 y 7 respectivamente; valores aceptados tanto por el CAA (Código Alimentario Argentino) y la OMS para consumo humano. En las mediciones actuales no se observaron cambios significativos respecto a los antecedentes. El tipo de agua según el contenido de iones principales se puede observar en el diagrama de Piper de la figura 3. Allí vemos que, en la cuenca, el agua es mayormente (73% de los pozos) de tipo **Clorurada-Sódica**, y en menor medida (20% de los pozos) de tipo **Sulfatada-Cálcica** en la zona norte de la cuenca. La salinidad

debida a iones Cl^- y cationes Na^+ en el acuífero podrían deberse a la influencia del Río Salado sobre el Blanco, el cual es afluente del Río Jáchal. Por otro lado, la concentración de iones SO_4^{2-} y Ca^{++} en el norte de la cuenca podrían ser influencia del área de Pampa del Chañar cuyo origen es netamente pluvial y atraviesa zonas de calizas y azufre.

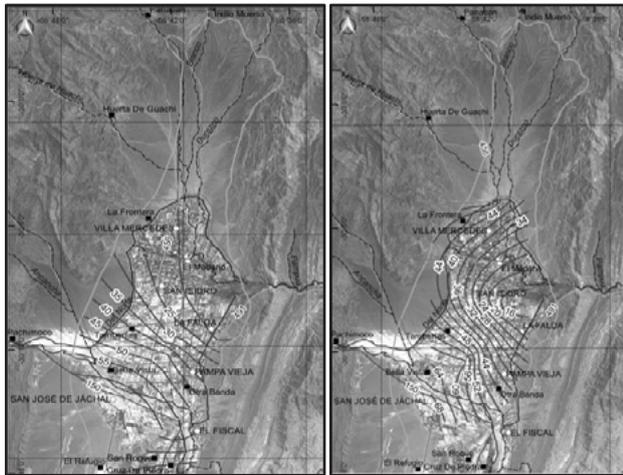


Figura 2.- Mapa de igual profundidad del agua subterránea. Izq. antecedentes – Der. datos actuales

La **AT**, definida como la suma de las cantidades de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) presentes en el agua, es una medida de la capacidad del agua a resistir a cambios en el pH. En el agua potable la alcalinidad debe tener un nivel entre 20 y 200 mg/l de CaCO_3 . En la cuenca estudiada los valores de alcalinidad total varían entre 87 y 385 mg/l de CaCO_3 .

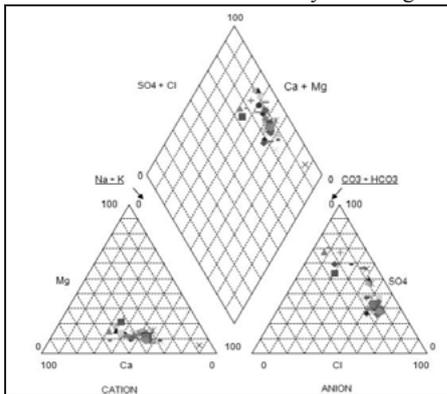


Figura 3.-Diagrama de Piper Cuenca de Jáchal (antecedentes)

La **DT** está determinada por la presencia de sales de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua. En la cuenca los valores medidos evidencian que se trata de aguas Muy Duras (según clasificación de Dureza de la OMS); con contenidos que varían entre 205 y 1420 mg/l de CaCO_3 . Además, en 33 pozos se supera el valor permitido por el CAA y la OMS para consumo humano (400 mg/l). Los valores de SO_4^{2-} medidos muestran un promedio de 527,4 mg/l y en 33 pozos se supera el valor permitido para consumo que establece el CAA. Los elevados contenidos de estos iones se corresponden con el tipo de agua ya definida en la caracterización hidroquímica. El **Cl** por su parte presenta valores que superan el recomendado en el CAA en 36 perforaciones (80% de los pozos). Los **SDC**, presentan un valor promedio de 1873,6 mg/l y se observa que en 29 perforaciones se supera el valor máximo que recomienda el CAA. Para el agua de bebida el CAA propone 0,5 mg/l de **B** como valor máximo, sin embargo, en esta cuenca el 95% de perforaciones analizadas supera dicho valor. En concordancia a la bibliografía analizada, los valores de **B** en esta zona son elevados, con antecedentes de perforaciones en las que el 95% supera el máximo permitido para

consumo humano. Al clasificar las muestras para riego, observamos (Figura 4) que en el 70% de las perforaciones el agua es de aptitud **Regular a Mala, clases IV-C₄S₁, IV-C₄S₂ y IV-C₄S₃**. Este tipo de agua debe usarse en suelos de muy buena permeabilidad y en donde se puedan practicar regularmente técnicas de lixiviación para evitar acumulaciones salinas. Los cultivos deben ser muy tolerantes a las sales y deberá tenerse presente el contenido de Boro a fin de evitar intoxicaciones de las plantas. (Lohn, 1970) Por otro lado, en el 30% de los pozos el agua es de aptitud **Buena a Regular, clases III-C₃S₁ y III-C₃S₂** y se agrupan al norte y centro de la cuenca, pero al norte del Río Jáchal (Fig. 4). Este tipo de agua es aplicable a cultivos de moderada a buena tolerancia a las sales. Los cultivos deben adecuarse a las concentraciones de Boro, pudiendo producirse algunos inconvenientes con plantas sensibles. (Lohn, 1970) Finalmente es sabido que el boro tiene importancia en relación en la fisiología de las plantas, siendo indispensable en la fertilidad de los suelos. Sin embargo, contenidos superiores a los niveles de tolerancia de cada especie vegetal en el agua de riego pueden ser nocivos para el normal desarrollo de las plantas. Si bien, en la zona estudiada los contenidos de B varían de 0,3 a 9,3 mg/l, el valor promedio es 4,5 mg/l lo que indica que este tipo de agua no es recomendable para utilizarse en cultivos sensibles (Lohn, 1970); y según la concentración, tampoco en cultivos tolerantes a dicho elemento.

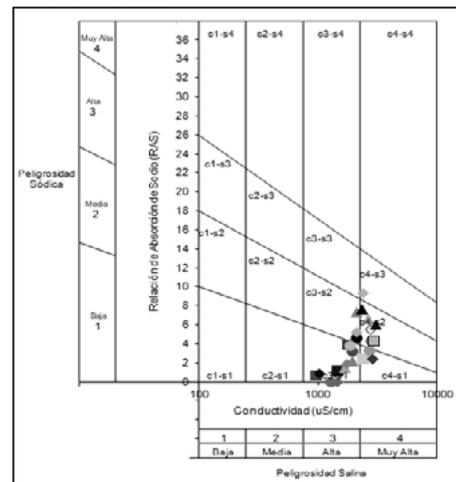


Figura 4.-Diagrama de Riverside de calidad de agua para riego según su peligrosidad salina y sódica en la Cuenca de Jáchal

En cuanto a metales pesados, el **As** es ampliamente conocido por estar presente en elevadas concentraciones en la cuenca del río Jáchal con valores que superan el límite establecido (0,01 mg/l), como sucede en las perforaciones 51, 52, 59, 60, 70 y 100. Al comparar los valores de **F** con lo recomendado por el CAA se observa que 20 perforaciones presentan valores que superan el umbral establecido para consumo. Por último, el **NO₃** supera el valor máximo recomendado en sólo 2 pozos del total analizado.

Referencias Bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Ed. 20, USA.
- Lohn P. (1970). Calidad del agua para riego – Su clasificación. Plan Agua Subterránea. Consejo federal de Inversiones. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. San Juan, Argentina.
- Piper A. M., A (1944). Graphic Procedure in The Geochemical Interpretation of Water-Analyses. Transactions, American Geophysical Union. Volume 25, Issue 6, June/September 1944, Pages 914-928.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils*, Agriculture, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.
- WHO., 2017. *Guidelines for Drinking Water Quality*, 4th ed.; incorporating 1st addendum; World Health Organization: Geneva, Switzerland.

ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN DE ORIGEN SATELITAL Y MEDICIONES IN SITU, EN LA CUENCA DEL RÍO JESÚS MARÍA - RÍO PINTO, CÓRDOBA

Lucía Paredes^{1,2,3}, Andrés Lighezzolo^{1,2,3,4}, Matías Suarez^{1,2,3,5}, Elena Lucía Sandalio^{1,2,3},
Andrés Rodríguez^{1,2,3,5}, Ricardo Ingaramo^{1,2,3}, Mariana Pagot^{1,2,3}.

¹ Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), FCEFYN, de la Universidad Nacional de Córdoba, Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

² Laboratorio de Hidráulica (LH), FCEFYN, de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

³ Observatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC), Ituzaingó 1300, Córdoba, Argentina.

⁴ Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Ruta C45, Km. 8, Falda del Cañete, Córdoba.

⁵ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.

E-mail: geol.luciaparedes@gmail.com, alighezzolo@conae.gov.ar, matias.suarez@unc.edu.ar, elena.sandalio@mi.unc.edu.ar, andres.rodriiguez@unc.edu.ar, ringaramo@unc.edu.ar, mariana.pagot@unc.edu.ar

Introducción

La Cuenca del Río Jesús María - Río Pinto es una importante región económica de la Provincia debido a su potencial agroproductivo (Budano 2021).

Con el fin de evaluar y aumentar la productividad de la zona, un elemento clave es el análisis del Balance Hídrico (BH) en dicha cuenca, para lo cual se requieren datos directos como los provenientes de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs), e indirectos como la información brindada por satélites.

El cálculo del BH es de suma importancia, ya que permite, por ejemplo, regular la extracción de agua subterránea para riego artificial, lo cual es muy importante para una región semiárida donde se inserta la Cuenca.

El BH relaciona la precipitación (P), evapotranspiración (EVT), el escurrimiento superficial (E) y la recarga de agua subterránea (AS). Resulta de comparar el total de todas las entradas que dispone la cuenca, con el total de todas las salidas de agua a lo largo de un período de tiempo determinado. De este modo, cuando la suma de las entradas supera a las salidas se tiene un balance positivo, esto significa que el acuífero se recuperará aumentando el agua almacenada, y será negativo cuando las salidas de agua sean mayores que las entradas en la cuenca, y en ese caso el acuífero se estará vaciando.

En primera instancia, para determinar el BH en la cuenca se propone trabajar sobre la caracterización de las precipitaciones.

Actualmente existe la posibilidad de medir de manera directa la precipitación en superficie a través de una red de EMAs que existe en la cuenca o inferir la misma mediante información proveniente de satélites. Esta última alternativa aventaja a la primera en cuestiones de homogeneidad, continuidad de los datos obtenidos y gran cobertura espacial (Lighezzolo et al., 2020). Sin embargo es necesario conocer el desempeño local de estos datos comparándolos con lo de las EMAs.

Palabras clave: Imágenes Satelitales, Estaciones Meteorológicas Automáticas, Sensores Remotos.

Zona de estudio

La cuenca de los ríos Jesús María - Pinto se encuentra ubicada en el sector centro-norte de la Provincia de Córdoba, Argentina. Tiene su nacimiento en las Sierras Chicas (W) y se desarrolla hacia el Este en sentido meridional teniendo su nivel de base en los bañados de la Laguna Mar Chiquita, con una superficie aproximada de 3.000 Km². En cuanto a su geomorfología se divide a la cuenca en tres sectores bien diferenciados, siendo de W a E, las Sierras Chicas, Piedemonte Oriental y finaliza con un Paleobanico Aluvial.

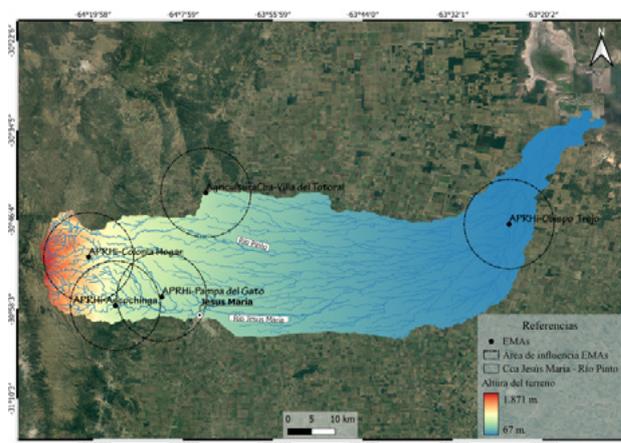


Figura 1.- Cuenca del Río Jesús María - Río Pinto, Estaciones Meteorológicas Automáticas utilizadas y sus áreas de influencia.

Objetivos

Con el fin de caracterizar la cuenca y su disponibilidad de agua en el sistema, se planteó como primer objetivo evaluar las precipitaciones en la zona de estudio por medio de imágenes satelitales y comparar las mismas, con datos de superficie provenientes de las EMAs.

Materiales y métodos

• Materiales:

1. Precipitación satelital: CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) e IMERG-GPM (Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement) Late Run.
2. Precipitación de Estaciones Meteorológicas Automáticas: Cinco EMAs heterogéneamente distribuidas y con datos para distintos períodos de tiempos, dependientes de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRH) y del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba (figura 1).

• Métodos:

En primera instancia se realizó un preprocesamiento de los datos de las EMAs mediante el cual se determinó para cada una la longitud de la serie (con diferentes fechas de inicio y final en Febrero de 2023) y la cantidad de datos disponibles (expresados en porcentajes, Figura 2).

Seguidamente se construyeron las series de datos de CHIRPS e IMERG-LATE correspondientes a los períodos de cada estación en formato raster. Se les asignó a cada estación un área de influencia (de 10 Km de radio) compatible con la menor resolución espacial de los productos satelitales, se crearon vectores para cada una de ellas y se extrajeron los datos de los rasters.

Por último se compararon los datos satelitales con los de las EMAs y se calcularon los estadísticos raíz cuadrada del Error Medio Cuadrático (RMSE), Coeficiente de Correlación (R) y el Sesgo (BIAS).

Finalmente, para realizar el procesamiento se construyeron herramientas en Lenguaje Python que facilitaron el análisis de las series de datos.

Resultados

Como se mencionó anteriormente, en primera instancia se trabajó con los datos de las EMAs.

La figura 2 muestra el porcentaje de datos completos de la serie y la fecha de inicio de cada una. En términos generales todas las estaciones cuentan con al menos un aceptable 87% de datos en la serie. Sin embargo, el porcentaje de datos podría ser un indicador de la confianza de los resultados. Por otro lado, en relación al período de tiempo de cada serie, ninguna supera los 8 años, aunque todas superan los 4.

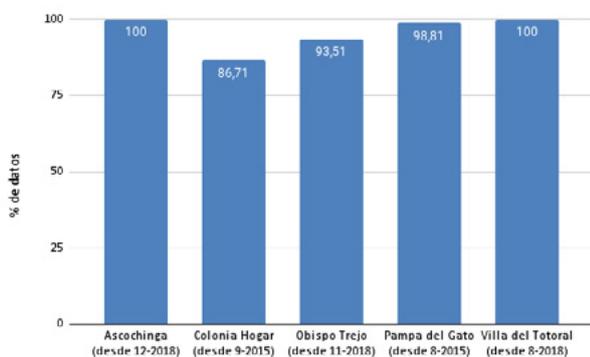


Figura 2.- Gráfico de la cantidad de datos por estación.

A continuación en la figura 3 se observan las series de tiempo para los casos de Colonia Hogar (90 meses) y Ascochinga (51 meses) que corresponden al máximo y al mínimo período de tiempo analizado.

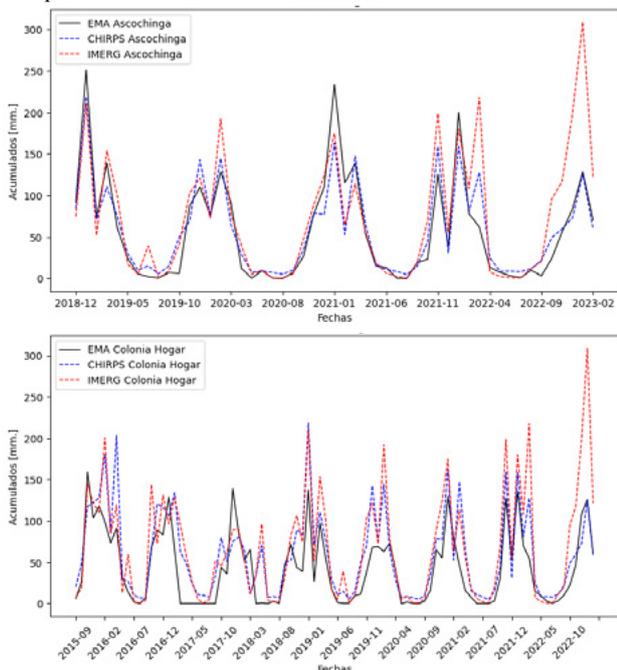


Figura 3.- Gráficos comparativos entre Satélites y EMAs (Ascochinga y Colonia Hogar).

Con las series armadas para cada estación fueron calculados diferentes estadísticos que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1.- Estadísticas para los datos de CHIRPS e IMERG obtenidas de la comparación de registros de las EMAs.

Estaciones	Error Cuadrático Medio (RMSE) [mm.]		Coeficiente de Correlación (R)		Sesgo (BIAS) [mm.]	
	Chirps	Imerg	Chirps	Imerg	Chirps	Imerg
Ascochinga	22,86	46,61	0,932	0,807	1,22	16,60
Colonia Hogar	34,67	48,34	0,815	0,793	17,51	26,29
Obispo Trejo	37,69	57,33	0,765	0,766	15,74	31,15
Pampa del Gato	36,01	49,81	0,792	0,797	-1,03	17,72
Villa del Totoral	23,50	52,16	0,885	0,869	6,95	30,60

De los resultados obtenidos se desprende que en relación al RMSE, quien muestra un mejor ajuste en los cinco casos es CHIRPS frente a IMERG-Late. En términos generales se puede decir que CHIRPS ajusta entre 1.5 y 2 veces mejor que IMERG-Late.

En cuanto al R, ambas misiones muestran una paridad entre ellos con valores que representan una buena correlación ($r > 0.75$).

Finalmente el Sesgo, en líneas generales para ambos satélites da valores positivos esto indica que tienden a sobrestimar las precipitaciones respecto a las EMAs, con excepción de un único valor negativo de Pampa del Gato y CHIRPS, que tiende a subestimar. Sin embargo, entre ambas misiones, el que mejor resultados de Sesgo arrojó fue CHIRPS.

Conclusiones

Si bien la cantidad de EMAs con las que se dispuso para trabajar fué baja y los periodos de tiempos de medición fueron relativamente cortos, el análisis realizado indica que los datos de CHIRPS se ajustaron más a los datos medidos por las EMAs. En tanto, de las cinco EMAs evaluadas la que mejor representada por la precipitación satelital fue Ascochinga. Por último, el análisis realizado permitió observar que desde el año 2021 en adelante el producto IMERG-LATE parece sobrestimar de manera notoria en los periodos del año de mayor precipitación. Se propone continuar con los estudios a partir de esta última observación.

Referencias Bibliográficas

Budano M. E., (2021). "Ordenación y propuesta de restauración de la Cuenca del Rio Jesús María (Córdoba, Arg.)". *Universidad Politécnica de Valencia*.

Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., ... & Verdin, A. P. (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. *US Geological Survey data series*, vol. 832(4), 1-12.

Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Tan, J. (2015). *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) technical documentation*. Nasa/Gsfc Code, vol. 612(47), 2019.

Lighezzolo, A., Pons, D., Machado, F., Montero, A., Mari, N., Martina, A., ... & Muñoz, A. (2020). Implementation of an operative remote sensing frost product based on GOES-16 satellite. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON) (pp. 1-7). IEEE.

VARIABILIDAD HIDROLÓGICA DE HUMEDALES EN EL ÁREA DE LA PLANICIE COSTERA DE AJÓ

Pasquale Pérez, M. P.^{1,2}, Acosta, R.^{1,2}, Carol, E.^{1,2}, Santucci, L.^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina

2. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

E-mail: mppasqualep@cig.museo.unlp.edu.ar

Introducción

Los humedales constituyen ambientes de relevancia por los numerosos servicios ecosistémicos que brindan tales como depuración de aguas, ciclado de nutrientes, acumulación de carbono y, a su vez, contribuyen con la biodiversidad del ambiente (Barbier, 2019). Comprender su funcionamiento hidrológico resulta de vital importancia ya que el agua es el principal sustento de estos ambientes.

La Planicie costera de Ajó comprende un sector del área litoral sur de la Bahía de Samborombón, donde se desarrollan numerosos humedales costeros, los cuales dependen de diversos factores para su funcionamiento hidrológico, como la marea y/o el régimen de lluvias (Carol et al., 2008). El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de variabilidad hidrológica en una región de la planicie donde los humedales asociados a canales de marea reciben aportes de agua mareal en el sector más costero, y de precipitaciones y de una planta de tratamiento de efluentes cloacales en la zona más continental.

Metodología

En base al análisis de imágenes satelitales, relevamientos hidrogeomorfológicos y mediciones de la conductividad eléctrica (CE) del agua superficial se dividió al humedal en distintos sectores considerando a cada uno de estos como zonas con características hidrológicas propias.

Con el propósito de evaluar la variabilidad hidrológica en función de las lluvias se analizaron los datos de precipitaciones medidos en la localidad de General Lavalle con el fin de seleccionar un año con déficit (precipitaciones por debajo de la media menos el desvío estándar) y uno con exceso hídrico (precipitaciones por encima de la media más el desvío estándar). Asimismo, para caracterizar el sector intermareal se definió la amplitud de marea media a partir de datos relevados por Prefectura Naval Argentina en el área costera. Posteriormente, se utilizó el programa de acceso libre Climate Engine (ClimateEngine.org, Huntington et al., 2017) para crear gráficos con valores de NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada; McFeeters, 1996) interpretándose a los valores más positivos como condiciones de mayor agua en superficie o de mayor saturación de agua en el suelo. A fin de analizar toda el área de humedal y las variaciones asociadas a las precipitaciones, se determinó en valor de NDWI para los puntos de monitoreo (Fig. 1) en los años de déficit y excesos hídricos seleccionados. Esto permitió contrastar las condiciones hidrológicas y los cambios espaciales y temporales asociados a éstas que ocurren en los distintos sectores del humedal.

Resultados

A partir del uso de imágenes satelitales y relevamientos hidrogeomorfológicos se delimitaron cuatro áreas dentro del humedal que comprenden un sector intermareal y tres sectores más continentales actualmente fuera del ciclo mareal, de los cuales uno de ellos recibe el aporte de agua desde una planta de tratamiento de efluentes cloacales (Fig. 1).

El sector del humedal intermareal recibe el aporte periódico de la pleamar que ingresa por canales de marea desde la bahía. Según los datos relevados, el régimen de mareas en el área es

micromareal semidiurno con alturas que varían entre 0,29 y 2,98 m snm. Esto determina que, independientemente del régimen de precipitaciones, este sector del humedal sea sustentado hidrológicamente por la marea. El agua superficial en este sector presenta valores de CE indicativos de agua de tipo salobre a salina.

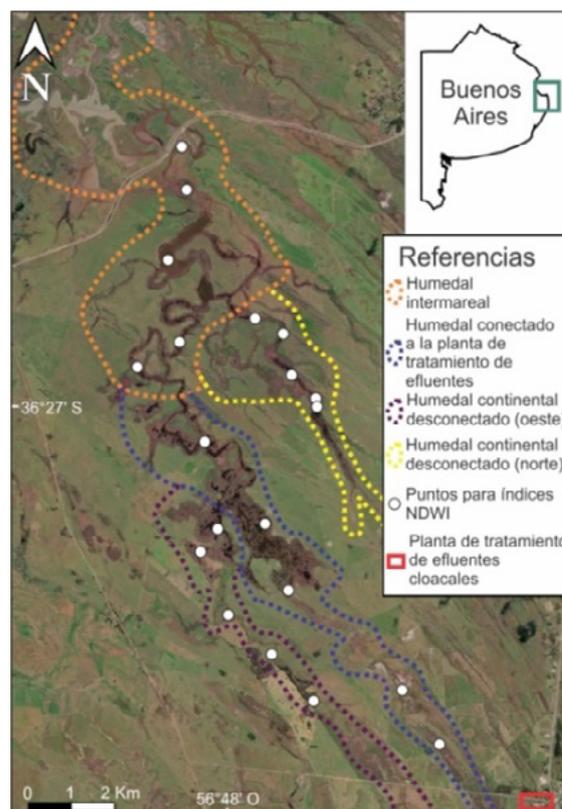


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y puntos de monitoreo.

En los sectores continentales del humedal la lluvia es el principal aporte, lo que determina que disminuya la CE del agua superficial indicando condiciones de aguas dulces a salobres. En este caso, la hidrología debería responder a las variaciones en el régimen de precipitaciones esperándose alguna respuesta en función de la presencia de períodos de excesos o déficit hídricos. El análisis de datos históricos (últimos 50 años) muestra que la precipitación media anual es de 1011 mm siendo el desvío estándar de 238 mm. Considerando el registro de imágenes Landsat 8 en donde puede analizarse la presencia de agua en superficie y de sitios con suelos saturados de agua, y teniendo en cuenta los valores de precipitación anual, se seleccionó al 2018 como año de excesos hídricos (1278 mm) y al 2022 como de déficits hídricos (752 mm).

En base a esto, para el año 2018, dentro de los humedales continentales, se observa que el humedal conectado con la planta de tratamiento de efluentes cloacales presenta los valores mayores de NDWI (Fig. 2A), siendo los más altos en invierno, probablemente por la menor evapotranspiración (Fig. 2E). Para el caso de los humedales continentales desconectados de la planta (oeste y norte), el contenido de agua es menor respecto al descrito anteriormente, con valores positivos más bajos (Fig. 2B y C).

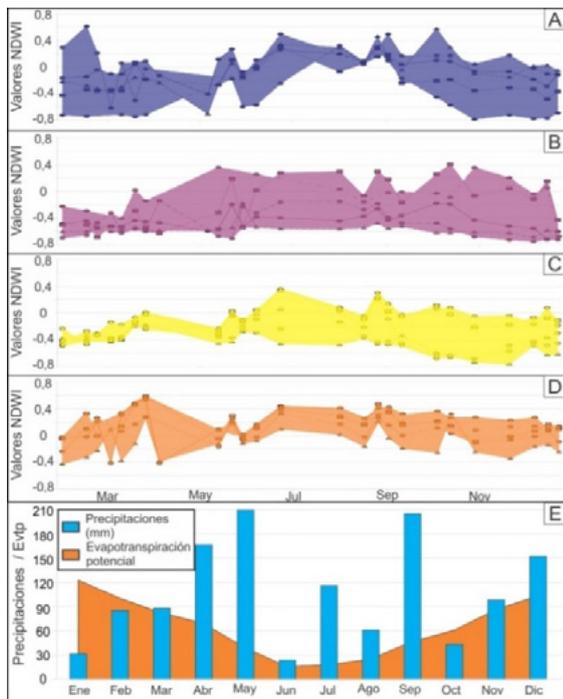


Figura 2.- Valores NDWI para el año 2018. A. Humedal conectado a la planta de tratamiento. B. Humedal continental desconectado (oeste). C. Humedal continental desconectado (norte). D. Humedal intermareal. E. Precipitaciones mensuales y evapotranspiración potencial.

Para el año 2022 el humedal conectado con la planta de tratamiento de efluentes cloacales continúa siendo el que presenta mayores valores NDWI respecto de los continentales (Fig. 3A). El humedal continental desconectado de la planta oeste presenta muy poca presencia de agua en este año, principalmente en meses fríos (Fig. 3B), mientras que el humedal continental desconectado norte tiene valores NDWI un poco mayores, pero sin alcanzar los que presenta el conectado con la planta (Fig. 3C). Asimismo, en general se observa que los valores más positivos de NDWI ocurren durante los meses más fríos, donde la evapotranspiración es menor (Fig. 3E).

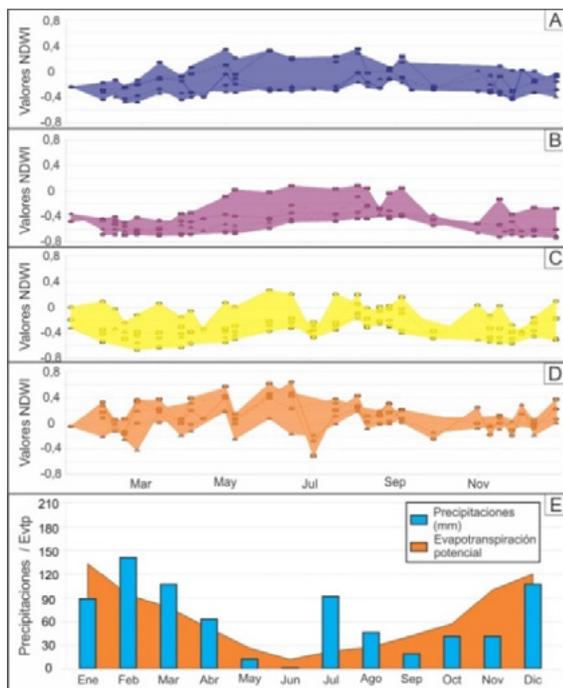


Figura 3.- Valores NDWI para el año 2022 A. Humedal conectado a la planta de tratamiento. B. Humedal continental desconectado (oeste). C. Humedal continental desconectado (norte). D. Humedal intermareal. E. Precipitaciones mensuales y evapotranspiración potencial.

Por su parte, tal como se indicó precedentemente, en el humedal intermareal no se observan variaciones asociadas al régimen de lluvias. En este sector las tendencias anuales registradas en los distintos puntos analizados para los dos años seleccionados muestran en general un incremento de valores NDWI de sur a norte (Fig. 2D y 3D).

Conclusiones

Los humedales de la Planicie costera de Ajó presentan un comportamiento hidrológico que depende de contribuciones de agua tanto naturales (marea y lluvia) como antrópicos (vertidos de una planta de tratamiento de efluentes cloacales). Esto determina que existan sectores con distintos comportamientos, cuyas variaciones hidrológicas están condicionadas por los diferentes aportes de agua. En general, los sectores intermareales son los que mayor agua registran y, dado que su aporte depende de la marea, su hidrología no se ve muy afectada por las variaciones climáticas. En los sectores continentales aislados del aporte mareal, las precipitaciones adquieren relevancia en el sustento del humedal. Particularmente en los humedales que sólo reciben aportes desde las lluvias, es notorio que tanto en el año de excesos hídricos (2018) como en el de déficits hídricos (2022) los valores más positivos de NDWI (indicativos de mayor humedad) ocurren entre mayo y octubre, meses en que la evapotranspiración es menor. Por su parte, el sector del humedal que recibe además los vertidos de la planta de tratamiento de efluentes cloacales presenta más agua en superficie o suelos más húmedos (NDWI más altos), principalmente en el año caracterizado por excesos hídricos (2018). Esto muestra que, si bien la lluvia sustenta a este humedal, los aportes extras desde vertidos son también de importancia y no pueden descartarse al analizar la hidrología de estos sectores de humedales.

Referencias

- Barbier, E.B.** (2019). "The value of coastal wetlands ecosystem services". *Coastal Wetlands* pp. 947-964
- Carol, E. Kruse, E. Pousa, J.** (2008). "Environmental hydrogeology of the southern sector of the Samborombon bay wetland, Argentina". *Environmental Geology*. Vol. 54, pp. 95-102.
- McFeeters, S.K.** (1996). "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delimitation of open water features". *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 17, Issue 7, pp. 1425-1432.
- Huntington, J.L., Hegewisch, K.C., Daudert, B., Morton, C.G., Abatzoglou, J.T., McEvoy, D.J. y Erickson, T.** (2017). "Cloud Computing and Visualization of Climate and Remote Sensing Data for Advanced Natural Resource Monitoring and Process Understanding". *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 98, Issue 11, pp. 2397-2409

DIEZ AÑOS MIDIENDO CAUDALES CON IMÁGENES EN ARGENTINA

Patalano Antoine^{a,b}, Massó Leandro^{a,b}, García Carlos Marcelo^{a,b}, Rodríguez Andrés^{a,b}

^a LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

^b IDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFYN, Córdoba, Argentina.

E-mail: antoine.patalano@unc.edu.ar

Introducción

En este trabajo se presentará el desarrollo de técnicas de velocimetría por imágenes digitales y su aplicación en la medición de caudal en entornos hidráulicos por parte de nuestro equipo de trabajo de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Se exploran las técnicas de Particle Image Velocimetry (PIV) y Particle Tracking Velocimetry (PTV), junto con el desarrollo de la herramienta RIVeR para el procesamiento y rectificación de resultados. Además, se destacan casos de aplicación y colaboraciones con organizaciones nacionales e internacionales en el ámbito de la medición de caudales utilizando imágenes en Argentina a lo largo de varios años de investigación y desarrollo.

De PTV/PIV a LSPTV LSPIV a caudal

Las técnicas de velocimetría por imágenes digitales existen desde los años '80 (Adrian 1984). En aquella época, estas técnicas solían utilizarse para la medición en laboratorio de velocidades en un plano iluminado por un láser dentro de un canal de agua abierto. Típicamente, la técnica de PIV (Particle Image Velocimetry) consiste en la estimación de desplazamientos de un trazador dentro de ventanas de interrogación (varios píxeles) entre una imagen y la siguiente. Esto se logra mediante la correlación cruzada de los patrones de intensidad de píxeles. El resultado obtenido es un campo de velocidad con una resolución que es la mitad del tamaño de la ventana de interrogación. A lo largo de los años, los avances tecnológicos han permitido un procesamiento cada vez mayor de imágenes digitales, tanto en términos de resolución como de frecuencia de captura.

En 2013, Patalano presentó dos trabajos en el Congreso de Métodos Experimentales en Hidráulica (Patalano 2013a y 2013b). En ellos, se introdujo una herramienta llamada PTVlab, que es una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB que permite utilizar los algoritmos de PTV (Particle Image Velocimetry) desarrollados por Wernher Brevis (Brevis 2011). Este programa permite el seguimiento individual de partículas, lo que permite obtener sus trayectorias y velocidades, siempre y cuando el sensor de la cámara sea perpendicular al plano observado. Además, se presentó un método de ortorectificación de resultados para el uso de PTVlab en casos donde la cámara se encuentra oblicua respecto al plano de visualización. Estos dos trabajos estaban claramente orientados al uso de la técnica de velocimetría por imágenes con el objetivo de caracterizar superficies libres, en particular las superficies de ríos y canales que se sembraban con un trazador que podía ser rastreado con PTVlab (trazador blanco circular). La apuesta de nuestro grupo no solo consistía en caracterizar las superficies, sino también en la posibilidad de cuantificar el caudal en una sección transversal a partir de la velocidad superficial media y la información topográfica disponible.

Si bien inicialmente estábamos utilizando PTVlab para estimar caudales mediante la rectificación de resultados generados, pronto nos dimos cuenta de que la técnica de PIV también podría ser aplicada. A diferencia de PTV que utiliza un marco de referencia lagrangeano, la técnica de PIV utiliza uno euleano. En el caso de PIV, el trazador no necesariamente tiene que ser circular y blanco, pero sí debe encontrarse uniformemente distribuido tanto en el espacio (disperso de manera homogénea

en toda la sección de interés), como en el tiempo. Además de requerir un menor costo computacional en comparación con la técnica PTV, la técnica PIV permite utilizar trazadores naturales. Por ejemplo, se puede aprovechar la textura de la superficie generada por estructuras coherentes que emergen en la superficie y viajan a la misma velocidad que ésta. Estas estructuras naturales pueden actuar como trazadores en el método PIV, eliminando así la necesidad de agregar partículas artificiales al flujo. Esto brinda una ventaja adicional al utilizar la técnica PIV en términos de simplicidad y aprovechamiento de los fenómenos naturales presentes en la superficie de interés. Rápidamente nos dimos cuenta de que nuestro grupo no era el único en indagar la hipótesis de medición de caudal utilizando imágenes. En 1998, Fujita fue el pionero en utilizar la metodología de procesamiento y rectificación (o, en su caso inversamente rectificación de imágenes y procesamiento de imágenes rectificadas), y lo denominó LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) (Fujita 1998).

RIVeR

En 2014, publicamos informalmente la primera versión de nuestra herramienta, que permite la rectificación de resultados tanto para PTVlab como para PIVlab (Thielicke 2009). Nuestra herramienta también incluye la estimación del caudal en una sección transversal, teniendo en cuenta la topografía del área de interés y la relación entre la velocidad superficial y la velocidad media en la columna de agua. La herramienta que hemos estado desarrollando hasta la fecha fue finalmente publicada en 2017 bajo el nombre de RIVeR (Rectification of Image Velocimetry Results), de distribución libre y gratuita (Patalano 2017a): <https://riverdischarge.blogspot.com/>. RIVeR proporciona todas las funcionalidades necesarias del estado del arte para la estimación de caudal utilizando técnicas de procesamiento y rectificación de imágenes y está siendo utilizada por empresas e instituciones nacionales e internacionales. La herramienta nos ha posicionado como referentes internacionales y nos ha brindado la oportunidad de formar parte del grupo OSW Surface Velocity Workgroup del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). También hemos tenido la oportunidad de realizar contribuciones técnicas para la revisión del documento "National Industry Guidelines for hydrometric monitoring" elaborado por el gobierno de Australia. El objetivo de esta guía es estandarizar las mediciones hidrométricas en el país. Específicamente, nuestra contribución se centró en la sección "PART 11: Application of surface velocity methods for velocity and open channel discharge measurements". Esta guía hace referencia a nuestra herramienta RIVeR. La guía ha sido publicada y está disponible de forma gratuita en la siguiente página: http://www.bom.gov.au/water/standards/documents/NI_GL_10_1.11-2021.pdf.

Aplicaciones concretas

Si bien la estimación de caudal en crecidas repentinas de los ríos de la Provincia de Córdoba fue el punto de partida de nuestra investigación y desarrollo, las aplicaciones de la técnica de velocimetría por imágenes a gran escala son numerosas. Hemos implementado y validado esta técnica en diversos casos, entre ellos:

El río Pilcomayo en Villamontes, Bolivia, el cual presenta una carga de sedimentos tan elevada que dificulta el uso de

instrumentos acústicos Doppler (Patalano 2020).

Utilizando drones, hemos medido el caudal en ríos anchos, como río Calafate en el Sur de Argentina.

En 2015, hemos colaborado con la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS) en el marco del proyecto "Cumbaza" en la medición de caudales del río Pisco en condiciones de crecida, con altas velocidades y altas tasas de sedimentos.

En ríos de llanura, como el arroyo Maldonado en Uruguay, hemos aplicado la técnica utilizando un sembrado artificial de partículas

En plantas de tratamiento de residuos cloacales con la colaboración de Agua y Saneamiento (AYSA), Berasategui, Buenos Aires

Estos son solo algunos ejemplos de los diversos casos en los que hemos aplicado y validado la técnica de velocimetría por imágenes, demostrando su versatilidad y utilidad en distintos entornos hidráulicos.

Cazadores de Crecidas

En febrero de 2015, tras un evento de precipitación extraordinaria en las Sierras Chicas de Córdoba, nació el proyecto "Cazadores de Crecidas". Este proyecto, basado en Ciencia Ciudadana, involucra a nuestro grupo de trabajo en la utilización de videos de crecidas proporcionados por la comunidad (Le Coz 2010). El video de la crecida extraordinaria de un vecino de la localidad de Río Ceballos permitió calibrar un modelo hidráulico que fue utilizado para realizar la única cuantificación de caudal de dicho evento extraordinario y validar las áreas inundables (Guillén 2017). En 2018, "Cazadores de Crecidas" participó en la elaboración de las curvas de altura-caudal de los ríos de La Cruz, Santa Rosa y Quillino, como parte del proyecto "Relámpago". Además, nuestro grupo ha brindado talleres de capacitación a Bomberos y Defensa Civil de la Provincia de Córdoba, quienes participan en la recopilación de videos durante eventos de crecidas de ríos y arroyos. En estrecha colaboración con el centro vecinal de Villa Páez en Córdoba, "Cazadores de Crecidas" ha trabajado para cuantificar las inundaciones que afectan al barrio año tras año. A partir de 2021, el proyecto forma parte del mapeo de iniciativas nacionales realizado por el Ministerio de Tecnología e Innovación y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Estaciones fijas de monitoreo de caudal con imágenes

Para satisfacer la creciente demanda de datos de caudal, desde 2020 hemos mantenido convenios de colaboración entre la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHi) del Ministerio de Servicios Públicos de Córdoba y nuestra facultad, la FCEfYN (Patalano 2017b y Massó 2022). En virtud de estos convenios, nuestro grupo de trabajo ha instalado estaciones fijas de monitoreo de caudal continuo utilizando videos. Estas estaciones consisten en cámaras de vigilancia de alta resolución controladas por computadoras de placa única. Dependiendo de cada caso, algunas estaciones son totalmente autónomas en términos energéticos y cuentan con un sistema de transmisión propio. Los videos registrados por las estaciones son enviados a un servidor y procesados con RIVeR para la estimación de caudal. Nuestro grupo de trabajo proporciona a la APRHi las curvas altura-caudal de cada sección, utilizando herramientas estadísticas del estado del arte. Además, los datos registrados y procesados de cada estación son visualizables a través de una aplicación web alojada en los servidores del Observatorio Hidro-Meteorológico de Córdoba. Actualmente, contamos con 5 estaciones en funcionamiento y una en proceso de instalación, lo que nos permite recopilar datos de manera continua y proporcionar el caudal en diferentes secciones, ampliando

significativamente la disponibilidad de información hidrológica provincial. Una de las estaciones también utiliza un modelo entrenado de Deep Learning para medir el nivel de agua en la sección de interés utilizando imágenes. El nivel de agua es esencial para estimar el caudal correctamente. En las otras estaciones, el nivel se mide mediante un sensor acústico proporcionado por una empresa externa. Al medir el nivel mediante imágenes, estas estaciones se vuelven totalmente autónomas, eliminando la dependencia de equipos externos para el monitoreo de caudal.

En noviembre de 2022, los dos primeros autores de este trabajo participaron en el concurso de modelos de negocios IB50K organizado por el Instituto Balseiro de Bariloche. La propuesta de ORUS tiene como objetivo aumentar la producción de datos hidrométricos de manera más rápida y a menor costo utilizando estaciones fijas de monitoreo de caudal por imágenes. ORUS fue ganador de 5 premios especiales: CONICET, Fundación YPF, Fundación INVAP, SmartPort Bahía Blanca y nuestra facultad, la FCEfYN.

Referencias Bibliográficas

- Adrian, R.J.** (1984). "Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs particle image velocimetry." *Appl. Opt.* 10–11.
- Brevis, W., Niño, Y., Jirka, G.H.** (2011). "Integrating cross-correlation and relaxation algorithms for particle tracking velocimetry." *Exp. Fluids* 135–147. doi:10.1007/s00348-010-0907-z
- Fujita, I., Muste, M., Kruger, A.** (1998). "Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications". *J. Hydraul. Res.* 36, 397–414. doi:10.1080/00221689809498626
- Guillén, N.F., Patalano, A., García, C.M., Bertoni, J.C.** (2017). "Use of LSPIV in assessing urban flash flood vulnerability." *Nat. Hazards*. doi:10.1007/s11069-017-2768-8
- Le Coz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillén, N.F., García, C.M., Smart, G.M., Bind, J., Chiaverini, A., Le Boursicaud, R., Dramais, G., Braud, I.** (2016). "Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand." *J. Hydrol.* 541, 766-777. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.07.036
- Massó L., Contreras L., Muller D., Patalano A., Tarrab L., García C.M., Rodríguez A.** (2022). "Cazadores De Crecidas: uso de estaciones fijas de LSPIV para la cuantificación de caudales líquidos en cursos fluviales. Caso: río Suquía, Córdoba, Argentina." XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz de Iguazú, Brasil, Noviembre.
- Patalano A., Brevis W., García C. M., Bleninger T., Rodríguez A.** (2013a). "PTVlab, una herramienta gráfica para el procesamiento digital en Velocimetría por Seguimiento de Partículas." III Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina, Marzo.
- Patalano A., Brevis W., Guillén N., Alvarez J., García C. M., Bleninger T., Rodríguez A.** (2013b). "Rectificación digital para mediciones de velocidad de flujo a gran escala utilizando Velocimetría por imágenes de partículas." III Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina, Marzo.
- Patalano, A., García, C.M., Rodríguez, A.** (2017a). "Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV)." *Computers and Geosciences*, 109, 323-330. doi:10.1016/j.cageo.2017.07.009
- Patalano A., Engel F., García C.M., Oberg K.** (2017b). "Desarrollo de una estación fija y automática para la cuantificación de caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes LSPIV." VIII Simposios Regionales sobre Hidráulica de Ríos, Córdoba

CONTRIBUCIÓN DE LA GRAVIMETRÍA SATELITAL PARA EL ESTUDIO DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA CONTINENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO PARANÁ

Ayelen Pereira ^{a,b}, Cecilia Cornero ^a, Ana C. Oliveira Cancoro de Matos ^c, María C. Pacino ^{a,b}

^a Área de Geodinámica y Geofísica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina

^b CONICET, Argentina.

^c Laboratório de Topografia e Geodesia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo y Centro de Estudo de Geodesia - CENEGEO, São Paulo, Brasil.

apereira@fceia.unr.edu.ar, ccornero@fceia.unr.edu.ar, accmatos@alumni.usp.br, mcpacino@fceia.unr.edu.ar

Introducción

El cambio climático es una preocupación a nivel global y Sudamérica no está exento a ello. Las variaciones en la circulación de aguas superficiales y subterráneas pueden afectar en gran medida a regiones ecológicamente sensibles. Por otro lado, las llanuras son un escenario de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, de déficit o excedentes hídricos. La cuenca del Medio-Bajo Paraná, perteneciente al sistema hidrográfico de la Cuenca del Plata, comprende el área territorial más dinámica de Argentina en términos de economía, siendo además una región de suma importancia hidrológica y sensible a eventos extremos. Ésta ha sufrido eventos de crecidas extraordinarias de gran magnitud en términos de volúmenes, tiempos, áreas inundadas y pérdidas, asociadas principalmente al fenómeno de El Niño. La región también ha sobrellevado situaciones extremas de déficit hídrico, como las sequías del 2009 y 2022, cuando fue declarada la emergencia agropecuaria en la provincia de Santa Fe.

Surge entonces, la necesidad del conocimiento de la dinámica y de las fluctuaciones temporales del agua continental como instrumento de información esencial para los modelos de evaluación ambiental y de cambio global, así como para el estudio de la influencia del cambio climático.

Las observaciones espaciales tienen el potencial de mejorar significativamente la comprensión de los procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas y su influencia en la variabilidad climática, geodinámica y socio-económica. Se puede obtener información sin precedentes a través de la combinación de datos terrestres con observaciones desde el espacio, las cuales ofrecen una cobertura geográfica global, un buen muestreo espacio-temporal y un monitoreo continuo en el tiempo.

Las misiones satelitales gravimétricas GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*, 2002-2017) y GRACE-FO (*Follow-On*, 2018-) observan el ciclo hidrológico y permiten estudiar los cambios en el almacenamiento de agua continental en cuencas hidrográficas, complementando las observaciones in situ, y aportando gran cantidad de información para realizar evaluaciones a nivel regional.

En esta propuesta se presenta un análisis de las variaciones más significativas de la masa de agua continental (TWS, *Total Water Storage*) en la subcuenca del Medio-Bajo Paraná ocurridas dentro del período 2003-2023, a partir de datos gravimétricos satelitales provenientes de las misiones GRACE/FO. Estos resultados son luego comparados con datos satelitales y terrestres de otras fuentes, y vinculados además con eventos ENSO ocurridos en el período en estudio.

Palabras Clave: Almacenamiento de agua continental, GRACE, Medio-Bajo Paraná, ENSO.

Metodología

Las variaciones mensuales de gravedad observadas son causadas por cambios mensuales de masas, las que pueden pensarse como concentradas en una capa muy delgada de agua en la superficie, cuyo espesor cambia con el tiempo. En realidad, la mayoría de los cambios temporales de la gravedad son causados en efecto por cambios en el almacenamiento de

agua en reservorios hidrológicos, por el movimiento de masa en los océanos, la atmósfera y la criósfera; y por el intercambio entre éstos.

Las variaciones de almacenamiento de agua continental (TWS) utilizadas en este trabajo se estimaron a partir de las soluciones de alta resolución de las misiones GRACE/FO. El enfoque de obtención de estas se basa en la estimación de anomalías de masas de agua en grillas (*mascons*). En este estudio, se utilizaron los datos GRACE/FO CSR RL06 (Save et al., 2016), los que proveen variaciones mensuales del TWS con una resolución espacial de 0.25°.

Para validar los resultados de TWS de GRACE se obtuvieron datos de precipitación de la misión satelital IMERG (*Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global precipitation measurement*); en particular, el producto GPM_3IMERGM que consiste en una combinación de observaciones satelitales diarias con una resolución espacial de 0.1° (Huffman et al., 2019). Además, se utilizó información del almacenamiento de agua subterránea del modelo global de asimilación de datos GLDAS (*Global Land Data Assimilation System*), con una resolución espacial de 0.25° (Li et al., 2020).

Resultados y Discusión

En primer lugar, fueron identificados cuatro eventos extremos que se destacan por su magnitud y extensión (la sequía del 2009 y 2022, y las inundaciones del 2016 y 2019) en la cuenca del Medio-Bajo Paraná. Los mapas de la media anual del almacenamiento de agua TWS correspondientes se muestran en la Figura 1.

Según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el déficit de lluvias en Argentina comenzó en el año 2008; los valores más críticos ocurrieron en otoño de 2009, y en algunas localidades los totales anuales de precipitaciones fueron los más bajos de los últimos 47 años. De acuerdo con los datos de IMERG, el año 2009 resultó ser, en promedio, el de menor precipitación en toda la cuenca, lo que se ve reflejado más tarde en el TWS, con valores de almacenamiento de agua negativos.

Además, en el año 2022, se detectaron valores mínimos del TWS que afectaron al sector medio-sur de la cuenca. El pico principal de esta disminución de agua ocurrió en el otoño-invierno, cuando la región experimentó el año más seco considerando más de 60 años de registros de precipitaciones (SMN). Esta escasez de lluvias, tanto en el 2022 como en 2009, estuvo asociada a la presencia de La Niña.

Por otro lado, el 2015 fue un año de gran magnitud de El Niño (ubicado entre los 4 más fuertes de los últimos 50 años), cuando ocurrieron lluvias por encima de la normal en la región del Litoral. En concordancia con este evento, el TWS mostró excesos hídricos de gran magnitud y extensión, comenzando en diciembre de 2015, y hasta mediados de 2016.

En 2019 también se detectó un considerable incremento del TWS, cuando según el SMN y los datos de IMERG, tuvieron lugar en el centro del país abundantes precipitaciones que produjeron inundaciones en Santa Fe.

Estos resultados también se reflejan en la Figura 2, donde se presenta la serie temporal de TWS junto con sus tendencias

lineales y la precipitación, para el período 2003-2023. A su vez, los episodios de El Niño/La Niña y su clasificación respecto de su intensidad están representados a través del Índice ONI (*Oceanic Niño Index*), calculado a partir de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar (SST). Se puede observar que las variaciones más significativas del TWS están vinculadas con eventos ENSO intensos en cuanto a su duración o magnitud (e.g. 2009, 2016, 2019, 2022). El año 2017 no se tuvo en consideración para el análisis debido a la falta de información de TWS por la finalización de la misión GRACE.

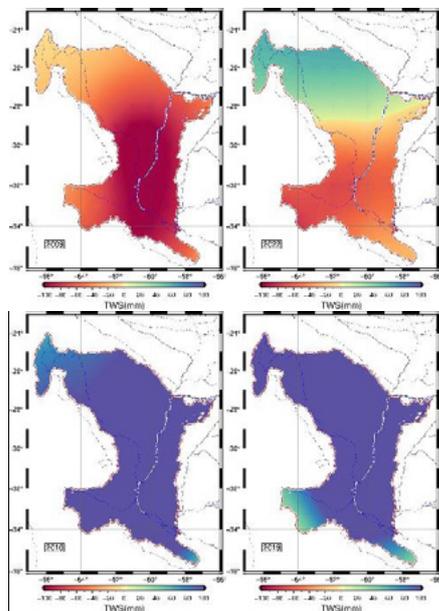


Figura 1.- Variaciones más significativas en el almacenamiento total de agua a partir de GRACE/FO en el período 2003-2022 (episodios de sequía arriba, y de inundaciones, debajo).

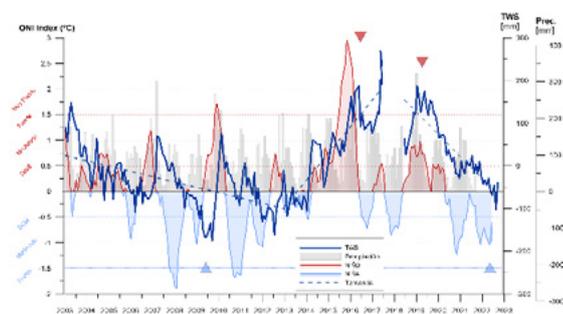


Figura 2.- Serie temporal de TWS GRACE/FO (y líneas de tendencias), Precipitación (IMERG), y episodios Niño/Niña.

En la Figura 3 se muestran las series temporales de TWS y del almacenamiento de agua subterránea obtenido de GLDAS para el período 2003-2023, junto con las sus respectivas tendencias lineales. Es de destacar la correspondencia entre ambas series para los eventos ENSO mencionados anteriormente.

Las tendencias obtenidas en el análisis para TWS, agua subterránea y precipitación se presentan en la Tabla 1. En ella, se puede apreciar que el período 2018-2022 fue el de tendencia más negativa, comparada con los otros períodos.

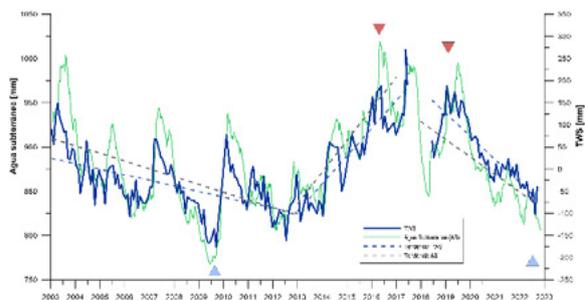


Figura 3.- Serie temporal de TWS GRACE/FO y Almacenamiento de agua subterránea (GLDAS), y líneas de tendencias.

Tabla 1.- Tendencias para las series analizadas

Período	Tendencia [mm]		
	TWS	Agua subterránea	Precipitación
2003-2013	-12.52	-8.76	0.10
2013-2017	62.64	35.83	6.74
2018-2022	-52.47	-19.84	-6.49

Conclusiones

La implementación de la gravimetría satelital permitió obtener información de gran relevancia para el estudio del agua continental en la cuenca del Medio-Bajo Paraná.

GRACE/FO detectó las significativas sequías del 2009 y 2022. En 2016 y 2019 se presentaron las máximas variaciones positivas, donde los incrementos de TWS afectaron la totalidad de la cuenca.

Asimismo, se presenta un comportamiento similar entre las series de precipitación/TWS y ENSO, mostrando una estrecha interrelación entre dichas variables en el período analizado. El análisis estadístico mostró en general correlaciones superiores al 50%. Además, en el período 2018-2022, se detectó la mayor tendencia negativa, tanto para el TWS como para el agua subterránea y precipitación.

Finalmente, los resultados del almacenamiento de agua continental derivados de GRACE indican que la mayoría de los cambios más significativos estarían vinculados con eventos climáticos extremos conectados con episodios de La Niña y El Niño.

Referencias

- Huffman, G.J., E.F. Stocker, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06, Edited by Andrey Savtchenko, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06.
- Li, B., H. Beaudoin, and M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS Catchment Land Surface Model L4 daily 0.25 x 0.25 degree GRACE-DA1 V2.2, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 10.5067/TXBMLX370XX8.
- Save H., Bettadpur S., and Tapley B. D. (2016). High resolution CSR GRACE RL05 mascons, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 7547–7569, 10.1002/2016JB013007.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA ZONA DE RÍO CUARTO (CÓRDOBA)

Pereyra Rita ¹, Crespi Raúl Jesús¹, Vinocur Marta Graciela¹

(1) Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, Tel: +54 9 358 4676503, Argentina
E-mail: rpereyra@ayv.unrc.edu.ar

Introducción

El agua se ha convertido en una limitante para la vida humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, la estabilidad económico-política y para el equilibrio del ambiente. Aunque el 70 % de la superficie del planeta está compuesta por agua, solamente 2,5 % es agua dulce y de esta última poco menos de 0,3 % es agua superficial, que sumada al total de agua subterránea representa menos del 1 % (Guerrero, 2006).

Actualmente la aplicación de tecnologías modernas de riego bien manejadas, reduce la cantidad de agua suministrada a un cultivo, así como también disminuye el drenaje de agua y la contaminación de agroquímicos a los recursos agua y suelo, aumentando la productividad por unidad de superficie y por milímetro aplicado, asegurando el abastecimiento a la industria agroalimentaria y a otros mercados (Tarjuelo *et al.*, 2015).

Por tal razón, la programación de riego es la práctica aconsejada para realizar un apropiado manejo del agua en la agricultura, debiendo dar respuesta a dos preguntas básicas: ¿Cuándo regar?, identificando el momento oportuno de aplicación del agua, definido por la frecuencia de riego y ¿Cuánto regar?, lo que implica conocer la cantidad de agua a aplicar que está en función del agua aprovechable y queda definido por el tiempo de riego.

El objetivo de este trabajo fue comparar metodologías para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) y determinar las necesidades de riego de los cultivos extensivos de forma práctica, sencilla y precisa.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó para el área de influencia de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Se encuentra geográficamente situada a la latitud de 33° 07' S, longitud 64° 14' W y a 421 m de altura sobre el nivel del mar.

Según la clasificación climática de Köppen (1931), Río Cuarto es Cwa (clima templado húmedo con invierno seco). Con respecto a las precipitaciones, la media anual es de 858,7 mm concentrados el 80% entre los meses de octubre a marzo correspondiendo un régimen de precipitaciones monzónico. El régimen térmico es templado-mesotermal, caracterizado por una temperatura media anual de 16,4 °C, con 22,9 °C de temperatura media para el mes más cálido (enero), 8,9 °C de temperatura media para el mes más frío (julio) y una amplitud térmica anual de 14 °C (Estación Meteorológica Río Cuarto Aero (SMN), Serie 1981-2010, SMN, 2021). Las heladas ocurren todos los años, siendo la fecha media de primera helada el 22 de mayo (desvío estándar ± 22,3 días), la fecha extrema de primera helada es el 14 de abril, la fecha media de última helada el 11 de septiembre (desvío estándar ± 18 días), la fecha extrema de última helada es el 4 de noviembre y el período medio libre de heladas de 253 días (Serie 1981-2010) (UNRC, 2021). La dirección predominante del viento es N - NE, con una velocidad media mensual para los meses de septiembre, diciembre y marzo de 11,9 km h⁻¹; 8,9 km h⁻¹ y 7,2 km h⁻¹ respectivamente (Serie 2009-2013, UNRC 2021)

Se utilizaron datos diarios de temperaturas del aire máxima y mínima, velocidad del viento y humedad relativa media, pertenecientes a la estación meteorológica de Río Cuarto

(Servicio Meteorológico Nacional), serie 1991-2020. Se evaluaron seis modelos empíricos (Tabla 1), se tomó como valor observado a FAO Penman-Monteith, presentando la desventaja de necesitar datos de entrada que no siempre están disponibles, al igual que los métodos basados en la radiación, mientras que Blaney-Criddle y Hargreaves requieren temperatura del aire, siendo los métodos más ampliamente utilizados.

El modelo de Radiación necesita los mismos datos de entrada que FAO Penman-Monteith, inclusive la velocidad del viento, mientras que Makkink solo tiene en cuenta datos de radiación solar; Turc se utiliza en zonas húmedas por lo que necesita de datos de humedad, temperatura y radiación solar y Priestley-Taylor al igual que Turc requiere la pendiente de la curva de presión de vapor, la constante psicométrica y el calor latente de vaporización.

Se comparó la bondad de ajuste de los modelos indicando que, mientras más cercano al valor uno sea el resultado del Índice de Acuerdo, la Eficiencia del Modelo (Sentelhas y Folegatti, 2003) y el Coeficiente de Determinación (Paes de Camargo y Paes de Camargo, 2000), mejor es el desempeño del modelo. El Índice de Acuerdo (d) se refiere a la exactitud o aproximación de los datos estimados y observados. La Eficiencia del modelo (EF) se basa en los cuadrados de las diferencias entre los datos observados, estimados y promedio de los observados, y el Coeficiente de Determinación (R²) es la dispersión de los datos alrededor de la media. El Error Medio Absoluto (MAE) es el promedio de todos los errores absolutos, el valor óptimo es cercano a cero.

Tabla 1.- Modelos seleccionados según su clasificación, incluidas sus referencias

Clasificación	Método	Referencias
Método combinado	FAO Penman-Monteith	Allen <i>et al.</i> , 2006
Métodos basados en la temperatura	Blaney-Criddle	Doorenbos y Pruitt, 1977; Vishwakarma <i>et al.</i> , 2022
	Hargreaves	Hao <i>et al.</i> , 2019; Vishwakarma <i>et al.</i> , 2022
Métodos basados en la radiación.	Priestley-Taylor	Sentelhas <i>et al.</i> , 2010; Pandey <i>et al.</i> , 2016
	Turc	Custodio y Llamas 1996; Valencia, 2010
	Radiación	Vicente-Serrano <i>et al.</i> , 2014; Pandey <i>et al.</i> , 2016
	Makkink	Pandey <i>et al.</i> , 2016; Vishwakarma <i>et al.</i> , 2022

Resultados

Las estimaciones de ETo dependen de la calidad de los datos meteorológicos, y la utilización de los diferentes métodos varía con las condiciones climáticas, la disponibilidad de datos y el requerimiento de los mismos en función de cada método (George *et al*, 2002).

A modo de resumen se muestra en la Fig. 1, la comparación entre FAO Penman-Monteith y Hargreaves-Samani, quien demostró tener un buen comportamiento de los promedios anuales de los índices estadísticos evaluados (d : 0,77; EF: 0,49 y R^2 : 0,60, MAE: 0,32, c : 0,6), presentando el MAE más bajo en los meses de diciembre a mayo; mientras que en los meses de noviembre a junio los valores de la mediana son similares a los de FAO Penman-Monteith y en los meses restantes subestima la ETo.

Los modelos basados en la temperatura tienden a subestimar la ETo en condiciones de mucho viento (Hao *et al*, 2019), prevaleciendo estas condiciones en la zona de Río Cuarto en los meses de agosto a noviembre principalmente.

Blaney-Criddle, tiende a sobrestimar la ETo gran parte del año y los valores estadísticos no muestran un comportamiento adecuado.

Dentro de los métodos basados en la radiación la ecuación de Radiación muestra de octubre a enero los valores más dispersos de un año a otro, similares a lo que ocurre en el método de FAO Penman-Monteith, ya que requieren los mismos datos de entrada.

En las estimaciones realizadas utilizando el modelo de Priestley y Taylor se observa que, en los meses de enero, febrero y marzo los valores de la mediana coinciden con los valores de la mediana de ETo estimados usando FAO Penman-Monteith mientras que en los meses restantes subestima los valores de ETo. Turc y Makkink presentan valores muy bajos para los meses de junio y julio, aunque a nivel general ambos métodos tienen valores bajos de ETo en todos los meses, si se los compara con FAO Penman-Monteith.

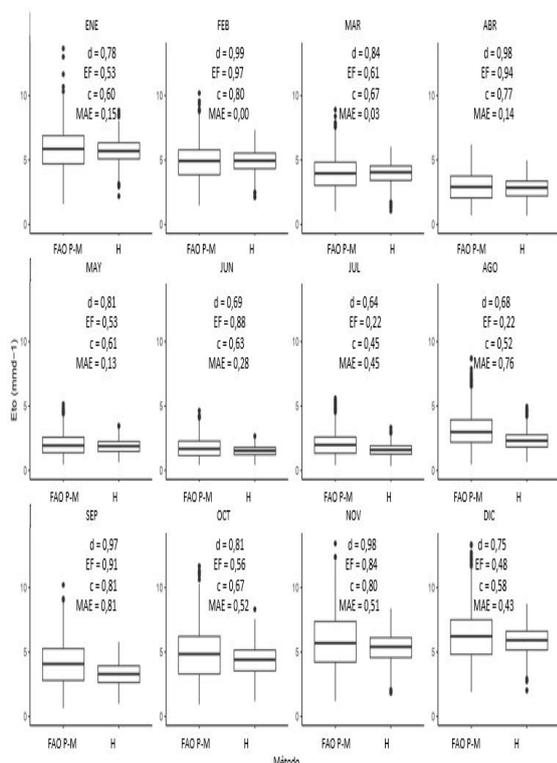


Figura 1.- Diagrama de cajas mensuales comparando los métodos FAO Penman-Monteith y el método Hargreaves-Samani, para la estimación de la ETo en la zona de Río Cuarto para la serie 1991-2020. Acuerdo (d), la Eficiencia del Modelo (EF), Coeficiente de Determinación (R^2) y Error Absoluto Medio (MAE).

Conclusiones

En consecuencia, por su desempeño, simplicidad de uso y mínimos requerimientos de variables de entrada, el modelo de Hargreaves-Samani, es el que demostró la mejor performance en la región geográfica bajo estudio.

Es importante realizar un análisis temporal considerando las estaciones del año para las cuales se desea realizar la programación de riego para determinar qué métodos de estimación de ETo conviene utilizar de acuerdo a la zona de estudio y a sus características climáticas.

En el futuro, la información del estado del cultivo, suelo y clima en tiempo real representará un avance científico-tecnológico clave para la conservación de los recursos naturales.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and M. Smith. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO 56.
- Custodio, E. and M. R. Llamas. 1996. *Hidrología subterránea* Vol. 1. 2a ed. Ed. Omega – Barcelona. pp 336.
- Doorenbos, J. and Pruitt. W. O (1977). *Las necesidades de agua de los cultivos*. (Rev. 1). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO 24.
- George, B. A., Reddy, B. R. S., Raghuvanshi, N. S. and W. W. Wallender. (2002). "Decision support system for estimating reference evapotranspiration." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 128, No. 1, pp. 1-10.
- Guerrero, M. (2006). "El agua." (5ª ed.) México: Ediciones Fondo de Cultura Económica. Secretaría de Educación Pública.
- Hao, Y.; Jongjin, B. and C. Minha. 2019. "Combining generalized complementary relationship models with the bayesian model averaging method to estimate actual evapotranspiration over China." *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 279
- Paes de Camargo, Á. P. and M. B. P. Paes de Camargo. 2000. "Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial." *Bragantia*. Vol. 59, No. 2, pp. 125-137.
- Pandey, P. K.; Dabral, P.P. and V. Pandey. 2016. "Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India." *International Soil and Water Conservation Research*. Vol. 4, pp. 52–63.
- Sentelhas, P. C. y M.V. Folegatti. 2003. "Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo)." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 1, No. 7, pp. 111-115.
- Sentelhas, P. C., Gillespie, T. J and E. A. Santos. (2010). "Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada." *Agricultural Water Management*. Vol. 97, pp. 635–644.
- Tarjuelo, J., Rodríguez-Díaz, J., Abadiac, R., Camacho, E., Rocamora, C. and M. Moreno. (2015). "Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies." *Agricultural Water Management*. Vol. 162, pp. 67–77.
- Valencia, V. M. 2010. *Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca*. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C.
- Vicente-Serrano, S. M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., López-Moreno, J. I., González-Hidalgo, J. C., Moran-Tejeda, E. and F. Espejo. (2014). "Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011." *Global and Planetary Change*. Vol. 121, pp. 26–40.
- Vishwakarma, D. K.; Pandey, K.; Kaur, A.; Kushwaha, N. L.; Kumar, R.; Ali, R.; Elbeltagi, A. and A. Kuriqi. 2022. "Methods to estimate evapotranspiration in humid and subtropical climate conditions." *Agricultural Water Management*. Vol. 261

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LA VITICULTURA EN LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA.

Mgr. Laura Pérez Ventura, Esp. Ing. Agr. Gustavo Satlari

Consultores de TNC y Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. Argentina
lauraperezventura@gmail.com y jgsatlari@gmail.com

Introducción

El presente trabajo resume el elaborado para el Fondo de Agua del Río Mendoza, y tiene como objetivo hacer un análisis económico que permita estimar el impacto de la variación en la disponibilidad del agua para riego del sector vitícola, por efecto del cambio climático, en la cuenca del Río Mendoza.

El área de estudio, corresponde a la zona irrigada por el río Mendoza, La superficie empadronada con derecho de riego superficial de uso agrícola es de 111.347 hectáreas al año 2022 según datos del Departamento General de Irrigación (DGI, 2023).

La superficie cultivada total es 55.678 ha, dato obtenido a través de la imagen satelital de Google Earth Engine. La vid es el cultivo predominante abarcando el 55% de la misma.

La caracterización de la demanda de agua para riego de la vid, tiene en cuenta la ubicación de las parcelas con derecho de riego superficial o subterráneo. En la zona se identifican 30.327 has implantadas con vid con riego superficial, y de ellas, 17.455 que hacen uso conjunto.

El inventario de bodegas en la cuenca, según datos del Instituto Nacional de Vitivinicultura, arroja un total de 390 bodegas registradas. La ubicación en planos del inventario de viñedos y de bodegas pone en evidencia que la mayoría de las bodegas han quedado en el gran Mendoza, y los viñedos se ubican en los extremos distales del área irrigada. Ello por la expansión urbana que se viene produciendo en el Gran Mendoza, que incide disminuyendo la oferta de agua a la agricultura, porque el abastecimiento de población es prioritario sobre el uso agrícola.

La descripción del tipo de riego y la eficiencia se realiza describiendo en primer lugar las particularidades observadas para el riego superficial, según zona, aspecto que depende fuertemente del tipo de suelo y la topografía.

La eficiencia de riego global es de 0.51, según la Actualización del Balance Hídrico (DGI, 2023). Cabe destacar que, si bien en esta década de bajos caudales, se han encontrado eficiencias por encima de este valor, es necesario alertar sobre los intervalos entre riegos, que en periodos de escasez como los actuales, son muy prolongados y afectan el rendimiento de los cultivos.

Respecto del riego presurizado se exponen los niveles de eficiencia, que rara vez superan el 85 %, por mal diseño o insuficiente mantenimiento (Schilardi, 2013), y por otra parte se mencionan las limitaciones de instalar un sistema por goteo en una red de turnos rígidos, espaciados y con redes cuaternarias construidas en terreno natural.

A partir de la serie de datos climáticos se expone la evapotranspiración de vid, según la metodología expuesta en FAO 56.

Las proyecciones de cambio climático para la cuenca del río Mendoza, se plantean a partir de tres escenarios de Cambio Climático (SAyDS, 2015), basados en RCP4,5 y RCP8,5. El tercero, apoyado en RCP8.5 incluye el aumento de población. El aumento de población produce una significativa disminución de la disponibilidad de agua para riego. La Tabla 1 muestra los escenarios con las variables de aumento de temperatura y disminución de precipitaciones nubes adoptadas.

Esos tres escenarios se introducen en el modelo WEAP. Las variaciones de escurrimiento superficial y de condiciones

climáticas se cargan en el modelo, lo que repercute en las demandas de la viticultura.

Para el cálculo de la disminución de producción ante la disminución de la oferta por efecto del cambio climático, se presenta el valor de respuesta de rendimiento, K_y , que para vid es de 0,85, con el que se pueden aplicar las fórmulas presentadas en los manuales de Riego y Drenaje 33 y 66 de FAO:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_x} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x} \right) \quad (1)$$

En esta fórmula, Y_x y Y_a son los rendimientos máximo y real, ET_x y ET_a son la evapotranspiración máxima y real, y K_y es un factor de respuesta del rendimiento que representa el efecto de una reducción en la evapotranspiración sobre las pérdidas de rendimiento.

Tabla 1.- Escenarios de cambio Climático y disminución de rendimiento de la vid

Escenario/Variable	Aumento de Temperatura	Disminución de la oferta	Agua potable (hm3/año)	Disminución Rendim de vid
Escenario s/RCP4.5	1 °C	5%	238	8%
Escenario s/RCP8.5	2 °C	15%	238	16%
Escenario agua potable y RCP8.5	2°C	15%	291	20%

Respecto de la oferta, la serie de datos de caudales se clasificó por estratos y se la afectó por un 5 y 15 % menos de oferta. En el 45 % de los años que hoy no cubren las necesidades, según el escenario que se adopte, en el futuro cercano el 75 y 81 % de los años no se van a satisfacer las demandas.

A partir de los rendimientos de la vid en los tres escenarios de cambio climático con diferentes disponibilidades de agua, se procede a tipificar modelos de finca y sus costos productivos.

A los efectos de este informe se han promediado los rendimientos generales por departamento para el área irrigada del río Mendoza de los últimos 20 años y da como resultado una producción de 156 qq/ha.

En el esquema de costos productivos del cultivo de vid, se analizan los componentes y su participación en los costos totales por hectárea año, con el fin de identificar la participación del canon de agua en los mismos.

Tabla 2. Costos Productivos de la vid (ha/año)

Detalle de Costos	Uva Tinta Común (150 qq/ha)	Uva Tinta Malbec (95 qq/ha)
Mano de Obra	56%	48%
Insumos agroquímicos	15%	24%
Combustibles y lubricantes	6%	7%
Energía pozo	10%	11%
Canon agua superficial	2%	2%
Canon agua subterránea	1%	1%
Flete de uva	10%	7%
Total costos productivos	100%	100%

En la Tabla N°2, se puede observar que el componente con

mayor participación es la mano de obra con un rango del 56%-48%; Mientras que el canon de agua (ha/año) sólo participa con el 2%.

En la Provincia de Mendoza, el derecho de riego es inherente a la tierra. El canon no tiene en cuenta factores de eficiencia de aplicación intra-finca, ni el grado de satisfacción de la demanda del cultivo.

Los costos de elaboración de vino, varían según el tamaño de la bodega elaboradora y según el tipo de vino. Los mismos, se obtuvieron a través de entrevistas realizadas a actores del sector vitivinícola y siguiendo el sistema de costeo basado en actividades.

La determinación de componentes de costos de elaboración de vino, indica cual es el peso que tiene la uva (ha/año) dentro del mismo, para luego identificar cual será el impacto ante variaciones debidas al CC.

Metodología

El costo de uva se obtuvo a través de modelos de cultivo de la vid por hectárea/año, los cuales varían según el tipo de vid, y el tipo de riego realizado.

El valor de la uva dentro del *costo de elaboración* de vino depende entre otros, del tipo de vino a elaborar y la procedencia de la materia prima (propia o de terceros). Varía entre el 45 al 70%. El costo de mano de obra, es el segundo ítem en orden de participación con el 18% sobre el costo total de elaboración de vino.

La participación del eslabón primario (uva) dentro del *producto vino*, adquiere una escasa relevancia (8 %) en el precio final del producto vino. Esto afecta principalmente a los pequeños productores, que venden sus cosechas a bodegas trasladistas o elaboradoras; sin obtener márgenes de ganancias suficientes.

La alta carga tributaria que posee el producto final hasta llegar a los puntos de ventas para el consumidor (35%), afecta los márgenes de utilidad que pueden obtener las bodegas.

Todos los modelos según variedades de uva, y tipo de finca se cargaron en el software FARMOD, del cual se obtienen los flujos de fondos económicos y financieros a fin de evaluar el impacto de los diferentes escenarios de CC en la viticultura. Los precios se consideran constantes al tipo de cambio oficial 1 USD = \$ 184,34 (cotización minorista del BCRA al 30/12/2022).

Los costos tienen en cuenta la variación de la disponibilidad de agua con un impacto directo en la complementación de riego con agua subterránea y su respectivo costo energético.

Al afectarse la productividad se reflejan cambios en los ingresos productivos. Para la determinación de dichos ingresos se toma en cuenta los precios pagados a productores según zona y según oferta. Tales cambios afectan negativamente a todos los modelos de finca identificados, pero distinto grado según su tamaño y según los escenarios propuestos.

El período de análisis sugerido, es de 20 años, ya que dicho período permite una mejor valorización de los grandes impactos que tendrá el CC en la disponibilidad de agua.

La evaluación financiera da como resultado pérdidas para todos los modelos de finca y para todos los escenarios de CC. Dicha situación tiene como explicación que de manera gradual se van perdiendo ingresos por hectárea año. Tabla 3.

La evaluación económica-social de todos los escenarios de Cambio Climático, da como resultado pérdidas en diferentes magnitudes, en relación con la menor disponibilidad de agua.

El valor bruto de la producción de la cuenca disminuye, desde un 6% en el Escenario CC1; 13% para el Escenario CC2 y 16%

en el Escenario CC3.

Tabla 3.- Resultados Económicos y Producción según escenarios de CC (en millones de USD)

	Presente	Con CC1	Var. CC1	Con CC2	Var. CC2	Con CC3	Var. CC3
Prod. Qq	5,49	5,16	-6%	4,8	-13%	4,61	-16%
VBP Vitícola	USD 121	USD 114	-6%	USD 106	-13%	USD 102	-16%
Total Costos	USD 67	USD 67	0%	USD 65	-3%	USD 65	-3%
Margen Bruto	USD 55	USD 47	-13%	USD 41	-25%	USD 37	-31%
VAN (TNA 12%)		-USD 19		-USD 65		-USD 75	

Conclusiones

La población de la ciudad de Mendoza ha aumentado considerablemente, lo que ha llevado a la expansión urbana sobre áreas de tierras agrícolas de alta calidad. Las bodegas han quedado insertas en zonas urbanas y los viñedos han quedado en áreas distales. El crecimiento urbano ha afectado el volumen de agua disponible para el riego, ya que el abastecimiento poblacional es prioritario sobre la agricultura.

Casi el 50% de los ciclos hidrológicos no cumplen con las demandas de riego, lo que afecta la producción agrícola.

La disminución de precipitaciones níveas tiene más impacto que el aumento de la temperatura en el llano. El escenario probable es el más pesimista, agravado por la demanda de agua potable.

De la evaluación económica y financiera de los efectos del CC sobre el sector vitícola, se concluye que se producirán pérdidas en todos los escenarios, a menos que se realicen inversiones o cambios en el uso del agua para optimizar el uso del recurso.

La disminución del Valor Bruto de la Producción VBP por efecto del CC, impacta negativamente en el sector agropecuario dentro del Producto Bruto Geográfico de la Provincia.

Los escenarios de CC, muestran consecuencias desfavorables en el sector de la vid repercutiendo de manera directa en el sector vitivinícola: incrementando los costos de elaboración por litro de vino y también, la menor productividad impactará reduciendo los litros de vino elaborados.

La optimización en el uso del agua se debe producir en todos los sectores, incluyendo agua potable.

El objetivo de conservación y optimización del agua, y las distintas acciones de adaptación, frente a los escenarios de CC, expone la importancia de contar con actores como los Fondos de Agua en Argentina por ser los espacios de encuentro para los diferentes actores en el uso del recurso.

Referencias

- Departamento General de Irrigación.** (2022). *Actualización Balance Hídrico del Río Mendoza*. Mendoza. Argentina.
- SAYDS.** (2015). *Secretaría De Ambiente Y Desarrollo Sustentable. Tercera Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Argentina.
- Schilardi, C. y Ciancaglini, N.** (2013). *Análisis integral y optimización del desempeño de equipos de riego por goteo en Mendoza-San Juan*. Fac Ciencias Agrarias. UNCUYO. Argentina.

ADECUACIÓN DE CURVAS IDF A ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN EL A° ESTACAS, ENTRE RÍOS

Ramiro J. Pighini^{1,2}, Emanuel Melgares² y Ana B. Wingeyer^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Argentina.
pighini.ramiro@inta.gov.ar; melgares.emmanuel@inta.gov.ar; wingeyer.ana@inta.gov.ar

Introducción

Las consecuencias del Cambio Climático (CC) son en la actualidad uno de los desafíos más importantes en la hidrología. Sus impactos se evalúan con Modelos Climáticos Globales (MCG), Regionales (MCR) y escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP) que han sido publicados por los reportes del IPCC (Magrin et al., 2014). Los MCR son entendidos como modelos físicos atmosféricos y de superficie terrestre, y como la mejor herramienta para reducir la escala espacial de las características del clima, proporcionando simulaciones más realistas de la situación actual y una predicción detallada del cambio futuro (Zhang et al., 2006).

Por otro lado, a nivel de cuencas hidrográficas y con el objetivo de proporcionar información de entrada a los modelos hidrológicos, se utilizan curvas IDF, que representan la intensidad, duración y periodo de retorno de una tormenta. Esta herramienta es muy usada en ingeniería, ya que permiten predecir tormentas de diseño y evaluar impactos de futuros escenarios pluviométricos de una región, tanto en las variables hidrológicas como en la pérdida de suelo (Varela et al., 2004).

El objetivo del presente trabajo fue la adaptación de las curvas IDF de la cuenca del A° Estacas calculadas por Pighini et al. (2020a), incluyendo los efectos del CC de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero RCP4.5 y RCP8.5.

Metodología

La cuenca del A° Estacas (afluente del A° Feliciano) está ubicada en el Departamento La Paz, provincia de Entre Ríos, Argentina (Figura 1). Constituye un sitio piloto del Observatorio Nacional de Degradación y Desertificación de Tierras (ONDTyD) (<http://www.desertificacion.gob.ar/>).

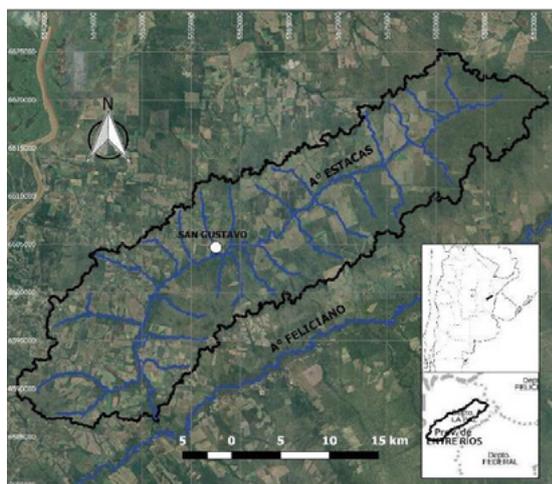


Figura 1.- Cuenca del A° Estacas.

Posee un área de 728,2 km² y es representativa de la heterogeneidad de la fisiografía de la provincia. Su régimen pluviométrico es de 1.100 mm.año⁻¹ y la vegetación se caracteriza por un bosque disperso semi-xerófito, de la región fitogeográfica del Espinal. En la cuenca se observa un efecto importante de la topografía y de los suelos arcillosos con

predominio de Vertisoles, Alfisoles y Molisoles con horizontes B muy desarrollados (Pighini et al., 2020b).

Los datos de precipitaciones se obtuvieron de registros diarios provinciales (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos) y datos diarios simulados (históricos: 1960-2010 y de futuro cercano: 2015-2039) publicados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (SAyDS, 2015) con los modelos climáticos CCSM4, Nor_ESM1 y CMCC-CM para un sector dentro del área de estudio, cuyas coordenadas son 30,75 S 59,25 O.

El procesamiento de los datos fue realizado con planillas de cálculo y software Rstudio. La metodología de generación de curvas IDF para escenarios históricos y futuros fue realizada con datos de precipitación máxima probable ajustadas a la distribución General de Valores Extremos (GVE) con momentos L (Tito et al., 2012), siguiendo el procedimiento empleado por Pighini et al. (2020).

Para seleccionar el modelo, se compararon los valores de Precipitación Máxima Mensual (PMM) de cada modelo (Figura 2), y un análisis de correlación a escala mensual de los datos simulados y observados para la serie histórica (Figura 3).

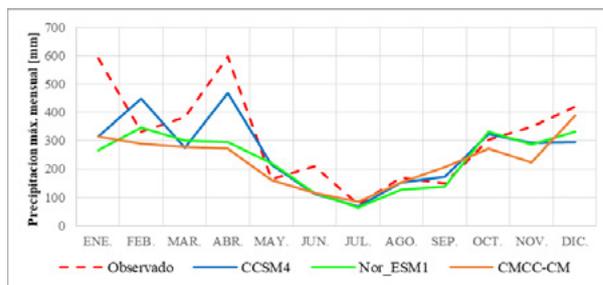


Figura 2.- Serie histórica de la PMM de los MCR.

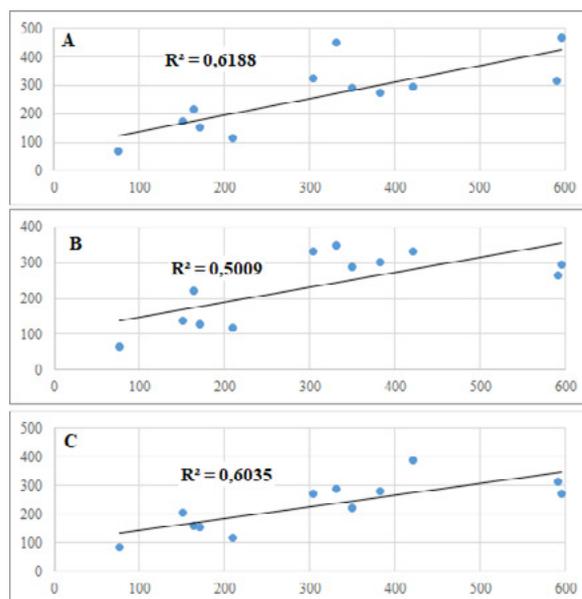


Figura 3.- Correlación entre la PMM observada y los diferentes MCR.

El mejor ajuste fue el otorgado con el modelo CCSM4, con un coeficiente de correlación de 0.79 y un R^2 de 0.66. Éste se usó para la adaptación de curvas IDF mediante la distribución GVE para los periodos de recurrencia 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, según la metodología planteada.

Resultados

Para una determinada recurrencia (e.g. 25 años), el incremento porcentual de la intensidad entre escenarios futuros (RCP 4.5 y 8.5) y el histórico simulado, fue la misma según diferentes duraciones de tormenta (Figura 4). Es decir, las curvas IDF son prácticamente paralelas entre escenarios.

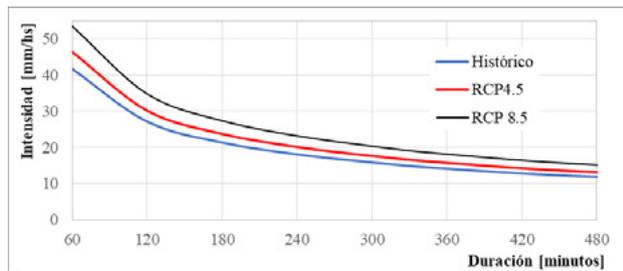


Figura 4.- Curvas IDF de 25 años de recurrencia (CCSM4).

Sin embargo, para diferentes recurrencias, los escenarios RCP 4.5 y 8.5 presentaron incrementos en las intensidades con relación directa (e.g. 39 y 62% mayor, respectivamente, en 500 años). Las relaciones recurrencia/porcentaje de aumento se ajustaron a funciones logarítmicas entre datos históricos y futuros simulados (Figuras 5 y 6).

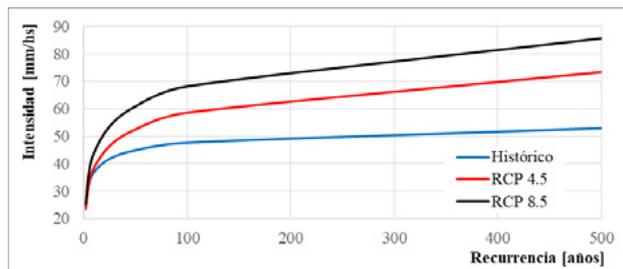


Figura 5.- Relación IDF para 60 min de duración (CCSM4).

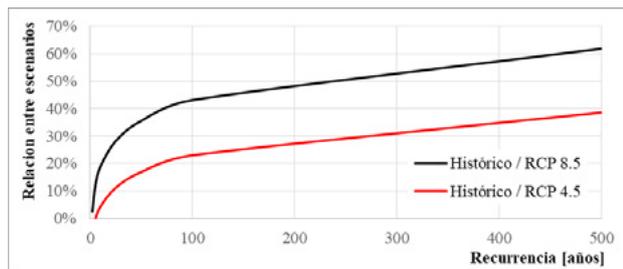


Figura 6.- Relación entre escenarios según recurrencia, para 1440 min de duración (CCSM4).

Al comparar las lluvias máximas diarias asociadas a distintos periodos de recurrencia, entre los escenarios histórico y futuros, se determinaron coeficientes de ajuste que podrán ser aplicados a las curvas IDF observadas y adecuar éstas al CC (Tabla 1).

Tabla 1.- Factores de ajuste a aplicar en curvas IDF para representar el CC de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 (MCR: CCSM4 – 2015/39).

Escenario Futuro	Recurrencia [años]						
	2	5	10	25	50	100	500
RCP 4.5	1,0 0	1,00	1,04	1,11	1,17	1,23	1,39
RCP 8.5	1,0 3	1,12	1,19	1,28	1,36	1,43	1,62

Discusión

El uso de estos factores en las curvas actuales para distintas intensidades asociadas a periodos de retorno y duraciones, se justifica en diversas observaciones globales (Tito, 2012).

Si bien los modelos climáticos regionales tienden a subestimar las lluvias para cortos intervalos de tiempo (e.g. diario), la generación de curvas IDF, requiere de forma necesaria un paso de tiempo mínimamente diario (Lyra et al., 2017).

A pesar de la limitación de los resultados, es posible adaptar las curvas IDF al CC y utilizarlas para el cálculo de tormentas de diseño de escenarios futuros, con las precauciones propias de la metodología. Cabe destacar que los coeficientes de adaptación serán válidos sólo para la zona de estudio.

Conclusiones

La aproximación utilizada permite caracterizar cambios a futuro en el factor de erosividad de lluvias, generar escenarios de precipitación futuros comparables con los datos registrados; y caracterizar impactos e identificar estrategias para su mitigación a escala de cuenca.

Referencias

- Burgos, V.J. y Salcedo A.P.** (2016) “Avance en el conocimiento de la respuesta hidrológica y sedimentológica de la Cuenca del arroyo seco Casa de Piedra, Las Heras, Mendoza”. *3er encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos*. Cañuelas, Buenos Aires, Argentina.
- Lyra, A., Tavares, P., Chou, S.C., Sueiro, G., Dereczynski, C.P., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J. and Giarolla, A.** (2017). “Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution” *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 1, N° 132, February 2017, pp 663–682.
- Magrin, G.O., Marengo, J.A., Boulanger, J.P., Buckeridge, M.S., Castellanos, E., Poveda, G., Scarano, F.R. and Vicuña, S.** (2014). “Central and South America” in: Barros V.R et al. (eds.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Pighini R.J., A.B. Wingeyer y M.G. Wilson.** (2020a). “Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la cuenca del A° Estacas (Entre Ríos)”. *XVIII Reunión Argentina y IX Latinoamericana de Agrometeorología*. Modalidad Virtual. Argentina.
- Pighini, R. J., Wingeyer, A. B., Wilson, M. G., Gabioud, E. A., Van Opstal, N. V., Seehaus, M. S. y Sasal, M- C.** (2020b). “Caracterización de la cuenca del A° Estacas y relación con el uso del suelo y la morfología del cauce”. *Revista Científica Agropecuaria*, Vol. 1 N° 23, Noviembre 2020, pp 35-48.
- SayDS.** (2015), “Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. Resumen Ejecutivo. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.
- Tito, M.J., Pérez, M. y Guglielmo, M.L.** (2012). “Aplicación del modelo SQRT-ETmax en la estimación de precipitaciones máximas diarias de la provincia de Entre Ríos”. *III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas*. Rosario, Argentina. Universidad Nacional de Rosario (ed.).
- Varela, C., Entraigas, I. y Varni, M.** (2004). “Curvas intensidad – duración – frecuencia para diez años de datos pluviográficos en la ciudad de Azul, centro de la provincia de Buenos Aires”. *Instituto de Hidrología de Llanuras*. Azul, República Argentina.
- Zhang, Y., Xu Y., Dong, W., Cao L. and Sparrow M.** (2006) “A Future Climate Scenario of Regional Changes in Extreme Climate Events over China using the PRECIS Climate Model”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, N° 24, December 2006, L24702.

IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN EN LA REGIÓN DEL COMAHUE

G.Polla¹; F.Horne¹; J.Pavese²; S.Stangaferro¹; E.Gomez¹; M.L.Mañueco³; A. Montenegro³.

(1) Facultad de Cs. Agrarias-UNComahue, C.Saltos, Río Negro, Argentina
Ruta 151-km 12.5. gabipolla@yahoo.com.ar

(2) Facultad de Economía y Administración-UNComahue. Neuquén. Buenos Aires 1400

(3) INTA-Alto Valle. Ruta Nacional 22 km 1190 – 8332 Allen-Río Negro.

Introducción

Actualmente el río Negro vierte un caudal medio de alrededor de 900 m³/seg al Océano Atlántico que podrían ser destinados a riego, generación de electricidad, control de crecidas, entre otras. El uso racional planificado implica la continuidad en el tiempo de un desarrollo regional transformador de excepcionales beneficios directos e indirectos para la región, la nación y el consecuente bienestar de su gente. Es fundamental, para esto, seleccionar aquellas alternativas de aprovechamiento del recurso que permitan la mayor distribución de agua en el territorio manteniendo el equilibrio en la cuenca.

Para analizar la factibilidad de las distintas alternativas se utilizó el modelo Water Evaluation And Planning System (WEAP) (Yates, 2005a y 2005b), es una herramienta de simulación para la planificación integrada de recursos hídricos, que analiza sistemas de suministro de agua enmarcados en un contexto de demanda de uso, calidad de agua y protección y preservación de ecosistemas. Paralelamente se confeccionaron curvas de frecuencia que complementaron el análisis del modelo.

La hipótesis que plantea este trabajo es “los escenarios de cambio climático modifican los resultados, en una planificación integral, producto de la variación en los caudales registrados”.

El objetivo del trabajo es contribuir a la planificación del uso de los Recursos Hídricos de la región Comahue, bajo escenarios de cambio climático, con el fin de confrontar la oferta del sistema hídrico con las demandas. El modelo permitirá seleccionar aquellos proyectos que generen mayor impacto sobre la economía regional y simultáneamente aseguren el caudal ambiental del río.

Materiales y Métodos

La región del Comahue ha sido en gran parte fundada sobre un proyecto de riego (45000 ha actualmente) puesto en marcha a principios del 1900 sobre el cual se ha basado y configurado el desarrollo de la región. Desde entonces se han hecho mejoras y anexiones. El área de estudio corresponde a la Cuenca de los ríos Neuquén, Limay y Negro, denominada Región Comahue.

Como herramienta metodológica se utilizó un modelo que apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca con la demanda de agua caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta (Yates, 2005 a y 2005 b).

Los caudales ingresados (oferta) surgieron de la simulación de 6 escenarios climáticos que derivaron de la combinación de dos escenarios de trayectorias de concentración representativas de emisiones gases de efecto invernadero (RCP 4.5 y RCP 8.59), y tres modelos de circulación general (MIROC510, GFDL-ESM2G11, CanESM212) (Nadal et al., 2017). El período de registro de los caudales mensuales se extiende del 2015 al 2050.

Asimismo, se ingresó información referida a: parámetros del acuífero del Alto Valle, datos de las áreas de riego actuales (cultivos implantados, coeficientes de cultivo, eficiencias de aplicación, caudales de captación para las distintas áreas de riego,

etc), características edafológicas del área, entre los componentes más importantes. Se completó la información con datos de los proyectos potenciales a implementar: Proyecto de derivación Arroyito-SAO (AR-SAO) (Ginestet et al., 1984), Área de riego Negro Muerto (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2016) y Traslase del Río Negro al Río Colorado (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 1979). La demanda total de agua que requieren los proyectos actuales y potenciales se distribuyen de la siguiente manera: proyectos actuales 164 m³/s y proyectos potenciales 236 m³/s (Negro Muerto, Traslase al Río Colorado y Proyecto AR-SAO), a esto se le sumará el caudal ecológico que deberá mantener el río a lo largo de su recorrido.

Con el modelo implementado se simuló los hidrogramas de los 6 escenarios climáticos correspondientes al año 2050, en la desembocadura del río. Posteriormente se simuló para el escenario crítico (Escenario 4), en el año 2050 en la desembocadura, el impacto de los proyectos potenciales contrastándolo, en todos los casos, con el caudal ecológico utilizado.

Paralelamente se determinaron las curvas de duración con los resultados obtenidos por el modelo, esta metodología consiste en el análisis de frecuencia acumulada de caudales, que permite estimar la probabilidad que cierto caudal pueda no ser abastecido (p) o superado (1-p). Se debe considerar (1 -p) si se analiza la probabilidad de tener un caudal superior o igual al Q_x.

Con los resultados obtenidos por el modelo, se confeccionaron curvas de duración en la desembocadura del Río Negro las cuales se compararon con curvas de duración confeccionadas con los caudales pronosticados para las próximas décadas por la Fundación Bariloche (2016), previo descuento de los caudales necesarios para la demanda actual y futura. Las series de caudales utilizados se corresponden con la sección aguas abajo de los compensadores Chañar y Arroyito y fueron provistos por la Fundación Bariloche (2016) (Fundación Bariloche et al., 2017). El propósito de comparar ambas curvas es a fines de validar los resultados obtenidos con el modelo WEAP y los caudales pronosticados.

Para estimar el caudal ambiental/ecológico se usaron métodos que se basan en datos hidrológicos, Martínez (2020) consideró que el caudal recomendado para mantener los hábitats y la vida acuática variaba entre un 10 % y 30 % del caudal medio interanual. Gidahatari (2013) estimó el caudal ecológico, para cursos de agua con caudales medios anuales mayores a 50 m³/s, como el 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año. En este caso y a partir de estas consideraciones se trabajó con caudales ambientales/ecológicos que variaban en un rango de 100 -150 m³/s. Los caudales ecológicos utilizados fueron coincidentes con los límites inferior y superior del rango establecido (100 m³/s y 150 m³/s).

Resultados

Se graficaron 3 hidrogramas resultantes de las simulaciones del escenario 4 (crítico) para el año 2050 y en la desembocadura del río. El primero (hidrograma inferior) fue el resultante de incluir todas las áreas potenciales (Proyecto AR-SAO, Traslase y Guardia Mitre y Negro Muerto), el segundo el que incluye Proyecto AR-SAO y el Traslase (hidrograma intermedio) y el

tercero (hidrograma superior) el que solo incorpora solo el Proyecto AR-SAO (Figura 1). Como se observa en la Figura 1, el hidrograma que incluye los 3 proyectos potenciales, en época de estiaje, no cumple con la condición de un caudal ecológico de 100 m³/s, los valores registrados están en el orden de los 50 m³/s.

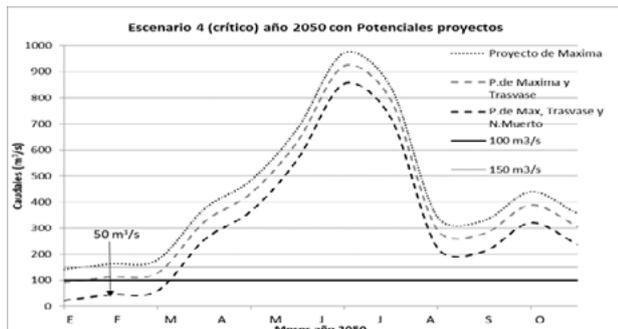


Figura 1.- Hidrogramas Escenario 4 considerando la implementación de distintos proyectos.

Además, se graficaron las curvas de duración generadas, a partir de los resultados de aplicar el WEAP en la desembocadura y las obtenidas con las series de caudales en los dos Compensadores (Chañar y Arroyito), previo descuento de los caudales necesarios para la demanda actual y futura (Figura 2 y 3).

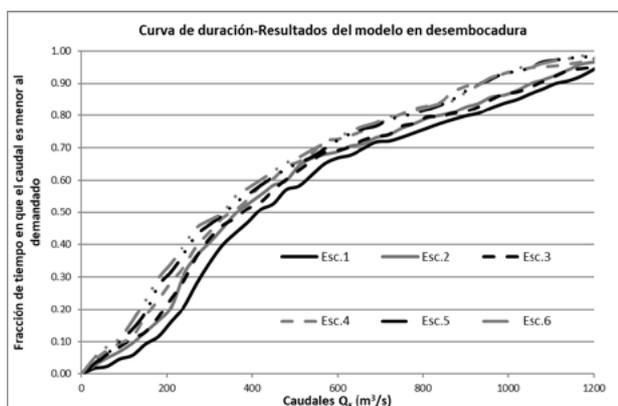


Figura 2.- Curva de duración, resultados del modelo.

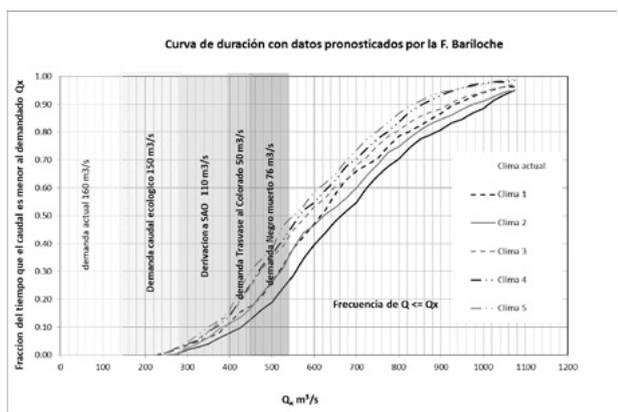


Figura 3.- Curva de duración datos Fundación Bariloche(2016).

Conclusiones

- 1) En términos generales, no se pueden rechazar los proyectos analizados por falta del recurso hídrico, solo se requiere ajustar el sistema con un manejo integral de la cuenca y sus embalses para adecuarlos a los escenarios climáticos esperados.
- 2) Los escenarios de cambio climático, como demuestran los resultados del modelo, modifican los caudales registrados sobre

el río afectando como consecuencia la planificación integral de la cuenca.

3) Las demandas de los diferentes proyectos se podrían suplir, en la mayoría de los escenarios climáticos si admitimos un caudal ambiental de 50 m³/s durante el período de estiaje.

4) Existen diferencias, entre las frecuencias obtenidas a partir de utilizar el modelo WEAP y al utilizar los caudales pronosticados en el Proyecto Climagua. Dichas diferencias, se pueden explicar, dado que con el modelo WEAP se confronta una metodología que incluye los procesos físicos (riego, infiltración, evapotranspiración, escurrimiento subterráneo y retornos de drenaje) con un análisis de frecuencia que incluye solo caudales resultantes de derivar agua a los sistemas actuales y proyectados para esos mismos escenarios. No obstante, las conclusiones que se obtienen a partir de los resultados de ambas técnicas son congruentes.

5) De poder cambiar las normas de operación de los embalses, para erogar más caudal (50 m³/s adicionales) en el periodo de estiaje, las demandas totales más un caudal ambiental de 100 m³/s podrían fácilmente satisfacerse durante los próximos 30 años.

6) La mayor distribución territorial del agua se logra con el proyecto Arroyito-SAO y es quizá el de más alto impacto en el desarrollo regional.

Referencias Bibliográficas

- Fundación Bariloche-UNCo-Cure-Conyct UBA-PIRNA-Coop. Ing. Jacobacci-SEI. (2017). Climagua: Adaptación de población vulnerable al estrés hídrico producido por el Cambio Climático en la zona del Comahue. Séptimo Informe.
- Gidahari.(2013). Gestión sostenible del agua. ¿Qué es el caudal ecológico?. <https://gidahari.com/ih-es/caudal-ecologico>
- Ginestet, N.; Pisandelli, J.C. y Valle, J. (1984). Proyecto de Máxima. Documento. Viedma. Río Negro. Argentina.
- Martinez, Enzo. (2020). Trabajo final de la Licenciatura en Geología “Análisis del territorio fluvial, el caudal ecológico y el riesgo asociado a la dinámica del Río Negro en General Roca y alrededores”. Sede Alto Valle - Valle Medio. Universidad Nacional de Río Negro.
- Nadal, G.; Girardin, O.; Losano, F.; Marizza, M.; Cello, P.; Bucciarelli, L.; Forni, L.; Camilloni, I.; Bravo, G.; Lallana, F.; Di Sbrojavacca, N. (2017). “La planificación del manejo de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático. Una aplicación a la región del Comahue, Patagonia, Argentina”. *Aqua-LAC - Vol. 9 - N° 2* . pp. 59 – 72.3
- Subsecretaria de Recursos Hídricos. (1979). Resumen de los estudios de Prefactibilidad técnica para el aprovechamiento múltiple del Río Negro y económico para el desarrollo integrado de su área de influencia. Secretaria de Estado de Transporte Obras Públicas. Dirección General de Investigación y Desarrollo. Ministerio de Defensa.
- Subsecretaria de Recursos Hídricos. (2016). Proyecto de desarrollo de nuevas áreas bajo riego. Documento Principal. Proyecto de Negro Muerto. Provincia de Río Negro. Secretaria de Obras Públicas. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Buenos Aires. 63 pp.
- Yates, D., J. Sieber, D. Purkey, and A. Huber-Lee. (2005a y b). “WEAP a Demand, Priority, and Preference Driven Water Planning Model: Part 1, y 2 Model Characteristics and Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation”. *Water International 30(4):487–500*. pp. 501-512.

APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT PARA LA SIMULACIÓN DEL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA SALÍ – DULCE. ARGENTINA.

Prieto Villarroya, Jorge^{1,2}; Farias, Hector Daniel¹; Saurral, Ramiro³; Van Meer, Howard⁴.

1 Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT – UNSE. Santiago del Estero, Argentina

2 Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. IEADER - UNSE. Santiago del Estero, Argentina

3 Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA, Buenos Aires, Argentina. Argentina

4 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA INTA. Santiago del Estero, Argentina

jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar irhi.fceyt.unse@gmail.com vanmeer.howard@inta.gob.ar

Introducción

La cuenca del sistema fluvial Salí-Dulce es una de las más importantes de Argentina. La planificación y gestión integrada de sus recursos hídricos exige conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca, la producción de sedimentos, la calidad del agua y otros aspectos necesarios para optimizar el manejo, control y preservación de los recursos hídricos.

Bajo estas premisas, los modelos de balance hídrico constituyen un insumo prioritario para poder establecer una planificación integrada y sustentable sobre el uso y distribución del recurso hídrico de una cuenca.

Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto describir la experiencia desarrollada y resultados obtenidos de la aplicación del modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) como elemento medular para la planificación de la cuenca Salí-Dulce.

El modelo SWAT se aplica para predecir el efecto en la toma de decisiones en el manejo de la producción de agua, sedimentos, nutrientes y pesticidas con razonable precisión, en cuencas pobremente instrumentadas (Arnold et al., 1987), caso típico en Latinoamérica.

Los sub-modelos o módulos que forman parte de SWAT se pueden agrupar en climáticos, hidrológicos, de erosión, de nutrientes, agrícolas y urbanos. El módulo principal, que sirve de sustento a todos los demás, es el hidrológico, lo que significa que cualquier error en su calibración puede invalidar todos los resultados posteriores obtenidos con el resto de módulos. Es por este motivo por el que en el presente trabajo se hace especial hincapié en el procedimiento seguido para la validación y calibración del modelo, lo que resultó especialmente significativo por la dificultad que implica la escasez y heterogeneidad de la información disponible en la cuenca Salí-Dulce, uno de los principales sistemas endorreicos argentinos.

Materiales y Métodos

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo numérico hidrológico desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Investigación Agrícola (ARS). Es un modelo de tiempo continuo, semi-distribuido, diseñado para predecir el impacto del uso y manejo del suelo, el agua, sedimentos y productos químicos agrícolas en las cuencas hidrográficas.

El modelo SWAT subdivide a la cuenca en múltiples subcuencas, que a su vez se subdividen en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs por su siglas en inglés), que conforman unidades homogéneas en cuanto a uso de la tierra, topografía y características hidrológicas del suelo.

Los principales datos empleados en el modelo son información hidrometeorológica (precipitación, temperatura mín./máx., humedad, radiación y velocidad de viento), usos de suelo, modelo digital de elevaciones y tipología de suelos

Una de las limitaciones que tiene la cuenca Salí-Dulce es la carencia de registros pluviométricos con una adecuada distribución espacial. Por ello, se procedió a analizar diferentes tipos de re-análisis con el fin de utilizar sus datos pluviométricos en lugares donde existe escasez de datos. Los re-análisis proporcionan instantáneas integrales de las condiciones climáticas en intervalos regulares durante largos períodos de tiempo, a menudo años o décadas. Se basan tanto en observaciones como en modelos de pronósticos que estiman condiciones climáticas.

Para el modelo se valoraron tres tipos de re-análisis: (1) Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), (2) Climatic Research Unit (CRU), (3) The Physical Sciences Division (PSD)

Para analizar su comportamiento y representatividad, se utilizó una serie de 13148 datos de precipitación diaria sin datos faltantes desde 1979-2014 de dos estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la cuenca. Una estación ubicada en zona llana [Tucumán Aéreo (SMN)] y otra ubicada en zona de montaña [Potrero de Clavillo (EVARSA)]. Para analizar el ajuste de los re-análisis para representar la precipitación observada se utilizaron diferentes estadísticos como Nash-Sutcliffe (NS) coeficiente de determinación (R²) y sesgo porcentual (PBIAS). En base a ello, pudo concluirse que los mejores resultados obtenidos corresponden al re-análisis PSD.

Tabla 1.- Ajustes estadísticos calculados para cada reanálisis.

Re-análisis	Estadístico	Tucumán Aéreo (SMN)	Potrero Clavillo (Evarsa)
CFSR	R ²	0,00	0,06
	NS	-0,34	-0,09
	P _{BIAS}	28,70	63,32
CRU	R ²	0,60	0,02
	NS	0,60	-0,07
	P _{BIAS}	14,21	65,71
PSD	R ²	0,70	0,04
	NS	0,67	-0,45
	P _{BIAS}	-11,64	-5,94

Como Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se utilizó el correspondiente a la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM), realizada en el año 2000 utilizando un interferómetro de radar, para reproducir la superficie de la tierra entre aproximadamente 60° N y 56° S, equivalente al 80% por ciento de la masa terrestre del planeta. El MDE obtenido tiene una resolución espacial de 1 segundo de arco (~ 30 m), y una precisión vertical ± 16 metros.

A partir del MDE mediante la herramienta QSWAT, pudo calcularse la dirección y acumulación de flujo agua y a partir de este resultado, delimitar la cuenca, subcuencas, y red de drenaje, así como también calcular área, perímetro, rangos de pendiente (%), y parámetros morfométricos de la cuenca y del cauce para

el cálculo del transporte hidráulico en la cuenca Salí-Dulce.

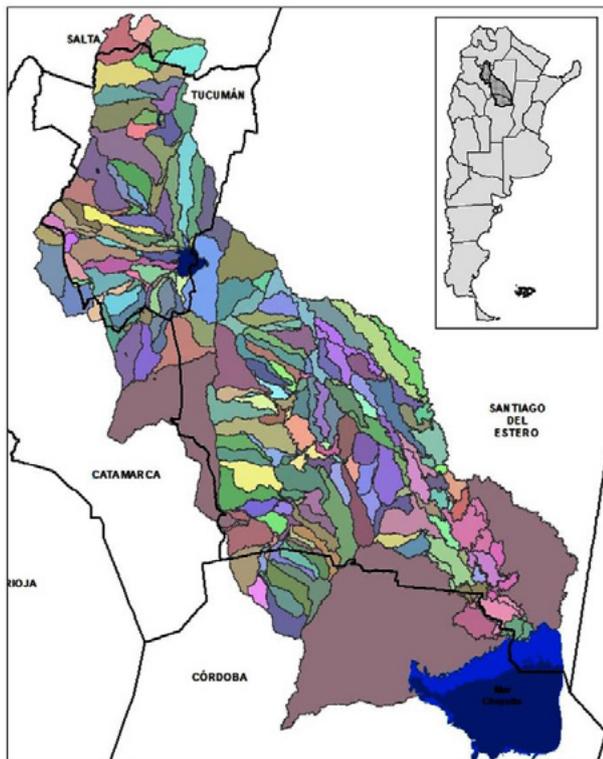


Figura 1.- Desagregación en Subcuencas del Modelo Salí - Dulce

La información incorporada al modelo incluyó tanto el análisis y actualización de cartografía de usos de suelo como de los diferentes tipos de suelo presentes en la cuenca, incorporando al modelo las funciones de pedotransferencia calculadas para cada horizonte de cada tipo de suelo de la cuenca.

En base a la información anterior, se realizó una discretización espacial, estableciendo un umbral 50000 ha, desagregando a la Cuenca Salí-Dulce (de 87050 km²) en 98 subcuencas (Figura 1).

El modelo también contempló la incorporación de tres embalses presentes en la cuenca: Río Hondo, Cadillal y Escaba (Figura 2), requiriendo información de caudales de entrada/salida para cada uno de ellos y la caracterización de su geometría y órganos de descarga.

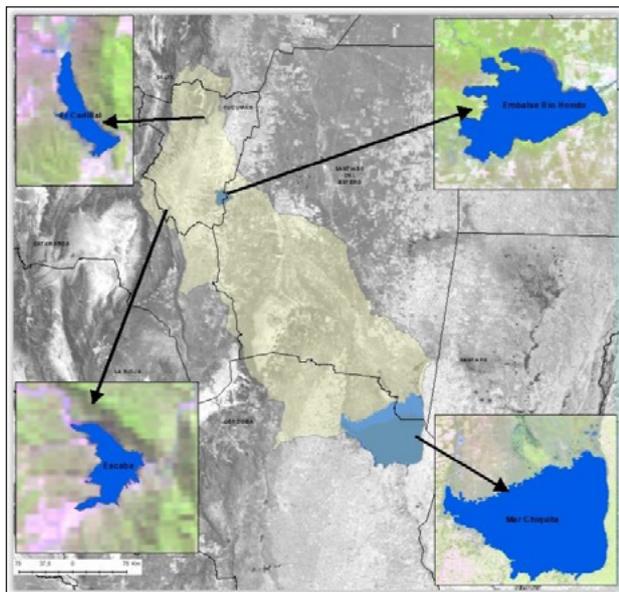


Figura 2.- Principales reservorios de la Cuenca Salí - Dulce

Evaluación de Resultados

La modelación se realizó para un periodo de 50 años (1968-2017) con paso mensual, calibrando un periodo de 12 años (1988-1999) y validando un periodo de 9 años (2000-2008). Se adoptó un periodo de calentamiento de 20 años (1968-1987) para la estabilizar condiciones iniciales de contenido de agua en el suelo.

El modelo representó adecuadamente los procesos de flujo mensual (Tabla 2), ya que se considera que valores $>0,65$ del coeficiente de Nash-Sutcliffe, porcentajes $\pm 10\%$ de PBIAS y valores $>0,7$ de R², indican una muy buena calibración y validación del modelo para la cuenca.

Tabla 2.- Análisis de Caudales observados vs calculado

Período	R ²	Nash	P _{BIAS} (%)
Calibración (1988 - 1999)	0.71	0,70	10
Validación (2000 - 2008)	0.69	0.68	5

Para la calibración de resultados se realizó un análisis de sensibilidad por medio del programa SWAT-CUP (Abbaspour, 2007). El análisis permitió jerarquizar la secuencia de la calibración a fin de representar las condiciones físicas naturales existentes en la cuenca. A partir de ello se confirmó la importancia de 28 parámetros, siendo los más sensibles los que controlan la evaporación en el reservorio (WURCH), el tránsito o 'ruteo' (routing) de agua en superficie (SLSUBBSN y SURLAG) y la descarga de agua subterránea (ALPHA_BF).

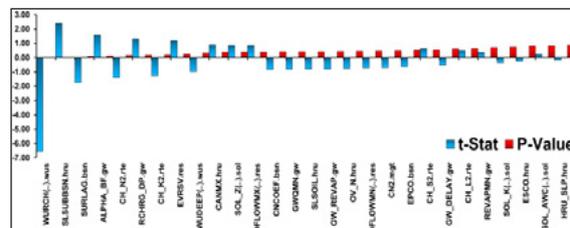


Figura 3.- Análisis de Sensibilidad del Modelo. Cuenca Salí-Dulce

Conclusiones

El modelo SWAT representa adecuadamente los caudales para periodos secos con ligeras subestimaciones en los periodos de calibración (10%) y validación (5%) respectivamente. Asimismo, el modelo fue capaz de capturar satisfactoriamente el efecto de la regulación de descargas (Figura 4) inducido por el Embalse Río Hondo, con un valor de R² = 0.71.

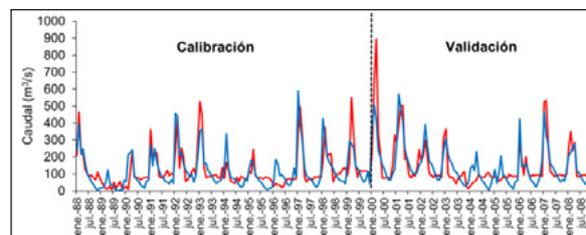


Figura 4.- Hidrograma mensual calculado (azul) y observado (rojo) para el punto de control "Embalse Río Hondo". Periodo (1988-2008)

Referencias Bibliográficas

Abbaspour, K.C., et al. (2007) Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed Using SWAT. Journal of Hydrology, 333, 413-430.

Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R., (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (V2005).

Troin, M., Vallet-Coulomb, C., Piovano, E., (2012). Rainfall-runoff modeling of recent hydroclimatic change in a subtropical lake catchment: Laguna Mar Chiquita, Argentina. Journal of hydrology. 475, 9-391.

METODOLOGÍA PARA CÁLCULO DE CAUDAL ECOLÓGICO EN APROVECHAMIENTOS MULTIPROPÓSITO MEDIANTE HYDRO-BID E ÍNDICES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA.

Prieto Villarroya, Jorge^{1,2,3}; Borsellino, Marcelo^{1,2}; Castellano, Edgardo¹; Catacoli, Alejandra; Salto, José²; Ruiz, Nicolás².

¹ Comisión Regional del Río Bermejo COREBE. Ministerio Obras Públicas. Argentina

² Instituto de Recursos Hídricos. FCEyT - UNSE. Santiago del Estero, Argentina

³ Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. IEADER - UNSE. Santiago del Estero, Argentina

E-mail: jprietovillarroya@corebe.org.ar mjborsellino@corebe.org.ar irhi.fceyt.unse@gmail.com

Introducción

El Régimen Natural de Caudales (RNC) se define como el caudal que de forma natural circularía por el cauce, aceptando la complejidad y variabilidad de todos los factores implicados, en contraposición a otros regímenes, a los que podría denominarse alterados, obtenidos al modificar el régimen natural de caudales del río mediante una regulación y/o detención directa de caudales desde el cauce (Fernández Yuste, A. 2010)

El régimen natural de caudales constituye, por tanto, el estado de referencia desde el punto de vista hidrológico para un determinado ecosistema fluvial.

Objetivos

Es un hecho por todos conocido que el aprovechamiento de los recursos hídricos de una cuenca lleva implícito una alteración o modificación de su régimen natural de caudales (Martínez Santamaría, C. 2006).

El objetivo del presente trabajo es el de analizar la aplicabilidad combinada del Modelo Hidrológico Hydro-BID, conjuntamente con los Índices de Alteración Hidrológica IAHRIS, para aprovechamientos hidráulicos multipropósito, y su posible uso en la definición del Caudal Ecológico. En el trabajo, se presentan criterios para avanzar en el estudio de la alteración hidrológica que estas producen en los cursos naturales de agua, así como sus implicancias en la dinámica de los ríos. El trabajo realiza la aplicación de la metodología propuesta en el caso del Aprovechamiento Hidráulico Multipropósito del Río grande Inferior en San Juancito. Provincia de Jujuy. Argentina

Metodología

En la actualidad existen más de 200 métodos para estimar caudales ecológicos (Díez-Hernández, 2005), pese a la aparente dispersión de métodos, todos los autores coinciden en que las principales metodologías se agrupan en cuatro (4) enfoques: hidrológicos, de simulación de hábitat, holísticos e hidráulicos.

Se indican brevemente las ventajas y desventajas de cada tipología de método (Tabla 1):

1. Métodos hidrológicos: Se basan en el uso de información hidrológica en forma de series históricas de caudales, para la formulación de recomendaciones de caudal ambiental. Son fáciles de aplicar dado que requieren poco o nulo trabajo de campo. Por eso, también son clasificadas como metodologías de escritorio.

2. Métodos hidráulicos: utilizan las relaciones entre el caudal y algunas características del cauce. Son una mejora de los métodos hidrológicos dado que se valen de las mediciones en campo y son afectadas por las variaciones de caudal propias del río. Sin embargo, se basan en las características físicas del cauce omitiendo las necesidades de la biota, como los métodos hidrológicos.

3. Métodos de simulación de hábitat: su enfoque busca reunir

series históricas de caudal, parámetros morfo-hidráulicos de diferentes secciones, procesos físico-químicos e incluso algunas variables biológicas. Se considera que los resultados obtenidos a partir de estas metodologías se adaptan de mejor manera a las condiciones propias de cada cauce, sin embargo, la aplicación de estos métodos resulta más compleja y la recolección de datos requiere de periodos más extensos.

4. Método holístico: estas metodologías recurren a paneles de expertos multidisciplinarios para identificar aquellas características esenciales del río que pueden generar un impacto ecológico y son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado. De esta forma podrá mantenerse la biota y la funcionalidad del río. Estos métodos, generalmente, se realizan desde dos aproximaciones: Bottom-up y Top-down.

5. Métodos combinados: los métodos combinados o híbridos comprenden un conjunto de métodos que incluyen características de más de uno de los cuatro grandes tipos de métodos de cálculo de caudales ecológicos. Debido a ello, se trata de métodos muy variados, tanto en su desarrollo, como en sus requisitos de utilización y resultados.

Tabla 1.- Ventajas e Inconvenientes de los diferentes Métodos

Método	Ventajas	Desventajas
Hidrológicos	- Sencillo y de fácil aplicación - Requiere solo datos hidrológicos - Intenta copiar el patrón del río - Económico	- Representan demandas mínimas del ecosistema - No son extrapolables a otro río
Hidráulicos	- Requieren datos hidráulicos - Sus resultados pueden reutilizarse en otros métodos	- No existe una correlación real entre los métodos y requerimientos ambientales
Holísticos	- Consideración con visión integral la complejidad del ecosistema	- Complejidad en la implementación - Precisa de abundantes datos
De Simulación de Hábitat	- Basados en la identificación de condiciones óptimas para especies objetivo	- Necesidad de datos locales y específicos - Experiencia técnica

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente para los métodos hidrológicos y teniendo en cuenta la información disponible, se seleccionaron métodos de este tipo para la realización del presente trabajo. Las metodologías con enfoques hidrológicos se fundamentan en el procesamiento de datos hidrológicos, basándose en la premisa que los ecosistemas se han adaptado a las variaciones naturales del régimen hídrico y a sus tendencias históricas, es así como posterior a un estudio hidrológico del régimen de caudales ambientales, es posible identificar un caudal

básico sobre el cual los procesos ecosistémicos acuáticos de la corriente pueden ser mantenidos y preservados.

Como consecuencia, se realizó un cálculo de propuestas de caudal ecológico mediante diferentes metodologías hidrológicas, que fueron agrupados en 4 grandes grupos: Métodos basados en percentiles, métodos basados en la curva de permanencia, Métodos basados en Aquatic base Flow y Método de Tennant.

Los datos empleados, proceden en el caso del período 1967 – 1981, de la Base de Datos Hidrológica Integrada del Sistema Nacional de Información Hídrica, los mismos fueron completados con los resultados de la simulación del Modelo Hydro-BID, período 2010 - 2020.

Para su implementación se propone la aplicación de la metodología IAHRIS, como herramienta para caracterizar el régimen natural de un río, y cuantificar la alteración del mismo. Hydro-BID, por su parte, es una herramienta de simulación hidrológica basada en modelos matemáticos que tienen en cuenta las características topográficas, hidrológicas y climáticas de la cuenca. Se describen brevemente ambas herramientas:

El modelo Hydro-BID utiliza datos hidrológicos y geoespaciales, como precipitación, evapotranspiración, características topográficas y uso del suelo, para simular el comportamiento lluvia-escorrentía de la cuenca. También incluye información sobre infraestructuras hidráulicas existentes, como presas y sistemas de riego, para evaluar su incidencia e impacto en el régimen hidrológico. El sistema Hydro-BID genera salidas de información en forma de series de tiempo diarias de los flujos estimados para la localidad y el período escogidos. A discreción del usuario, estas salidas pueden ser resumidas en una serie de tiempo mensual (Figura 1).

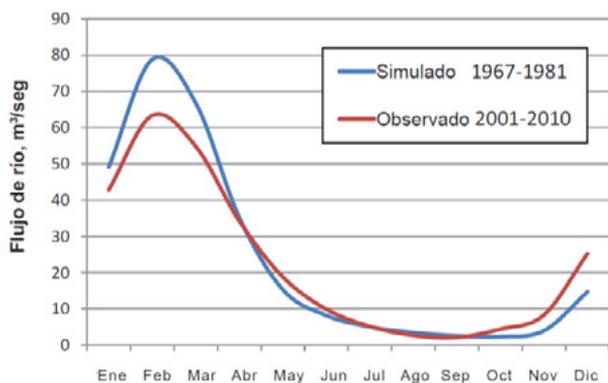


Figura 1.- Caudales Simulados vs Observados en el Modelo HydroBID

IAHRIS, por su parte, permite realizar un análisis cuantitativo comparando los diferentes métodos, e identificando el más favorable en términos ambientales, lo que permite a los gestores de recursos hídricos tomar decisiones informadas sobre la gestión de los recursos hídricos. El procedimiento metodológico, emplea parámetros que definen los aspectos más significativos del régimen hidrológico natural y, mediante su comparación con los valores alterados, define índices (parciales y globales) cuantificadores de la afectación al régimen natural de caudales. La metodología define un total de 21 índices de los cuales seis índices caracterizan los valores habituales, ocho los valores extremos máximos y siete los valores extremos mínimos. Luego, éstos índices se resumen en 3 índices globales: valores habituales, otro para avenidas y otro para sequías.

Conceptualmente los Índices de Alteración pueden definirse como cociente entre el valor del parámetro de caracterización en un régimen alterado y el valor de ese mismo parámetro en régimen natural (Ecuación 1):

$$\text{Índice de Alteración} = \frac{\text{Valor Parámetro Régimen Alterado}}{\text{Valor Parámetro Régimen Natural}} \quad [1]$$

Según el valor obtenido para un índice con la expresión anterior, se le asigna un nivel de acuerdo a la siguiente escala en la que se definen 5 posibles niveles de alteración (tabla 2):

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
0.8 < I ≤ 1.0	0.6 < I ≤ 0.8	0.4 < I ≤ 0.6	0.2 < I ≤ 0.4	0.0 < I ≤ 0.2

Figura 2.- Niveles de Afectación según Índice de Alteración

Resultados y conclusiones

La caracterización en niveles permitió comparar la alteración que cada uno de los 4 métodos hidrológicos propuestos (percentil, curva de permanencia, Tennant y Aquatic base Flow)

ASPECTO	DENOMINACIÓN	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		0,8 < I ≤ 1	0,6 < I ≤ 0,8	0,4 < I ≤ 0,6	0,2 < I ≤ 0,4	0 < I ≤ 0,2
AÑO HÚMEDO	Magnitud de las aportaciones			0,51		
	Magnitud de las aportaciones			0,53		
	Variabilidad habitual				0,30	
	Variabilidad extrema		0,70			
	Estacionalidad de máximos	1,00				
	Estacionalidad de mínimos	0,83				
AÑO MEDIO	Magnitud de las aportaciones				0,40	
	Magnitud de las aportaciones			0,55		
	Variabilidad habitual				0,21	
	Variabilidad extrema			0,56		
	Estacionalidad de máximos	0,98				
	Estacionalidad de mínimos	0,95				
AÑO SECO	Magnitud de las aportaciones				0,26	
	Magnitud de las aportaciones			0,53		
	Variabilidad habitual					0,05
	Variabilidad extrema				0,30	
	Estacionalidad de máximos	0,80				
	Estacionalidad de mínimos	0,87				
AÑO PONDERADO	Magnitud de las aportaciones				0,39	
	Magnitud de las aportaciones			0,54		
	Variabilidad habitual					0,19
	Variabilidad extrema			0,53		
	Estacionalidad de máximos	0,94				
	Estacionalidad de mínimos	0,90				

Figura 2.- índices de Alteración Hidrológica Aquatic base Flow (Alt. 2)

Tras comparar las 4 alternativas, se observa que en promedio, los mejores Índices de Alteración Hidrológica IAH corresponden a la Alternativa 2 (Aquatic base Flow ABF). Los mejores índices no sólo fueron obtenidos para años medios sino también para años húmedos, secos, promedios, ponderados y para crecidas y sequías

Los resultados obtenidos muestran la utilidad combinada de IAHRIS e Hydro-BID, para la obtención de caudales, y la posterior comparación de 4 diferentes métodos hidrológicos de cálculo de caudal ecológico- La aplicación al caso particular del futuro Aprovechamiento Hidráulico Multipropósito del Río Grande Inferior en Jujuy (Argentina) permitió valorar cuantitativamente las alteraciones hidrológicas producidas aguas abajo por las obras de regulación, y la propuesta de adopción de caudal ecológico para la futura gestión y operación de la obra una vez construida.

Referencias Bibliográficas

- Alan Wyatt, Fekadu Moreda, Eugene Brantly, Fernando Miralles-Whilhelm, Raúl Muñoz Castillo (2014) "Caso de estudio de Hydro-BID N°1: Modelo de gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Grande en Argentina" / p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1361)
- Magdaleno, Fernando (2012) "Caudales Ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones". Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. CEDEX. España
- Martínez C. y Fernández Yuste, (2010) IAHRIS, "Índices de Alteración Hidrológica en ríos", 12.0; v1.1, 2009. Software, Manual de Referencia Metodológica y Manual de usuario. España

CARACTERIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN VIÑEDOS REGADOS SUPERFICIALMENTE ASISTIDO POR IMÁGENES SATELITALES

Puertas, C.¹✉, Mateo¹, D.; Tozzi, D.² y F. Tozzi¹

¹EEA INTA Junín, Argentina

²Inspección del Canal Matriz Constitución, Río Tunuyán Inferior, Argentina

✉ puertas.carlos@inta.gob.ar

Introducción

La vid es un cultivo relativamente tolerante a la sequía, sin embargo, el crecimiento y la producción pueden verse afectados por la ocurrencia de déficits hídricos durante el ciclo de cultivo.

En el oasis este de la provincia de Mendoza, la principal forma de provisión de agua de riego deriva del Río Tunuyán. Este sistema de entrega está calculado para abastecer los cultivos en forma discontinua, generando periodos entre dos riegos consecutivos de 7 a 40 días, dependiendo de la riqueza hidrológica del año y de la ubicación de la propiedad.

Según antecedentes, la lámina de riego recomendada en cultivos de vid rondaría los 800-900 mm de agua en un ciclo de cultivo.

Materiales y métodos

En un cultivo de vid cv. Moscatel de más de 30 años de edad (Fig. 1) ubicado en el departamento de Junín (Mendoza), se realizó un balance hídrico a nivel parcelario para el ciclo de cultivo 2021-2022. El sistema de riego es superficial. Inicialmente se caracterizó las propiedades físicas y fertilidad del suelo, el desempeño del riego superficial (eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución del agua) y la expresión vegetativa del cultivo. Con el objeto de poder cotejar metodologías, la estimación de la evapotranspiración de cultivo se realizó mediante dos metodologías: la metodología tradicional de FAO 56 (Allen et al. 1998) utilizando coeficientes de cultivos (k_c) tabulados y la metodología de estimación del coeficiente basal de cultivo (k_{cb}) a partir de valores de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenidos mediante imágenes satelitales y procesados a través de la plataforma AgrisatwebGIS. Para el cálculo del K_{cb} se utilizó la ecuación propuesta por Campos et al. (2010) que expresa:

$$K_{cb} = 1,44 \cdot NDVI - 0,1 \quad [1]$$

Los datos meteorológicos empleados fueron obtenidos de una estación meteorológica ubicada a 3 km del sitio, perteneciente a la DACC.



Figura 1.- Parcela de vid cv. Moscatel conducida en espaldero.

Para el cálculo del balance de agua se consideró como aportes el agua entregada en cada evento de riego y la precipitación efectiva obtenida como $P_{pe} = 0,8 \times (P_p - 12)$, siendo P_p la precipitación registrada, según Chambuleyron (2005) para zonas áridas. Por su parte, la extracción de agua considero exclusivamente la Evapotranspiración de cultivo (Etc). El aporte de agua freática y la percolación profunda se consideraron nulos.

El control del estado hídrico de cultivo se realizó en distintos momentos del ciclo a través de la medición del potencial hídrico de tallo según Shackel, et al. (2000).

Resultados y discusión

La evolución del k_{cb} estimado a partir de los datos de NDVI se muestra en la Fig. 2. El valor máximo alcanzado corresponde al mes de diciembre, siendo de 0,43. La caída abrupta registrada en forma posterior se debió a la ocurrencia de una tormenta de granizo el día 11-12-2021. Esto ocasionó que los valores registrados, 15 días posterior al evento, alcanzaran un mínimo de 0,27.

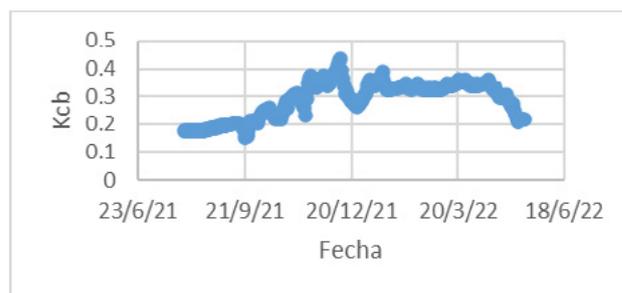


Figura 2.- Evolución del k_{cb} estimado a partir de los valores de NDVI para la parcela de estudio.

La Fig. 3 muestra la evolución de la humedad de suelo promedio en el perfil de suelo analizado (90 cm). En ella, puede observarse que entre el 3° y 4° evento del riego transcurrieron 55 días y entre el 5° y 6° transcurrieron 76 días.

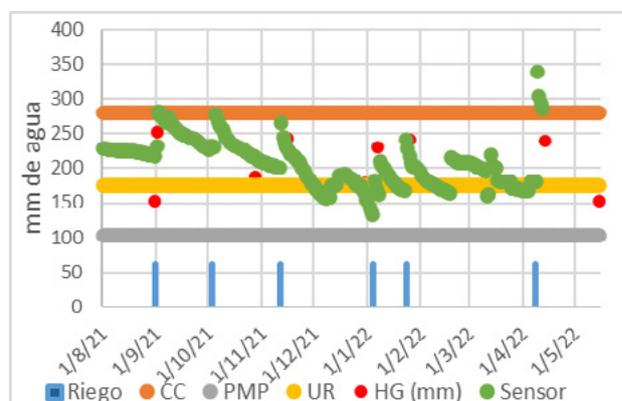


Figura 3.- Evolución del contenido de humedad de suelo promedio en 90 cm de profundidad, expresados como lámina de agua equivalente en mm. CC (capacidad de campo), UR (umbral de riego teórico), PMP (punto de marchitez permanente), HG (humedad gravimétrica), Sensor (sensor FDR). Barras azules indican eventos de riego en mm.

Si bien estos intervalos prolongados entre dos riegos consecutivos, pueden sugerir que el cultivo no fue satisfecho respecto del total de sus necesidades, los valores de potencial hídrico de tallo mostraron un mayor nivel de hidratación respecto de los valores referidos por Ojeda et al (2007) como umbral de estrés hídrico en plantas de vid (datos no mostrados). Esto permitiría pensar que el cultivo no estuvo sometido a estrés hídrico que pudiese afectar su rendimiento.

La evapotranspiración de cultivo medida a través del balance hídrico de suelo fue de 389 mm en el ciclo evaluado (372 mm aplicados por el riego y 21,2 mm recibidos como precipitación efectiva). Por su parte, la Etc estimada a través del NDVI fue de 507 mm (30% mayor) mientras que la Etc estimada a través del método FAO (kc tabulados) fue de 802 mm (106% mayor).

Conclusiones

La estimación de la Etc a través de la utilización de imágenes satelitales fue más precisa respecto de la estimación a través de la metodología tradicional de FAO por valores tabulados de Kc. Esto demuestra la utilidad de la metodología evaluada para el cálculo de las necesidades del cultivo sitio específicas.

Bibliografía

Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* - FAO Irrigation and drainage paper n° 56, Rome, Italy. 300 p.

Chambuleyron, J. (2005). *Riego y Drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable*. Tomo 1. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. 470 p.

Ojeda, H. (2007). *Riego cualitativo de precisión en vid*. Síntesis presentada en Enoforum 2007, Italia.

Shackel, k.; Lampinen, B.; Sibbet, S.; Olson, W. (2000). *The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions*. Acta Horticulturae 537: 425-430.

MEJORA DE LAS CONDICIONES DEL SUELO COMO DETERMINANTE DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN EL SUDESTE BONAERENSE

Marino Puricelli y Maximiliano Eiza

Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. IPADS Balcarce (INTA-CONICET). Unidad Integrada Balcarce (INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP). Ruta 226, km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
E-mail: puricelli.marino@inta.gob.ar; eiza.maximiliano@inta.gob.ar

Introducción

En territorios como la Región pampeana es cada vez más evidente la necesidad de mantener y mejorar la calidad del medio ambiente en general y del sistema hídrico en particular. En este sentido, la reposición de agua en suelos y acuíferos ha tomado gran relevancia, desarrollándose líneas de investigación orientadas al aumento de la cantidad de agua superficial factible de restablecer las reservas hídricas de los acuíferos libres. En el presente resumen se exponen los primeros resultados desarrollados en un establecimiento agrícola-ganadero del SE de la Provincia de Buenos Aires (Est. "El sombrero" y Anexo "Raíces"), localizado en el partido de Lobería a 8 km de la localidad de Dos Naciones (Figura 1). Regionalmente, se localiza dentro una sub región de la provincia asociada principalmente a la recarga del acuífero freático regional (Santa Cruz y Silva Busso, 1999). Hidrográficamente, el área pertenece a la cuenca superior del Arroyo El Invierno, tributario del Arroyo Grande. Se afectaron 232.3 has de uso agrícola – ganadero (Figura 2), donde el 96% de los suelos corresponden a la serie Mar del Plata, Argiudol típico (INTA, 2022), y el resto son afloramientos del Sistema de Tandilia (Cingolani, 2010).

El objetivo del trabajo fue la comparación de escenarios de manejo agrícola de suelo y cultivos, para cuantificar la reposición de agua en suelos y acuífero freático local, como resultado de la reducción del escurrimiento superficial. Dicha cuantificación realizada por estimación, empleando el método de la Curva Número (USDA, 2004), con las modificaciones contempladas en el modelo SWAT (Neistch *et al.*, 2011).



Figura 1.- Localización regional del área de trabajo.

Materiales y Métodos

El primer escenario a analizar fue el observado a inicios del trabajo, donde los suelos presentaban el efecto de procesos activos de erosión hídrica, asociada a la compactación superficial de los suelos. Esta compactación fue generada principalmente por el exceso en la aplicación de agua de riego de composición química desfavorable para la conservación de la estructura del suelo y, en consecuencia, su permeabilidad y porosidad (Costa, 1999). Este exceso fue realizado de forma periódica a través de los años en los suelos analizados, siendo su efecto acumulativo en el tiempo. Tanto en las recorridas a campo mencionadas, como en trabajo de gabinete, previo y posterior a las visitas, se identificaron patrones visuales que responden a un nivel de erosión de grado medio a grave. En este sentido hay reducción de los espesores del horizonte superficial, como también presencia de surcos y cárcavas, con una longitud total de cárcava es de 3900 metros. Dichas cárcavas desembocan a la cuneta del camino vecinal, desde donde se

movilizan al arroyo El Invierno. En tal sentido, el exceso de escurrimientos, debido a la condición actual del suelo está generando externalidades de suelo, nutrientes, agroquímicos y generando deterioro de caminos, al tiempo que aporta caudales a las vías naturales de agua que muchas veces exceden la capacidad natural de transporte.



Figura 2.- Detalle del área de trabajo.

A partir de la intervención en el terreno, el segundo escenario analizado fue el de la aplicación práctica de tareas de descompactación superficial y suavizado del perfil transversal de cárcavas presentes empleando maquinaria agrícola habitual en los establecimientos agrícolas de la región. Una vez terminado las labores, en estos suelos se implantaron pasturas y cultivos de cosecha fina.

En ambos escenarios, a fin de parametrizar el modelo hidrológico seleccionando, se procedió a la medición de variables físicas de interés hidrológico, mediante procedimientos protocolizados a nivel nacional (Santos *et al.*, 2017). Las mediciones fueron: a) infiltración con anillo simple, b) compactación, mediante penetrómetro de golpes y c) escurrimiento, mediante simulador de lluvia (Eiza y Carfagno, 2018). Sobre la base de los resultados anteriores, los perfiles modales de los suelos presentes y la observación a campo, se procedió a la caracterización del comportamiento hidrológico de los suelos, identificándolos según las categorías de Grupos Hidrológicos de Suelos del Método de la Curva Número, según lo propuesto por USDA (2004) y por Neisch *et al.* (2011).

Resultados y Conclusiones

En el escenario inicial, al estar compactados, con una clara reducción de su capacidad de infiltración, aumento en la compactación, y ausencia total de cobertura de rastrojos, el comportamiento hidrológico del terreno se asoció a un valor de Curva Número alto, representando una alta capacidad para la generación de escurrimiento superficial. En el segundo escenario, con una clara mejora tanto en la condición física de los primeros 20 cm del suelo por descompactación y una clara mejora en la cubierta vegetal (cultivos de grano fino) el valor de la curva

número se redujo notablemente y con ésta la generación de escorrentía superficial. Las figuras 3 y 4 señalan las diferencias en la condición física de los suelos en ambos escenarios.

El criterio de asignación de los valores de CN fue validado a campo mediante seis diferentes simulaciones de escurrimiento en suelos bajo las condiciones físicas del primer escenario, (Santos *et al.*, 2017), con una intensidad de precipitación simulada de 60 mm h^{-1} , y aplicando el procedimiento propuesto por Hawkins (1993), con la modificación posterior propuesta por Asaye *et al.* (2021) para la deducción de valores de CN a partir de datos de escurrimiento. Como resultado, se obtuvo un valor promedio de CN de 94.7 para la condición II. Estos resultados explican el grado de desarrollo de los procesos de erosión hídrica observadas en terreno. En las condiciones hidrológicas del segundo escenario, no se logró la generación de escurrimiento en las simulaciones de lluvia realizadas.

Ambos escenarios fueron comparados, empleando la misma serie de datos (2016-2021) de precipitación y de evapotranspiración potencial, estimada a partir de modelo de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Los datos utilizados provienen de las observaciones de la estación agrometeorológica localizada en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce.

La diferencia entre los valores del total anual de escurrimiento estimado, entre ambos escenarios, indican una reducción del escurrimiento superficial, asociado a los cambios en las condiciones del terreno, con la mejora de la recarga hídrica, denominado por Reig *et al.* (2019) como “beneficio volumétrico, de alrededor de 416 millones de litros por año (Figura 5). Este beneficio es particularmente significativo. Debe considerarse, además que estos resultados se obtuvieron durante un desigual desarrollo de los totales de precipitación anual, sumado a un proceso de sequía que afectó a toda la región en los últimos 3 años.

Finalmente, los resultados expuestos permiten destacar el rol del manejo conservacionista de los suelos, que afecta no sólo a la producción agropecuaria, sino al recurso hídrico, en su conjunto, siendo una herramienta válida para la conservación del mismo.

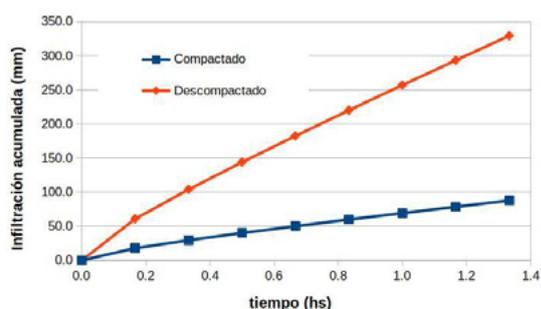


Figura 3.- Infiltración promedio para suelos compactados y descompactados.

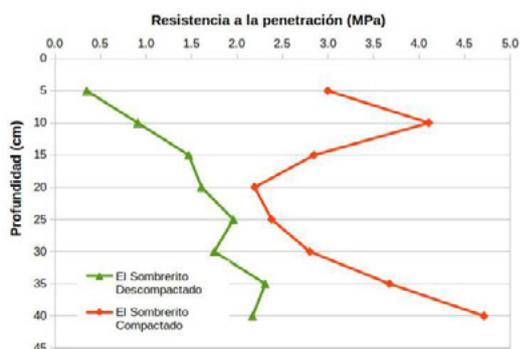


Figura 4.- Resistencia a la penetración promedio para suelos compactados y descompactados.

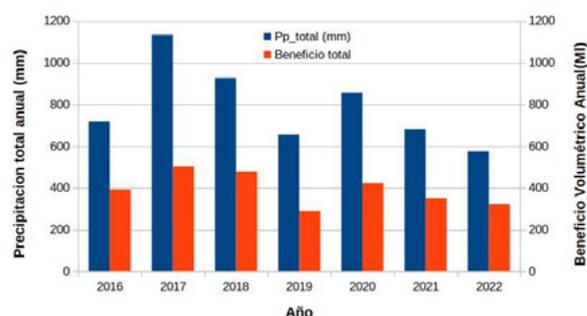


Figura 5.- Precipitación total y Beneficios Volumétricos.

Referencias Bibliográficas

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Roma.

Assaye, H.; Nyssen, J.; Poesen, J.; Lemma, H.; Tsegaye, D.; Meshesha, D. T.; Wassie, A.; Adgo, E.; Frankl, A. (2021). “Curve number calibration for measuring impacts of land management in sub-humid Ethiopia”. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 35. 100819.

Cingolani, C. A. (2010). “The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview”. *Int J Earth Sci. DOI: 10.1007/s00531-010-0611-5*.

Costa, J. L. (1999). “Effect of Irrigation Water Quality Under Supplementary Irrigation on Soil Chemical and Physical Properties in the “Southern Humid Pampas” of Argentina. *Journal of Crop Production* (2):85-99.

Eiza, M. J y Carfagno, P. F. (2018). Cap.3: Medición de la infiltración en el suelo. Infiltrómetro de anillo simple y simulador de lluvias. En: Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. pp. 25-36. Ediciones INTA. Anguil, La Pampa. Argentina.

Hawkins, R. H. (1993). “Asymptotic determination of runoff curve numbers from data”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119 (2): 334 – 345.

INTA - Instituto de Suelos - CIRN. (2022). *Cartas de Suelos República Argentina - Provincia de Buenos Aires (1.0)*. disponible en: <https://zenodo.org/record/6353509>.

Neisch, S. L.; Arnold, L. G.; Kiniry, J. R.; Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool*. Texas Water Resources Institute. TR-416. 618 p.

Reig, P. Larson, W. Vionnet, S. Bayart, J. B. (2019). “Volumetric water benefit accounting (VWBA). A method for implementing and valuing water stewardship activities”. World Resources Institute Working Paper. 50 p.

Santa Cruz J. N. y Silva Busso, A. (1999). “Escenario hidrogeológico general de los principales acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina”. *II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea.*, Santa Fe, Argentina. Actas, Tomo I, Pág. 461-471.

Santos, D. J.; Wilson, M. G.; Ostinelli, M. M. (eds.) (2017). *Metodología de muestreo de suelo y ensayos de campo: protocolos básicos comunes*. INTA Ediciones.

United States Department of Agriculture. (2004). *Chapter 7 Hydrologic Soil Groups. Part 630 Hydrology* National Engineering Handbook.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del Convenio INTA-Proyecto Agua Segura.

CARTA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO PARA LAS ACCIONES DE PREVENCIÓN - CIUDAD DE CÓRDOBA - 2022/2023

Francisco Quintana Salvat¹, Ruben del Valle Menso², Osvaldo Luis Barbeito^{1,3}, Ana Laura Rydzewski³, Sabrina Torti López²

¹UNC Univ. Nacional de Cba; ²UNC Univ. Nacional de Cba, FCEFYNFac. de Cs Exactas, Físicas y Naturales; ³INA Inst. Nacional del Agua, Argentina.

E-mail: fquintan@gtwing.efn.uncor.edu; ruben.menso@unc.edu.ar; coyabarbeito@gmail.com; arydzewski@ina.gob.ar; tortilopezabrina@unc.edu.ar.

Introducción

La ciudad de Córdoba Capital, se desarrolla dentro de la cuenca del río Suquía, cuyo cauce atraviesa la localidad en sentido NW – E, donde recibe los aportes del río Saldán, de los arroyos: La Cañada, Infiernillo, Aguaducho, Manuela, Cañada de los Pozos, y el escurrimiento mantiforme y pseudoconcentrado en cañadas proveniente del entorno urbano y periurbano. Desde su fundación, sufrió inundaciones fluviales por crecientes repentinas del río Suquía, arroyo la Cañada e inundaciones urbanas y anegamiento prolongado por aportes pluviales locales, condicionados por las características geomorfológicas de su emplazamiento y desencadenadas por lluvias de alta intensidad y corta duración. En base a un análisis hidrogeomorfológico de fotografías aéreas, imágenes satelitales, relevamiento de campo y registros de eventos de fuentes secundarias y primarias, se realizó en el año 2002 una evaluación de peligrosidad geomorfológica (Quintana et, al 2002). La cual fue actualizada parcialmente en el año 2022-2023, contemplando los nuevos sectores urbanizados y zonificando los procesos detectados en niveles de peligrosidad alta y media para implementar acciones de defensa civil.

Área de Estudio y Metodología

A nivel geomorfológico el ejido urbano se emplaza dentro de una planicie fluvio eólica, compuesta por loess, limos y arenas finas (Quintana et, al 2002). Su génesis se vincula a las variaciones climáticas del cuaternario que implicaron una alternancia de climas áridos y húmedos, con desarrollo de abanicos aluviales de los cursos fluviales provenientes de la sierra Sierra Chica y Grande, que fueron obliterados por una cubierta loésica (Fm. General Paz) durante el máximo glacial. Este relieve se encuentra disectado por las fajas fluviales actuales de los ríos con nacientes en los cordones mencionados (Martino, et al 2020).

En esta unidad, se desarrolla la faja fluvial del río Suquía, el cual a la salida del ambiente Serrano, ha generado durante el pleistoceno un extenso abanico aluvial telescópico hasta su desagüe en la laguna Mar Chiquita, donde aún es posible distinguir a lo largo de su traza actual cuatro ápices de explayamiento y paleocauces correspondientes a estadios evolutivos antecedentes.

Dentro del ejido de Córdoba capital, en su situación evolutiva actual, discurre por su parte media, dentro de una faja fluvial aterrizada en tres niveles no apareados que por sectores presenta subniveles. El diseño unitario es meandriforme encajado en barrancas con niveles de tosca discontinuos, que limitan los procesos de encajamiento y migración por erosión de márgenes.

Completan el marco geomorfológico bajos plano-cóncavos sin álveo definido con cubierta eólica que son colectores del escurrimiento mantiforme y pseudo concentrado del entorno (fig.1).

A nivel hidrográfico la localidad se ve influenciada por las cuencas que pueden observarse en la figura 2.

Las inundaciones producidas en la cuenca alta del Río Suquía y

por el arroyo La Cañada, fueron mitigadas con obras estructurales, en el primer caso por el embalse San Roque (1888 y 1944) y en el segundo, por obras de profundización, encausamiento y construcción de diques laterales realizados en tres tramos durante el periodo 1944 a 1999.

Pese a ello, existen registros de daños, por lluvias de alta intensidad aguas abajo del embalse, situación que se ve agravada en caso de que este erogando los máximos caudales (2001, 2012). Asimismo, durante el evento de enero de 2012 la capacidad de conducción del arroyo La Cañada, por sectores se vio superada (fig.3).

Del resto de las cuencas mencionadas, existen registros de eventos con daños asociados, para los arroyos: El Infiernillo (2008, 2010, 2015, 2016, 2018 y 2023), Arguello (2019), Salsipuedes (2018), Cañada Molina (2001) y Río Saldán (1939, 1962, 1970, 2000, 2004, 2007, 2009, 2010, 2013 y 2015. De los cuales, en Cañada Molina y Río Saldan, ocurrieron pérdidas de vidas humanas.

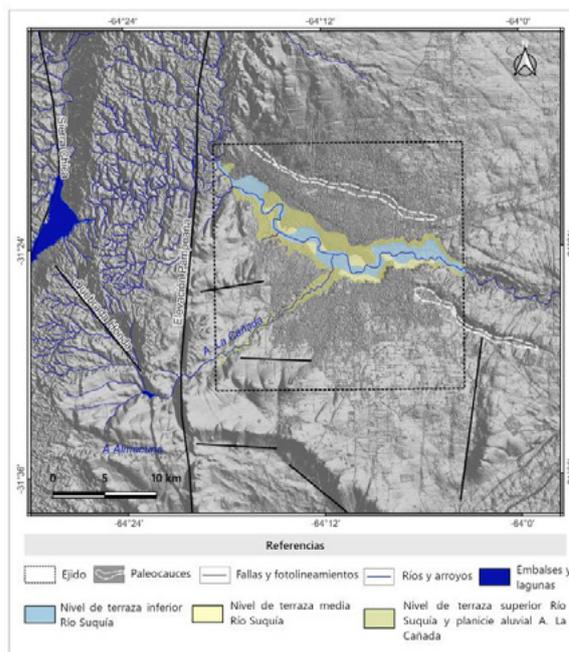


Figura 1.- Unidades hidrogeomorfológicas dentro del ejido urbano

Respecto de las inundaciones urbanas, por aportes pluviales locales y escurrimiento mantiforme del entorno, las características topográficas de bajos, cañadas y paleocauces generan torrentes urbanos en las calles coincidentes con los ejes de avenamiento.

En el año 2002, en base a un análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales, relevamiento de campo y registros de daños obtenidos de fuentes secundarias y primarias, se determinaron las unidades hidrogeomorfológicas del ejido urbano y su peligrosidad por: inundación fluvial, erosión de márgenes,

anegamiento, calles intransitables por ser colectoras de escurrimiento, y los sectores fuera de peligro (Quintana et, al 2002). La cartografía realizada fue de utilidad, pero carecía de una escala valorativa de la severidad de los daños posibles que permitiera priorizar acciones de defensa civil ante la manifestación de un evento. En base a ello, se evaluaron los procesos identificados según el criterio geomorfológico (Ayala Carcedo 1987). Barbeito 2004; Rydzewski, et al 2016), y se lo categorizó en alto y medio, en función de los eventos históricos registrados, registros de llamadas de emergencia de defensa civil y su potencialidad para generar daños en base a su dinámica hidrogeomorfológica.

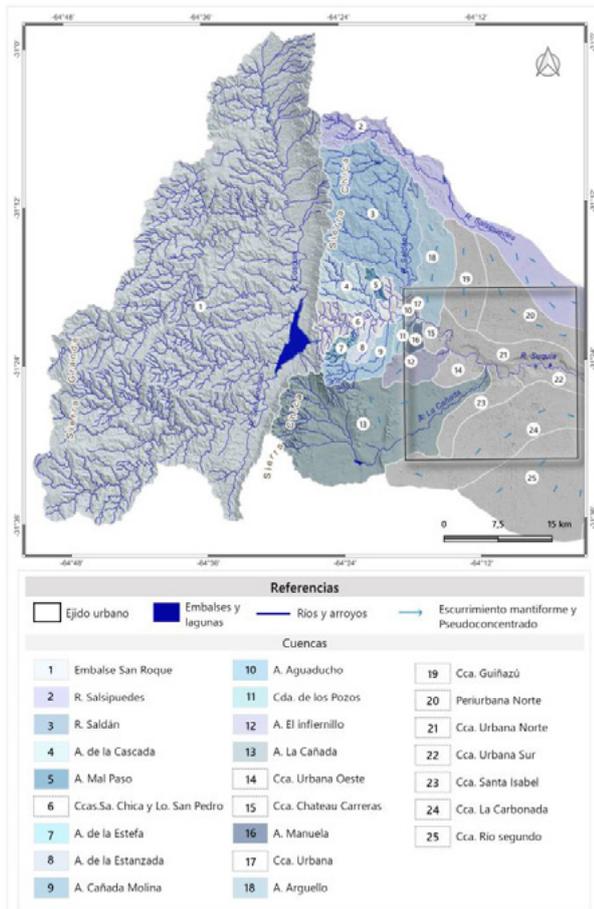


Figura 2.- Cuencas con influencia en Córdoba capital



Figura 3.- Desborde del arroyo la Cañada enero de 2012.

La cartografía temática se realizó a esc 1.10.000 a partir de un sistema de información geográfica generado con el software libre Q GIS 3.14, que a los fines de impresión fue dividido en 9 secciones para no perder el nivel de detalle.

La zona de alta peligrosidad comprende inundaciones fluviales, a nivel geomorfológico se desarrollan en el lecho ordinario y

niveles de terraza inferior de los ríos y arroyos, que se ven afectados por ola de frente de crecida, erosión en curvas externas y desbordes laterales.

La zona de peligrosidad media, comprende inundaciones urbanas, fluviales y anegamiento, en función de las geoformas implicadas y actividad hídrica registrada en el pasado se distinguen:

- Torrentes urbanos: escurrimiento concentrado en la red vial de alta velocidad y nivel superior a 20cm, en calles coincidentes con bajos topográficos de alta pendiente
- Niveles de terrazas fluviales medias: afectadas por desbordes fluviales laterales y erosión ante crecientes extraordinarias.
- Cañadas y valles de fondo plano cóncavo: ejes de avenamiento con escurrimiento concentrado y pseudo concentrado sin álveo definido, con ingreso de agua en viviendas ubicadas sobre su traza.
- Anegamiento: permanencia de agua del orden temporal de horas luego de las precipitaciones por aporte pluvial local o desborde canales de riego (fig.4).

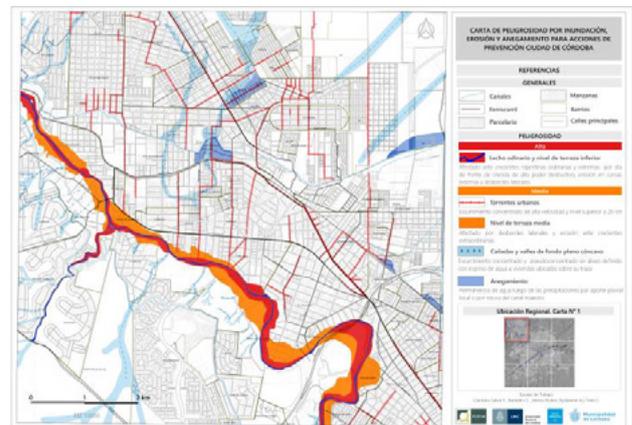


Figura 4.- Zonificación de peligrosidad Hoja 1.

Conclusiones

La cartografía realizada a diferencia de la carta de peligrosidad (2002) permite ante una situación de alerta establecer acciones prioritarias de defensa civil en función de los posibles daños previstos, tendientes a disminuir el riesgo de las personas y a reducir las pérdidas materiales ante la manifestación de un evento. Asimismo, constituye una información de base necesaria para implementar una planificación urbana acorde a la peligrosidad que presenta en territorio.

Referencias

Ayala Carcedo, F. J. (1987). "Introducción a los riesgos geológicos" Riesgos Geológicos; I.G.M.E. Madrid. Vol. 1, 3-21.

Quintana Salvat, F., Barbeito, o. y Menso, R (2002). "Carta de peligrosidad (amenaza) de inundación, erosión y anegamiento para las acciones de prevención - Ciudad de Córdoba. 1 Ed. Imprenta de la Municipalidad de Cba. I.S.B.N. N° 987-9129-15-6. Págs. 1-68.

Barbeito, O. (2004). "Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Inundaciones repentinas en Córdoba". Publicación especial n° 4. A.S.A.G.A.ISBN 987-21766-0-4. Diciembre 2004

Rydzewski, A Moya, D y Lanfranco, M. (2016). "Aplicación del Criterio Geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinas". IFRH 2016.. Ezeiza.

Martino, R. D., Guereschi, A. B., Carignano, C. A., Sfragulla, J. A., & Bonalumi, A. A. (2020). "Mapa Geológico de la Provincia de Córdoba. Escala 1: 750.000", Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Publicación N° 172, 82 pp. Buenos Aires.

INTEGRACIÓN HYDROBID FLOOD CON MODELO EPA SWMM PARA SIMULACIONES DE DRENAJE URBANO EN LA CIUDAD DE SANTA FE

Quiroga, G. ⁽¹⁾, Morell, M. ⁽²⁾, Gagliardi M. P. ⁽³⁾, Burne, A. ⁽⁴⁾ y Salvadores, R. ⁽⁵⁾

Municipalidad de la ciudad de Santa Fe, Argentina – Tel: 342-4508193
guidonp@gmail.com⁽¹⁾, morellmariana2004@gmail.com⁽²⁾, gagliardimp@gmail.com⁽³⁾, agustinburne@gmail.com⁽⁴⁾, rafasalvadores17@gmail.com⁽⁵⁾

Introducción

La ciudad de Santa Fe, ubicada en el valle aluvial de los sistemas Salado-Paraná, enfrenta importantes desafíos en cuanto a su drenaje pluvial debido a las escasas pendientes de terreno y las grandes depresiones presentes en la zona. El crecimiento urbano sobre áreas verdes y territorios vulnerables, han provocado una mayor impermeabilización del suelo que, junto a fenómenos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes e intensos, provocan un aumento en los volúmenes de escorrentía. Esto ha generado problemas de anegamientos en ciertas áreas de la ciudad, agravados por la insuficiente infraestructura de drenaje pluvial. En este resumen, se aborda la problemática de anegamientos por precipitación en la cuenca urbana denominada Salvador del Carril, cuenca localizada en el centro-este de la ciudad que descarga sus excedentes hídricos hacia la laguna Setúbal (Figura 1).

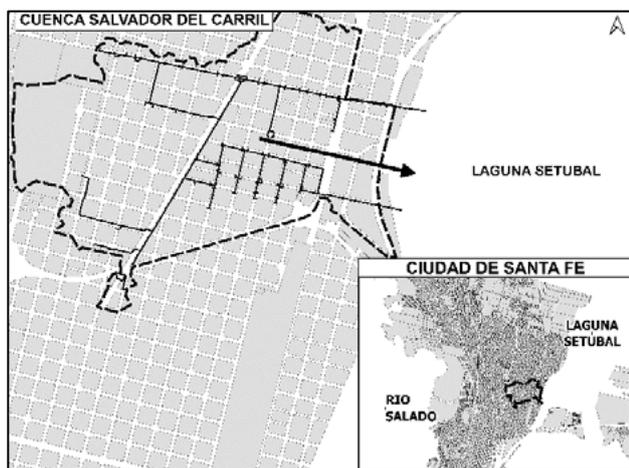


Figura 1.- Ubicación de la cuenca de estudio

La cuenca S. del Carril actualmente se encuentra altamente urbanizada, con calles asfaltadas, desagües entubados y cordón cuneta. Su área de aporte presenta una superficie de 165 has, en la cual los excedentes pluviales captados por la red existente en esta zona escurren principalmente con sentido oeste-este, desaguando los excesos hídricos hacia la Laguna Setúbal.

La red de conductos existente presenta, en su mayoría, secciones pequeñas e insuficientes para el funcionamiento hidráulico, causando anegamientos temporales en áreas puntuales de hasta 40 cm para lluvias de bajas recurrencias, generando problemáticas en el acceso a la zona y hasta inconvenientes, en algunas ocasiones, debido al ingreso de agua en domicilios.

Estas zonas fueron identificadas por las áreas operativas del municipio y catalogadas como puntos críticos, con el objetivo de tenerlos en cuenta para operaciones de limpieza y mantenimiento ante la proximidad de un evento de precipitación.

Metodología

Para abordar esta problemática la Municipalidad de Santa Fe implementó la herramienta HydroBID-Flood (Hydronia, 2022) más un modelo de drenaje urbano, la cual permite realizar

diagnósticos y análisis de la dinámica hídrica durante eventos extremos, identificando sectores críticos, ayudando de esta manera, en la toma de decisiones y ejecución de medidas estructurales y no estructurales. Herramienta ya utilizada en el estudio de otras cuencas urbanas (Cello y otros, 2022).

Este software combina el modelo hidrológico-hidráulico bidimensional distribuido RIVERFLOW2D (Hydronia, 2022) con el algoritmo de drenaje urbano EPA-SWMM (Rossman y otros, 2022) integrado en el entorno QGIS (QGIS Project, 2002), un software de código abierto de sistemas de información geográfica.

HydroBID-Flood (Hydronia, 2022) resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas promediadas en la vertical. En el modelo la disipación turbulenta y las pérdidas de energía se tienen en cuenta solamente mediante el coeficiente de rugosidad de Manning en las ecuaciones de cantidad de movimiento. Para la transformación de lluvia-caudal, la infiltración se trata como una pérdida, es por esto que proceso está gobernado principalmente por dos fuerzas: la gravedad y la acción de la capilaridad. Para el cálculo de pérdidas por infiltración, el modelo incluye los tres métodos más conocidos: Horton, Green & Ampt y el método del Número de Curva (SCS-CN).

En este estudio se evaluaron las respuestas de la dinámica hídrica para diferentes escenarios en la cuenca Salvador del Carril: a) escenario de Referencia, que representa la situación actual de la red de drenaje, y b) escenario de intervención, que incluye el diseño de nuevos colectores propuestos por el Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad (INA, 1999).

Los resultados se evaluaron para eventos de lluvias con períodos de retorno de 2 y 5 años, cuantificando los cambios espacio-temporales en el patrón de drenaje urbano.

Se determinó el dominio de cálculo en función de la delimitación de cuencas sugeridas por el INA (1999).

Se generó la malla de elementos triangulares a partir del modelo digital de terreno y de superficie, densificando en zonas donde se requiere mayor detalle.

Se mapearon los parámetros de infiltración y de rugosidad por medios de polígonos en función del uso de suelo, del grupo hidrológico, la condición de humedad antecedente y la interpretación de mapas de suelo de la región. Para la estimación de las abstracciones por infiltración se optó por utilizar el Método de Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos (Ven Te Chow y otros, 1994).

La zonificación del coeficiente de rugosidad de Manning se determinó a partir del mapa de uso de suelo y la información tabular obtenida de la bibliografía especializada (Hydronia, 2022). También se tuvo en consideración el Reglamento de Ordenamiento Urbano de la Municipalidad de Santa Fe (Municipalidad de la ciudad de Santa Fe, 2010).

Se generó el esquema topológico de la red de drenaje existente con y sin proyecto en SWMM, y se importaron al modelo HydroBID-flood según el escenario a simular.

Se fijaron las condiciones de borde para la simulación.

Los eventos de precipitación evaluados para cada escenario fueron lluvias sintéticas de distintas recurrencias ($\tau=2$ años, $\tau=5$ años) y dos horas de duración (Marcus y otros, 2019).

La validación del modelo, en esta etapa, se realizó mediante reclamos de anegamientos, relevamientos de campo y fotografías de eventos registrados. Posteriormente se llevará

adelante una calibración utilizando datos recopilados de la realización de aforos en la descarga de la cuenca.

Resultados

La modelación y análisis de los resultados para el escenario de referencia de la cuenca permitió identificar áreas afectadas por anegamientos y su impacto para una precipitación de 5 años de recurrencia, para 12 hs de modelación (Figura 2).

Estas áreas fueron coincidentes con los puntos críticos definidos por la Municipalidad.

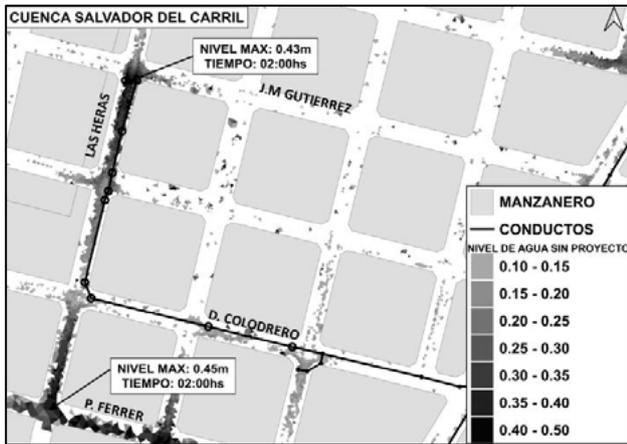


Figura 2.- Áreas anegadas para una precipitación $tr = 5$ años (escenario de referencia)

Se observaron anegamientos superficiales en la zona suroeste de la cuenca, zona cabecera, principalmente sobre calle Las Heras donde se producen acumulación de excedentes hídricos de hasta 40 cm de profundidad para $tr=2$ años, a las 2 hs aproximadamente del comienzo de la precipitación, generando imposibilidad de transitar por calles y veredas. Estos anegamientos vieron incrementadas las láminas de agua en 5 cm su profundidad para eventos de $tr = 5$ años, como así también su extensión.

La presencia de encharcamientos se asocia mayormente a la deficiente capacidad de transporte que presentan los conductos, trabajando sección llena para caudales picos.

Si bien la red de drenaje existente en la cuenca en general tiene un buen funcionamiento para los eventos estudiados, algunos sectores localizados en la cabecera de la cuenca se encuentran desbordados, no pudiendo evacuar el excedente pluvial, generando de este modo acumulación de agua en superficie durante 3 hs aproximadamente, en algunas áreas.

Se simuló entonces, para dar solución a esta problemática, la propuesta de diseño hidráulico planteada por el INA (1999) en el Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad (escenario con intervención) para las recurrencias mencionadas. Los resultados obtenidos mostraron mejoras significativas, reduciendo casi en su totalidad los encharcamientos superficiales y permitiendo un mejor funcionamiento de los conductos para los tiempos donde se producen los picos de descargas (Figura 3).

El diseño propuesto permite manejar de manera efectiva los volúmenes de escorrentía generados por eventos de lluvia con períodos de retorno de 2 y 5 años.



Figura 3.- Áreas anegadas para una precipitación $tr = 5$ años (escenario de proyecto)

Conclusiones

La modelación logró identificar las áreas más afectadas por los anegamientos, lo que resulta fundamental para la planificación de intervenciones.

Los resultados obtenidos a través de la modelación integrada han permitido detectar áreas críticas, diseñar obras hidráulicas adecuadas y evaluar la capacidad de los diseños propuestos por el Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad (INA, 1999), demostrando que la alternativa planteada aunque maneja de manera efectiva los volúmenes de escorrentía generados para los eventos de lluvia analizados, sobreestima las dimensiones de los conductos, pudiendo considerarse una reducción de las secciones proyectadas.

La implementación de la herramienta HydroBID-Flood (Hydronia, 2022) ha sido una estrategia efectiva para abordar la problemática de anegamientos por precipitación en la cuenca Salvador del Carril en la ciudad de Santa Fe. Estos hallazgos respaldan la importancia de contar con herramientas de modelación avanzadas y sistemas de drenaje pluvial eficientes para enfrentar los desafíos generados por los eventos climáticos extremos.

Referencias

- Cello, P., García, R., Nalesso, M. (2022), "Centro de soporte HydroBID. Integración de HydroBID Flood con el modelo EPA SWMM para simulaciones de drenaje urbano en la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe, Argentina". <http://dx.doi.org/10.18235/0003973>.
- Hydromia LLC (2022), "RiverFlow2D Two-Dimensional Flood and River Dynamics Model Reference Manual", <http://dx.doi.org/10.18235/0001718>.
- Instituto Nacional del Agua (1999), "Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad", Municipalidad de Santa Fe, Santa Fe, Argentina
- Marcus, R., Morresi, M., Carrillo, E., Macor, J. y Cristina, I. (2019), "Curvas de intensidad - duración - frecuencia (idf) de la estación meteorológica del cim-fich. serie 1986-2016", Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, <https://doi.org/10.35305/curiham.v25i0.118>.
- Municipalidad de Santa Fe (2010), "Reglamento de Ordenamiento Urbano de la ciudad de Santa Fe, Ordenanza N°11748", Santa Fe, Argentina.
- QgisProjec (2002), <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Rossmann, L. and Simon, M. (2022), "Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2", www.epa.gov
- Chow, V. T., Maidment, D y Mays, L. (1994), "Hidrología Aplicada", MacGraw-Hill Interamericana S.A, Santa Fe de Bogotá, Colombia (ISBN: 958-600-171-7).

REGIONALIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL ARROYO FELICIANO (ENTRE RÍOS, ARGENTINA)

Roxana Guadalupe Ramírez^{a,b}, Marcelo Germán Wilson^{c,d}, Emmanuel Adrián Gabioud^c,
Ramiro Joaquin Pighini^{c,d} y Natalia Verónica Van Opstal^c

a Facultad Regional Paraná UTN, b Facultad de Ciencia y Tecnología, UADER. Laboratorio LAPACDa, c INTA EEA Paraná, Entre Ríos, d CONICET, Argentina

roxanaguadaluperamirez@yahoo.com.ar, wilson.marcelo@inta.gob.ar, gabioduemanuel@inta.gob.ar, pighini.ramiro@inta.gob.ar, vanopstal.natalia@inta.gob.ar

Introducción

En hidrología, el concepto de regionalización se lo emplea para transferir información de las cuencas o subcuencas aforadas a las no aforadas (Álvarez Olguín et al., 2011), proporcionando datos a aquellos lugares en donde no se disponen o son escasos los instrumentos de medición que lleven un registro, que no cuenten con mantenimiento o hayan dejado de funcionar. Las metodologías utilizadas para el trabajo de regionalización comprenden las etapas de identificación de las cuencas o subcuencas que compartan características hidrológicas homogéneas y la aplicación de métodos de análisis que permitan reconocer los parámetros morfométricos y climáticos en toda la región de estudio (Ouarda et al., 2008). Si bien, el análisis morfométrico de una cuenca comprende el estudio de variables de superficie, relieve y drenaje, esto permite conocer las características físicas de la cuenca en estudio como así también, su funcionalidad hidrológica (Gaspari, 2012); los parámetros físicos de la cuenca se relacionan con los factores edáficos, como los tipos de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente y los geológicos hacen referencia a la forma, al tipo de relieve, la densidad de drenaje, entre otros. La tarea de delimitar aquellas zonas que comparten características hidrológicas idóneas es fundamental para identificar las variables que responden de manera significativa el comportamiento hidrológico y poder comprender y aprovechar al máximo la gestión integral de la cuenca en estudio, en pos del beneficio de los servicios ecosistémicos de la zona (CEPAL, 2013). El objetivo fue identificar zonas hidrológicamente homogéneas en la cuenca del Arroyo Feliciano (Entre Ríos), representativa de la región del Espinal.

Área de Estudio

La cuenca del Arroyo Feliciano cubre una superficie de 8300 km², abarca en gran parte a los departamentos La Paz, Feliciano y Federal, constituyendo uno de los tributarios del Río Paraná. Se localiza entre los 58° 20' a los 59° 36' longitud Oeste y a los 30° 15' y 31° 6' de latitud Sur.

Esta cuenca tiene un relieve de llanura suavemente ondulado, con cotas que varían entre los 78.5 m en la cabecera y 18.0 m en la desembocadura, referidas al cero del Instituto Geográfico Militar (IGM) y suelos arcillosos con predominio de arcillas esmectitas que dieron origen a numerosos interfluvios.

Registra un clima subtropical húmedo y cálido con precipitaciones medias anuales que rondan entre los 1100 y 1200 milímetros; las temperaturas máximas absolutas pueden superar los 35°C en verano y en invierno la temperatura media es de 12°C, con una amplitud térmica que oscila los 20°C. El 62,2% de la superficie total de la cuenca está cubierta por bosques nativos. La vegetación predominante son los bosques de especies xerófilas siendo la especie arbórea dominante el Ñandubay, acompañado de Algarrobo, Espinillo, Tala, entre otras especies.

Delimitación de las subcuencas

Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), que

trabaja de manera conjunta con el software QGis (QGis Org, 2018) ya que complementa la Base de Datos de Hidrología Analítica (AHD) del modelo HydroBID. Esta base de datos incluye información de precipitación, temperatura, tipos de suelos, topografía y usos del suelo. Con la integración de toda esta información se logró delimitar 77 subcuencas de aporte en los diferentes puntos de cierre, desde aguas arriba hacia aguas abajo y la determinación de los centroides para la posterior interpolación con los datos climáticos.

Cada subcuenca delimitada en la AHD posee un conjunto de atributos necesarios para el desarrollo de la modelación como el área, tipo y uso de suelos, pendiente media, temperatura, precipitación, entre otros. Acorde a la base de datos generada, se realizaron las simulaciones en la cuenca del Arroyo Feliciano, en donde se logró capturar y simular el comportamiento hidrológico de la cuenca con datos de caudales relevados de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos desde el 1° de enero del año 2001 al 30 de mayo del 2018; dando resultados de caudales preliminares a nivel medio mensual y diario con parámetros de validación aceptables.

Metodología

La metodología adoptada reside en la aplicación de técnicas de estadística multivariada, para lo cual se elaboró una matriz de datos conformada por 77 subcuencas y 22 variables que incluyen información morfológica y climática. En la Tabla 1, se detalla la matriz de valores de curva número (CN) sustentado en la cobertura de suelos descrita en el Inventario de Bosques Nativos (SNMBN, 2017) y teniendo en cuenta la clasificación del manual de sistematización de tierras (Scotta et al., 1989). Para analizar la relación de estas variables en cada una de las subcuencas se trabajó con el software libre RStudio (2020).

Tabla 1.- Valores de CN en función de la cobertura vegetal y el grupo hidrológico

COBERTURA	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Cultivos	72	81	88	91
Bosque de ñandubay tipo parque	36	60	74	80
Bosque de ñandubay + espinillo	32	59	73	79
Bosque de ñandubay + espinillo con otras especies	25	55	70	77
Bosques en galerías	25	55	70	77
Plantaciones forestales	40	64	75	80
Pastizales, palmares, arbustales	49	69	79	84

Se procedió a procesar la información, para lo cual se estandarizaron los datos de cada una de las variables involucradas, en los conjuntos de entrenamiento y validación; posteriormente se realizaron las pruebas de normalidad empleando el test de Spearman por tratarse de un modelo robusto y monótono. Posteriormente, se realizaron diferentes pruebas de validación y correlación entre las variables predictoras con respecto al Caudal (Q), Figura 1.

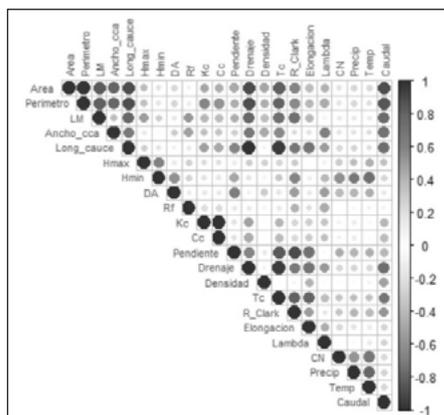


Figura 1- Matriz de correlación de las variables morfométricas y climáticas de las subcuencas en estudio

Resultados y Discusión

En la Figura 2 se observa un análisis de conglomerados en donde se visualiza la información de las subcuencas identificadas a través de puntos enumerados y las variables en estudio a través de vectores. Se pudo identificar la asociación entre las variables de estudio y las correspondientes subcuencas, en donde se logró reconocer las subcuencas que se encuentran más estrechamente vinculadas, tal como se muestra en la elipse.

Del estudio se logró detectar que existe una relación estrecha entre el Área y los valores de CN (diferentes usos del suelo) y que se ven afectados de manera directa con la precipitación. Es decir, en esta región en donde se destaca la presencia de lomadas (pendientes entre 1% y 4%), y donde el uso del suelo predominante en la región son los cultivos estivales (principalmente soja), con valores de CN muy elevados, la variable contributiva Precipitación influye enormemente en los caudales de la región; mostrando relación directa con los escurrimientos y la pérdida del suelo.

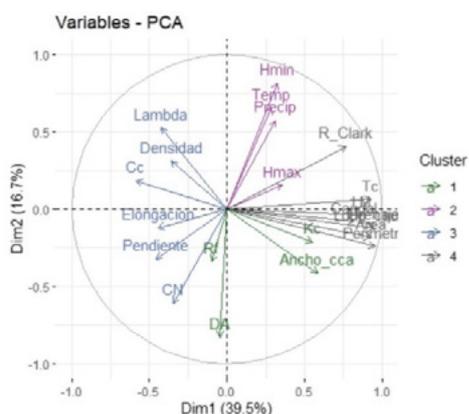


Figura 2- Análisis de conglomerados "clusters" empleando la información brindada por el PCA

La ecuación que mejor ajusta de acuerdo a un modelo de regresión lineal en donde se consideró la contribución de las variables más importantes de las dos primeras componentes principales que son el área (A), el perímetro (P), el valor de curva número (CN) y la precipitación (Prec), que mejor describen el caudal medio diario es:

$$Q = 1,69 + 1,24A + 0,20P - 1,10CN + 0,15Prec$$

De este modelo se obtiene que el error standard (RSE) indica un valor de Adjusted R-squared = 0,78 y un p-valor < 2,2e-16, lo cual señala que el modelo ajusta muy bien.

Se logró identificar en la cuenca aquellas regiones que comparten características hidrológicas homogéneas, lo cual permitirá a

futuro, replicar este modelo en cuencas y subcuencas de características similares a la de estudio, durante diferentes períodos de sequía e inundaciones y evaluar la disponibilidad de agua superficial en la región.

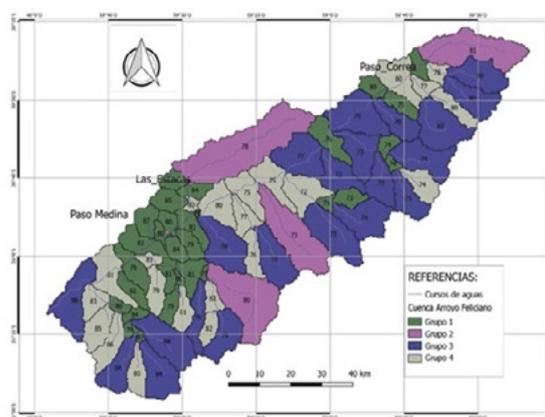


Figura 3- Regiones hidrológicamente homogéneas identificadas en la cuenca del Arroyo Feliciano

Conclusión

A partir del análisis estadístico multivariado se lograron identificar cuatro regiones que describen características hidrológicas semejantes, obteniendo un modelo matemático reducido, que contempla las variables más significativas desde el punto de vista estadístico e hidrológico, que explican el caudal medio diario estimado para las subcuencas. Ellas son: *área, pendiente, CN y precipitación*.

Es importante ampliar este estudio en futuras investigaciones, con el fin de alcanzar una regionalización hidrológica hacia las cuencas adyacentes y así cuantificar la disponibilidad de los diferentes recursos ecosistémicos de la región. Además, se pretende incluir una red de monitoreo de variables hidrológicas que permita disponer de datos de cantidad y calidad del agua, para plantear estrategias adecuadas de uso y manejo de suelos, para un mejor aprovechamiento de la gestión integral de la cuenca.

Referencias

- Álvarez Olguín, G.; Hotait Salas, N.; Sustaita Rivera, F., (2011). *Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado*. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12 (3), 277-284.
- Cement, Concrete and Aggregates, 4(1), 33-36.
- CEPAL (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). Primera Edición. Propiedad Intelectual N° 229.978. ISBN: 978-956-8468-42-2.
- Gaspari, F.J. (2012). *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. VII Congreso de Medio Ambiente AUMG, La Plata, Argentina.
- Ouarda T.B.M.J., Bâ K.M., Diaz-Delgado C., Cârsteanu A., Chokmani K., Gringras H., Quentin E., Trujillo E., y Bobée B. (2008). *Intercomparison of Regional Flood Frequency Estimation Methods at Ungauged Sitios for a Mexican Case Study*. *Journal of Hydrology*, 348, 40-58. ISSN: 0022-1694.
- QGIS Org. (2018). *User Guide/Manual* (QGIS Testing).
- RStudio Software (2020). *Version 4.0.3*.
- SNMBN (Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques Nativos) (2017). *Pérdida de Bosque Nativo*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina.
- Scotta E.S., Nani L.A., Conde A.A., Rojas A.C., Castañeira H. y Aparotti O.F. (1989). *Manual de sistematización de Tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes (2da edición corregida y aumentada)*. INTA EEA Paraná. Serie Didáctica N° 17. 56 p.

APROVECHAMIENTO HÍDRICOS - DEPARTAMENTO TINOGASTA. PROVINCIA DE CATAMARCA

Reyna, Teresa, Reyna, Santiago, Fulginiti, Fabián, Lábaque María, Riha, César, Basbus, María José

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

E-mail: teresa.reyna@unc.edu.ar, santiago.reyna@gmail.com, fabianfulginiti@unc.edu.ar, mlabaque@gmail.com.

Introducción

El agua está en el centro del desarrollo sostenible. En Argentina, la situación de escasez de agua en vastas regiones ha limitado e impedido sus desarrollos. Una de estas regiones es el departamento de Tinogasta, en la Provincia de Catamarca.

Durante la mayor parte del siglo XX la base de la economía del departamento fue la agricultura, y en especial la vitivinicultura, y desde comienzo del siglo XXI ha comenzado a tomar importancia el turismo. En la zona se siguen observando actividades como el cultivo de vides bajo riego; pero la falta de agua dulce disponible ha generado una situación de estancamiento de las actividades agrícolas.

En este trabajo se presenta el estudio de caudales con el objetivo de definir un posible aprovechamiento hídrico en las inmediaciones de la Colonia Punta del Agua, próxima a la localidad de Fiambalá, departamento Tinogasta, provincia de Catamarca con el fin de proveer recurso para el crecimiento de las áreas de cultivo bajo riego y propiciar su desarrollo.

Cuenca en Estudio

El Río Fiambalá nace de la unión del Aguas Negras con el río Las Papas en el paraje denominado Aguas Negras, recibiendo luego el aporte de los ríos Chuquisaca, La Ciénaga y Antinaco por su margen derecha, y recibiendo por su izquierda el aporte de los ríos; Mogotes a la altura de Punta del Agua. Más al sur, a la altura de Palo Blanco recibe las aguas del Colorado y La Cañada. Recibe luego los aportes del río Grande y Agua del Médano por margen derecha y Saujilo por margen izquierda antes de su confluencia con el Río Guanchin o Chascuil más al sur en la localidad de Fiambalá

Sobre la cuenca se cuenta con algunos aforos realizados en el Río Mogotes y Aguas Negras entre los años 2003 – 2022 con registros de caudales mínimos de 0,36 m³/s y máximos de 2,25 m³/s los cuales se utilizaron para contrastar.

El punto elegido para la obra de toma se encuentra ubicado en las inmediaciones de la Colonia Punta del Agua y sobre el río Aguas Negras (Figura 1).



Figura 1.- Ubicación de obra de toma y cuenca en estudio

Requerimiento de Agua para Riego

Punta del Agua está enclavada a 2000 msnm. El desarrollo agrícola se basa primordialmente en el cultivo de olivo y vid cuyo riego se realiza con aguas provenientes de cauces próximos. Por lo tanto, la disponibilidad de caudales para riego proviene del comportamiento de las respectivas cuencas.

Para poder plantear el diseño de las obras de captación se determinó la demanda.

Para la determinación de la demanda de agua se utilizó la metodología propuesta por la FAO para el cálculo de la demanda de riego de los cultivos, empleando el programa CropWat, que realiza el balance hídrico de cada uno de los componentes que intervienen en el proceso, a partir de información climática, de los cultivos a implantar, del suelo disponible y la eficiencia de aplicación esperada. En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos de los requerimientos de agua del cultivo de la vid para una plantación en Punta del Agua y la programación de agua de riego.

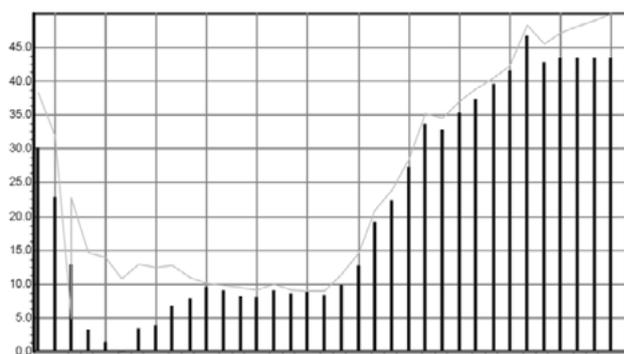


Figura 2.- Requerimiento de agua para riego de vid en mm cada 10 días (barras) y el ETC mm cada 10 días (línea continua).

Determinación del Caudal de Diseño de Obra de Toma

Como se indicó la cuenca no posee suficientes aforos que permitan determinar un caudal disponible por lo cual se recurrió, a dos métodos indirectos que, de forma conservadora, permitan definir los valores propuestos.

El primero de los métodos elegidos se apoyó en estudios elaborados por el Ingeniero Adolfo Factor en 1982 para el Consejo Federal de Inversiones (CFI). El informe analiza la cuenca del Bolsón de Fiambalá, de la cual, la cuenca en estudio forma parte. El informe de Factor indica que uno de los ríos de aporte del Bolsón más importante es el río Aguas Negra. Este río posee una cuenca de aproximadamente 800 Km², un módulo de 1 m³/s medido en la Estación Aguas Negras, ubicado en latitud 27°2' y Longitud 67° 47' según registros del período 1976-1981 (Factor, 1982).

La cuenca de este estudio en el punto de toma propuesto tiene un área de 1292.5 Km² (mucho mayor a los 800 Km² de la cuenca de Aguas Negras) y se encuentra aproximadamente 15 Km aguas abajo de la estación Aguas Negras (ver Figura 3); lo

que permite concluir que el caudal en el punto de toma propuesto sería superior a $1 \text{ m}^3/\text{s}$; este valor puede entonces ser considerado valor base a considerar como aporte del río.



Figura 3.- ubicación de la estación Agua Negras en relación con el punto de toma en estudio y de la cuenca asociada.

La otra metodología aplicada fue por transposición de valores de cuencas similares. Consistió primero en la búsqueda de otra cuenca dentro de las subcuencas del Bolsón de Fiambalá, con aforos adecuados.

La Cuenca elegida fue la cuenca del Río Guanchin de 5.500 km^2 , vecina a la cuenca de estudio (ver Figura 4), que cuenta con una obra de toma que suministra agua a la localidad de Fiambalá; la misma no ha presentado problemas de suministro desde su construcción, lo que garantiza la regularidad del aporte.

De acuerdo con el informe de Factor (1982) antes mencionado, el río Guanchín muestra un régimen de relativa estabilidad; con variaciones estacionales del orden del 30% de su valor medio. Según campañas de aforo realizadas en ese estudio, se obtuvieron “valores mínimos del orden de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximos de aproximadamente $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ”.

De forma conservadora es posible realizar un cálculo del caudal mediante transposición proporcional por áreas de estas cuencas; y considerando un valor medio para Guanchin de $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$; el valor obtenido para la cuenca en estudio es de $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si se analizan las diferencias en las condiciones superficiales entre ambas cuencas, las geomorfologías de ambas zonas presentan diferencias: la Cuenca en estudio muestra un valor de pendiente media del cauce y laderas mayor que Guanchin; también cauces más encajonados y valores de CN también mayores. Además, se tendría que considerar que el caudal que escurre por el subálveo es más aprovechable dentro de los encajonados valles de las cuencas alta (Cuenca en estudio), pero se dispersan a medida que escurren hacia los sectores bajos, pasando a integrar acuíferos profundos (Cuenca Guanchin).

Todo lo mencionado anteriormente implica que habrá mayor capacidad de generación específica para la cuenca en estudio.

Si se analizan las características meteorológicas de ambas cuencas, según informe del INA (2010); la cuenca del río Aguas Negras está atravesada por la isohieta de 100 mm al año mientras que la cuenca del Río Guanchín es atravesada en su mayor parte por la isohieta 50 mm al año (Figura 4). Esto implica también una mayor capacidad de generación específica de la cuenca en estudio.

En primer análisis permite determinar como un valor conservador el de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal medio para poder definir

los caudales de extracción de la obra. A fin de asegurar la sustentabilidad del río y que este pueda seguir cubriendo sus servicios ambientales, se recomienda debido a la escasez hídrica general de la zona considerar que es necesario mantener un caudal ecológico de alrededor un 20% del módulo.

Por otra parte, y considerando que no se tienen registros actualizados y teniendo en cuenta que los escenarios de cambio climático para esta zona indican la reducción de precipitaciones se consideró que sería adecuado plantear obras cuyo caudal de extracción no fuera superior a los $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que se adoptó para el diseño de las obras. Las obras planteadas son captaciones superficiales y de subálveo.



Figura 4.- Cuencas a Guaschín y al punto de obra de toma propuesta.

El mismo valor se obtiene con el segundo análisis que, conservadoramente puede considerar que en el periodo de diciembre a marzo se puede contar con el valor obtenido por transposición ($0,34 \text{ m}^3/\text{s}$) más el aporte del agua del subálveo en la misma cantidad; lo que fija un caudal de obra de toma de $0,60 \text{ m}^3/\text{s}$. Debe tenerse en cuenta que las actividades de riego no se realizan en esta zona, en los meses de invierno debido a las condiciones climáticas y el tipo de cultivo (en la vid se riega sólo para considerar humedad en el suelo) por lo cual durante ese período las extracciones son sustancialmente menores.

Conclusiones

La determinación de caudales disponibles en los cauces de muchos puntos del país se enfrenta continuamente a la escasez de datos registrados que permitan definir del lado de la seguridad, valores de diseño.

En este trabajo se desarrolló un estudio para la determinación de caudales disponibles para riego utilizando los escasos datos de la cuenca específica, y transposición. El uso conjunto de distintas metodologías y datos próximos permite adoptar valores aceptables para el desarrollo de proyectos de riego en la zona de interés.

Referencias

Factor Adolfo (1982). *Estudio de Alternativas para Anteproyecto de Remodelación de Red de Riego. Área de Fiambalá.* Informe para el Consejo Federal de Inversiones (CFI) como información de base en recopilaciones del INA (Instituto Nacional del Agua).

INA - Centro Regional Andino (2010). *Relevamiento De La Disponibilidad De Recursos Hídricos Superficiales De Cuenca Salar De Pipanaco Cuenca Abaucán-Colorado-Salado Y Cuencas Faldeo Oriental Del Ancasti.* Informe Técnico N° 129. Convenio INA – Gobierno De La Provincia De Catamarca.

CORRELACIÓN ENTRE NÚCLEOS CONVECTIVOS DE TORMENTAS SEVERAS Y EVENTOS DE LLUVIA Y GRANIZO

Andrea F. Rico (3), Anthony Crespo Bernal Ayala (4), Ricardo Ingaramo(1,5), Raúl A. Comes (1, 2), Andrés Rodríguez (1, 5) y Lucía E. Arena (1, 2)

1-Observatorio Hidro-Meteorológico de Córdoba

2-Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

3-Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semiárida, Argentina.

4- Departamento de Ciencias Atmosféricas y Oceánica, Universidad de Wisconsin - Madison, Estados Unidos

5- Laboratorio de Hidrometeorología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

E-mail: lucia.arena@unc.edu.ar

Resumen

Los modelos predictivos de tormentas severas requieren de correlaciones entre los datos meteorológicos obtenidos por diferentes fuentes (instrumentos de información remota como radar, satélite, estaciones meteorológicas de superficie) y los registros en campo de los hidrometeoros lluvia y granizo. En el presente trabajo se estudian dos tormentas severas desarrolladas en la provincia de Córdoba en Argentina, una supercelda aislada y una multicelular, para las que se aplica un protocolo de determinación de la correspondencia entre centros convectivos de nubes, determinados a partir de la temperatura mínima de brillo del satélite GOES 16, y los datos de campo, obtenidos por la red de estaciones hidrometeorológicas administrada por el INA-CIRSA y el programa de ciencia abierta y ciudadana, COSECHEROS DE GRANIZO. Los resultados obtenidos son prometedores para aportar información a las predicciones de muy corto plazo sobre la ocurrencia de tormentas graniceras y de eventos hidrometeorológicos extremos.

Introducción

La provincia de Córdoba en Argentina es un claro ejemplo de región de tormentas severas, con lluvias intensas, inundaciones repentinas, granizo, fuertes vientos e importantes descargas eléctricas (a modo de ejemplo, ver: Bernal Ayala et al 2022, Lighezzolo et al, 2021, Arena 2019a y 2020)

Con el fin de favorecer el desarrollo de los programas de pronóstico y de alerta temprana, es importante correlacionar los datos meteorológicos obtenidos por diferentes fuentes: instrumentos de información remota como radar (RMA1), satélite (GOES-16), estaciones hidrometeorológicas de superficie (del INA-CIRSA), y registros de hidrometeoros (lluvia y granizo) aportados por los ciudadanos/as, en programas de ciencia abierta y ciudadana como MATTEO o COSECHEROS (Arena y Crespo, 2019, Silva et al, 2021). En estos últimos, voluntarios/as colaboran con el trabajo científico a través del mantenimiento del instrumental, el registro de datos o la recolección de muestras. Los datos de hidrometeoros detectados en campo se correlacionan con la reflectividad máxima de radar RMA1 a 1.5° de altura y los núcleos convectivos o centros temperatura mínima de brillo de satélite GOES-16 en el canal 11 “8.4 μm ” (Bernal Ayala et al, 2022). Los centros se determinan siguiendo el procedimiento desarrollado por Bernal Ayala et al 2022 y se corrigen por paralaje de acuerdo con el protocolo discutido por Bernal Ayala et al (2023). Se ha comprobado que hay una correspondencia directa entre las georeferencias de los núcleos convectivos de las nubes y de los granizos (Borquez et al, 2020, Bernal Ayala et al, 2022, Arena et al 2022). En particular, los autores de este trabajo corroboran esta afirmación al mapear témporo-espacialmente la trayectoria de la tormenta severa ocurrida el 8 de febrero de 2018, que abarcó más del 50% de la superficie de la provincia de Córdoba (Arena et al, 2022). También mostraron una correlación importante entre los datos de máxima reflectividad radar y los núcleos convectivos de satélite, lo que permite elegir las imágenes satelitales para procesar los núcleos de la tormenta asociados a los hidrometeoros, por su facilidad de adquisición y procesamiento.

Resultados y discusión

Supercelda aislada. Tormenta del 8 de Febrero de 2018: la celda norte es una supercelda aislada que produjo granizos en la región de villa Carlos Paz con un récord sudamericano, como el coloso Victoria, de 18cm de largo (Arena 2019b, Arena y Crespo 2019, Kumjian et al 2020, Crespo 2020, y Bernal Ayala et al 2022). En la figura 1, se muestra una imagen de radar para el horario de la primera granizada en la que se han marcado los centros de temperatura brillo mínima de satélite sin corrección de paralaje y con corrección, indicando los lugares en que granizó. Puede observarse el eco en gancho, típico de estas tormentas y una distancia máxima de 15 km entre la zona de máxima reflectividad de radar y los centros convectivos. En la tabla 1 se presentan las distancias desde la granizada a los diferentes centros indicados en la figura. Claramente, el centro convectivo corregido por paralaje (CCC) obtenido a partir del satélite está sólo a 6 km de los centros de reflectividad máxima (RM) y de la corriente ascendente principal (CAP) que son los indicadores típicos de precipitación intensa.

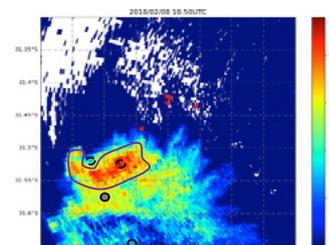


Figura 1.- Imagen de radar del RMA1 con un ángulo de elevación de 1.5° de altura. Las estrellas indican granizada registrada. Los círculos de rayas máxima reflectividad y corriente ascendente principal y círculos de línea completa los centros convectivos: vacío sin corrección y lleno corregido por paralaje. La granizada ubicada al sudoeste es registrada a la hora de esta imagen.

Tabla 1.- distancias de la primera granizada registrada. CCC y CCS: centro convectivo sin y con corrección por paralaje, respectivamente; RM: reflectividad máxima de radar, CAP: corriente ascendente principal.

Granizada (18:50 UTC)	Distancia en [km] desde la granizada a			
Coordenadas	CCS	CCC	RM	CAP
(-31,470844, -64,54138)	20	12	6	9

Para la misma celda norte, en la figura 2, se muestran los centros convectivos corregidos por paralaje y los datos de lluvia y granizo. La lluvia fue determinada con acumulación en intervalos de 15 min (intervalo del GOES-16 en 2018) y la coordenada de la lluvia se asignó al tiempo medio del intervalo en que se registró precipitación. Como se determinó con anterioridad (Arena et al 2022), la granizada precede a la lluvia. A partir de estos datos se determinaron las distancias entre los parámetros precipitación (lluvia y granizo) y los centros convectivos y se graficaron en función del tiempo (figura 3). Puede observarse que para ambos eventos de precipitación, una

estimación a partir de los centros convectivos corregidos da una incertidumbre menor a los 15 km. Por otro lado, si se considera la trayectoria de los CCC y los puntos medios de lluvia y se comparan con los datos de radar se observa la trayectoria suroeste-noreste y de giro de la masa precipitable de sur al este tal como puede observarse en la figura 4.

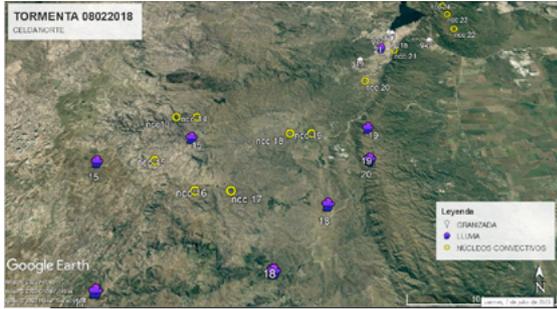


Figura 2.- Se presentan los centros convectivos corregidos (ncc) y los datos de lluvia y granizo (g). Los números indican de la hora del evento.

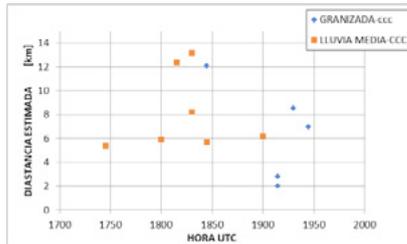


Figura 3.- Gráfico de distancia estimada entre los centros convectivos corregidos por paralaje (CCC) y la precipitación de hidrometeoros en función del tiempo

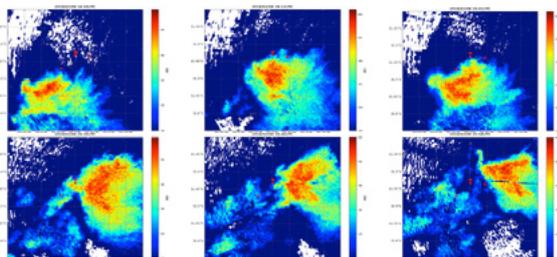
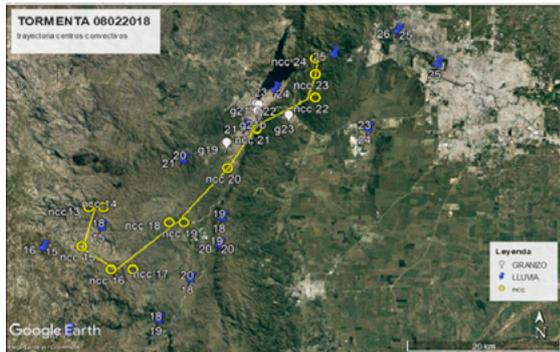


Figura 4.- superior: Trayectoria de los centros convectivos; **Abajo:** Imágenes de radar para los horarios correlativos correspondientes a los números 19-23 (Los puntos rojos indican granizada)

Multicelular de mesoescala. Tormenta del 13 de diciembre de 2018. Para esta tormenta, ampliamente estudiada (Bernal Ayala et al, 2022) se seleccionó el centro convectivo (CCC) asociado al evento de granizada registrada en Villa del Dique con un granizo gigante de 8 cm. Las distancias registradas entre el CCC y los eventos de granizo y lluvia, resultan de 20 y 88 km respectivamente. Como es de esperar en una tormenta multicelular, la selección del CCC es muy dificultosa. Estos tienen tiempos de vida variable y resulta poco confiable la identificación del CCC asociado al evento de precipitación.

Conclusiones

La metodología utilizada para correlacionar eventos de precipitación (lluvia y granizo) en tormentas severas resulta altamente adecuada en el caso de tormentas superceldas aisladas. Por lo que es una herramienta que puede ser considerada para la determinación de alertas a corto plazo y permitir la implementación de acciones tendientes a mitigar sus efectos. En el caso de tormentas multicelulares se deben continuar los estudios que requieren aportes gubernamentales y de la comunidad para recuperar información fidedigna de los hidrometeoros lluvia y granizo.

Referencias

Arena L.E. (2019a) Granizos gigantes en la provincia de Córdoba, Argentina. Estudio de dos casos: 1988 y 2018 Congreso internacional de Cambio Climático ISEA- 27 y 28 de junio de 2019 - Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina (consultado en julio 2023 en https://eidipa.congresos.unc.edu.ar/wp-content/blogs.dir/45/files/sites/45/2021/04/Trabajo-25-CCC_arena.pdf)

Arena L.E. (2019b) Two Hailstorms of the Province of Córdoba. RELAMPAGO-CACTI Data Analysis Workshop, Buenos Aires, November 19-22, 2019, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires- Argentina (consultado en agosto 2022 en https://docs.google.com/document/d/1BkbiOekLrvzKNQRanq_MsJgpwtq9MFOUUrNAmgbRA/edit)

Arena L.E. (2020) Granizos Gigantes de Córdoba-Argentina I. El Coloso Victoria (<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/15963>)

Arena L.E. y Crespo A (2019) Recopilación de Estudios Primarios de Caracterización Cristalográfica de Granizos y de las Tormentas que los originan (consultado en agosto 2020 de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/14055>)

Arena L.E., R. A. Comes, A. F. Rico, A. Bernal Ayala, R. Ingaramo y A. Rodríguez, 2022, Mapeo de hidrometeoros -lluvia y granizo- y núcleos convectivos de una tormenta severa de Córdoba, Argentina, XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz Iguazú, Brasil. <https://www.xxx-congreso-latinoamericano-de-hidraulica.com/anais/>

Bernal Ayala A.C; J.J. Gerth, T.J. Schmit, S.S. Lindstrom, and J.P. Nelson, 2023: Parallax shift in GOES ABI data. J. Operational Meteor., 11(2), 14-23, doi:<https://doi.org/10.15191/nwajom.2023.1102>.

Bernal Ayala, A.C.; Rowe, A.K.; Arena, L.E.; Desai, A.R. 2022 Evaluation of Satellite-Derived Signatures for Three Verified Hailstorms in Central Argentina. Meteorology 2022, 1, 183-210. <https://doi.org/10.3390/meteorology1020013>.

Borque, P.; Vidal, L.; Rugna, M.; Lang, T.J.; Nicora, M.G.; Nesbitt, S.W., 2020, Distinctive Signals in 1-Min Observations of Overshooting Tops and Lightning Activity in a Severe Supercell Thunderstorm. J. Geophys. Res. Atmospheres 2020, 125,e2020JD032856, doi:10.1029/2020JD032856.

Crespo (2020) Characterization of two hailstorms in Argentina, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE (AOS) at the UNIV. WISCONSIN-MADISON

Kumjian, M.R.; Gutierrez, R.; Soderholm, J.S.; Nesbitt, S.W.; Maldonado, P.; Luna, L.M.; Marquis, J.; Bowley, K.A.; Imaz, M.A.; Salio, P., 2020. Gargantuan Hail in Argentina. Bull. Am. Meteorol. Soc., 101, E1241-E1258.

Lighezzolo A., Alejandro Ismael Silva, Tomás G. Osiecki, Diego Hernán Pons, Lucía Elizabeth Arena, 2021. Producto de actividad eléctrica derivada del sensor GLM del satélite GOES-16 para apoyar el monitoreo de granizadas. 106o Reunión asociación Física Argentina (extraído de http://rafa.fisica.org.ar/wp-content/uploads/2021/12/libro-de-resumenes-106rafa_final.pdf, en agosto 2022)

Silva Alejandro Ismael, Tomás G. Osiecki, Andrés Lighezzolo, Diego H. Pons, Lucía Elizabeth Arena, 2021 Plataforma COSECHEROS para el registro y estudio de eventos meteorológicos extremos. 106o Reunión asociación Física Argentina (extraído de http://rafa.fisica.org.ar/wp-content/uploads/2021/12/libro-de-resumenes-106rafa_final.pdf, en agosto 2022)

Agradecimiento

A SECYT-UNC, MINCYT-Córdoba y el OHM Córdoba por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo y a la Universidad de Wisconsin por los siguientes proyectos (grant no. AGS-1640452, AGS-1661768 and AGS-2146708).

SEQUÍA HIDROLÓGICA RECIENTE EN LA CUENCA DEL PLATA: ¿UN VISTAZO AL FUTURO?

Juan Antonio Rivera¹ y Malaëka Robo²

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Argentina
Ecole Nationale de la Météorologie (ENM), Francia
jrivera@mendoza-conicet.gob.ar

Introducción

Algunos de los principales ríos de la Cuenca del Plata, la tercera cuenca más grande del mundo, han registrado un período de bajante con niveles récord entre los años 2020 y 2022. Esta sequía hidrológica se originó como consecuencia de una sequía meteorológica severa sobre las cabeceras de los ríos Paraná y Paraguay, en el sur de Brasil, pero también sobre gran parte del centro de Argentina y Uruguay, en respuesta a un inusual período multianual del fenómeno de La Niña (Naumann et al. 2023). La sequía hidrológica causó complicaciones para la navegación comercial, interrupciones en el suministro de agua a los centros urbanos, afectación de las actividades pesqueras e impacto en los entornos costeros y la biodiversidad, entre otros. El objetivo de esta investigación es: 1) caracterizar este período de sequía hidrológica utilizando un conjunto de índices basados en los caudales diarios, mensuales y anuales, y en niveles de agua de los principales ríos de la Cuenca del Plata en un contexto histórico, considerando registros centenarios; 2) evaluar las proyecciones futuras de caudales a partir de un conjunto de modelos hidrológicos globales (MHG) para cuantificar si las condiciones de sequía de los últimos años podrían aumentar en frecuencia o intensidad a lo largo del siglo XXI.

Datos y Metodologías

Se utilizaron registros históricos de caudales diarios y mensuales y alturas diarias en estaciones de aforo distribuidas sobre el río Paraná y algunos de sus tributarios y sobre el río Uruguay (Figura 1), obtenidos a través los sistemas de información hidrológica de Argentina y Brasil. Se consideró un período común de 111 años, que comprende los años hidrológicos 1909/10 a 2020/21. En los casos en los que las series temporales tuvieran datos faltantes, se generaron valores sintéticos mediante el método de regresión lineal utilizando registros de estaciones cercanas, únicamente para los casos en los que el coeficiente de determinación entre ambas series supere el valor $r^2 = 0,6$.

Para la caracterización de eventos de sequía hidrológica, se utilizaron dos métodos comúnmente utilizados en la literatura científica (Van Loon, 2015): el método de caudal umbral diario variable, el cual considera los percentiles de excedencia Q70, Q80 y Q90; y el índice de caudal estandarizado en escala de 3 meses (ICE3), el cual caracteriza el déficit de caudal en términos de desviaciones estándar con respecto a la media a largo plazo en un determinado aforo. A partir del método de caudal umbral diario variable se obtuvieron métricas como la cantidad anual de días con caudales bajos ($Q < Q_{umbral}$) y el déficit ($Q - Q_{umbral}$) acumulado a nivel anual (ver Rivera et al. 2021 para más detalles). Adicionalmente, se utilizaron los registros de nivel de agua a escala diaria para realizar una comparación de diferentes indicadores del estado hidrológico en diversas escalas temporales.

Las simulaciones históricas y futuras de los caudales se obtuvieron a partir de los modelos hidrológicos del Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project versión 2b (ISIMIP2b), que comprende 10 MHG forzados por cuatro

modelos de circulación general (MCG) para el período 1950-2099. Se seleccionaron dos vías de concentración representativas (RCP2.6 y RCP6.0) para evaluar los cambios futuros en los caudales en la Cuenca del Plata. Estas simulaciones fueron validadas en un período de referencia considerado histórico (1976-2005) a partir del uso de métricas como el coeficiente de correlación, la eficiencia volumétrica, el sesgo porcentual, entre otras.

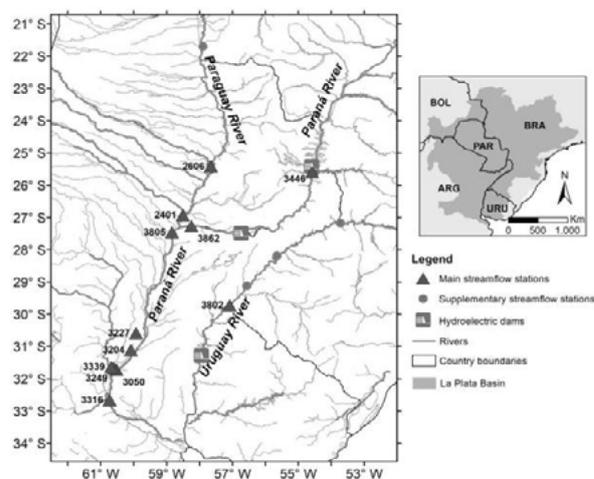


Figura 1.- Región de estudio, con la ubicación de los principales ríos, las estaciones de aforo analizadas (triángulos), las estaciones utilizadas para el relleno de datos faltantes (círculos) y las represas (cuadrados).

Resultados

A modo de ejemplo, la Figura 2 muestra las series temporales de los indicadores hidrológicos seleccionados para aforos representativos de la porción inferior del Río Paraná. Se destaca que, en términos de severidad, el período de sequía hidrológica reciente no tiene precedente en los últimos 50 años aproximadamente, alcanzando niveles de agua cercanos a 0 metros entre los años 2020 y 2022 (Figura 2a), correspondientes a condiciones de sequía hidrológica extrema ($ICE3 \leq -2,0$, Figura 2b). Esto se evidencia en los aforos Timbúes y Túnel Subfluvial, y en ríos cuya variabilidad depende fuertemente de las fluctuaciones del río Paraná, como los ríos San Javier, Colastiné y el Sistema Setúbal. En el caso del Río Colastiné, la cantidad anual de días con caudales bajos según los umbrales Q90 y Q70 no tiene precedentes desde 1910, mientras que para el umbral Q80 hay que remitirse al período 1917-1918.

De acuerdo a los registros del Río Paraguay, se observaron condiciones de sequía hidrológica extrema entre los años 2019 a 2021. En el caso del aforo del río Paraná ubicado en la localidad de Itatí, el nivel de severidad de la sequía hidrológica no tiene precedentes en los últimos 70 años aproximadamente. En cuanto al déficit acumulado registrado en los años hidrológicos 2019/20-2020/21, basado en el umbral Q70, esta medida es equivalente a 107 días sin caudal en el río Paraná, lo cual representa un volumen deficitario de aproximadamente 5 embalses Itaipú. De acuerdo al análisis de los caudales y alturas del río Uruguay, si bien se observaron condiciones de sequía

hidrológica severa hacia fines de 2020, no se trató de un evento extraordinario en el contexto histórico en términos de severidad y duración.

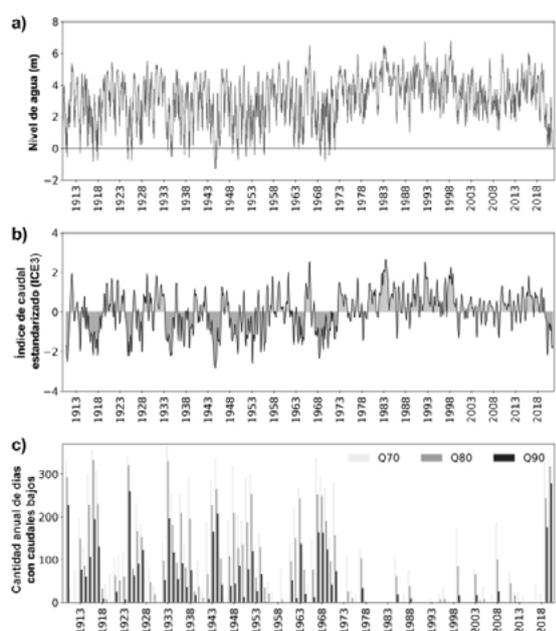


Figura 2.- (a) Evolución temporal de las observaciones diarias de nivel de agua en el Río Paraná, aforo Timbúes (3316); (b) ICE3 de la serie de caudales mensuales del Río Paraná, aforo Túnel Subfluvial (3050); (c) cantidad anual de días con caudales bajos para los umbrales Q70, Q80 y Q90 en el Río Colastiné, afluente Ruta Nacional 168. Período 1910-2020.

Tabla 1.- Cambio proyectado en el caudal medio anual en los ríos y estaciones de aforo seleccionados para los periodos 2021-2050 y 2070-2099 respecto al periodo base 1976-2005, de acuerdo a los escenarios RCP2.6 y RCP6.0, en base a los mejores dos MHG para cada río y aforo y su respectivo ensamble de MCG.

Modelo	RCP2.6		RCP6.0	
	2021-2050	2070-2099	2021-2050	2070-2099
Río Paraguay (Puerto Pilcomayo - 2606)				
ORCHIDEE	-11,11%	-21,03%	-8,44%	-10,66%
WaterGAP2	-15,29%	-23,74%	-13,83%	-18,86%
Río Paraná (Itatí - 3862)				
JULES	3,73%	2,64%	3,86%	9,58%
WaterGAP2	0,98%	-0,43%	-1,68%	1,42%
Río Paraná (Corrientes - 3805)				
JULES	-2,23%	0,19%	2,44%	7,22%
WaterGAP2	-2,30%	-5,65%	-4,48%	-3,45%
Río Paraná (Túnel Subfluvial - 3050)				
JULES	2,25%	0,07%	2,29%	7,01%
WaterGAP2	-1,82%	-5,64%	-2,19%	-3,38%
Río Uruguay (Paso de los Libres - 3802)				
H08	11,05%	8,87%	10,11%	10,32%
WaterGAP2	9,89%	8,23%	8,73%	9,39%

Para el análisis de las proyecciones futuras de caudal se seleccionaron los dos mejores MHG para los ríos Paraná (WaterGAP2 y JULES), Paraguay (WaterGAP2 y ORCHIDEE) y Uruguay (WaterGAP2 y H08), los cuales fueron los que mejores resultados presentaron en el proceso de validación. Luego, se evaluaron las proyecciones futuras de caudales

considerando los 4 MCG y los dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero para el periodo 2006-2099. La Tabla 1 muestra los cambios proyectados en el caudal medio anual para los periodos 2021-2050 y 2070-2099 relativos al periodo de referencia 1976-2005. Los mayores déficits se proyectan para el Río Paraguay, los cuales podrían superar un 20% según el escenario RCP2.6 en el futuro lejano. Esto se ilustra además en la Figura 3, donde se observa la disminución proyectada en el caudal medio anual del Río Paraguay según el modelo WaterGAP2 a lo largo del siglo XXI. Este modelo proyecta cambios mayormente negativos para los distintos aforos del Río Paraná, aunque no superarían el -6%. Lo contrario se observa para el modelo hidrológico JULES, que proyecta incrementos que podrían superar el 7% hacia fin de siglo de acuerdo al escenario RCP6.0. Los mayores incrementos en el caudal anual se proyectan sobre el Río Uruguay, los cuales serían de entre 8 y 12%. Cabe destacar que existen simulaciones hidrológicas que proyectan para la segunda mitad del siglo XXI valores de caudales similares a los de la sequía hidrológica reciente sobre la región. No obstante, la incertidumbre es grande y depende fuertemente de los MCG y MHG seleccionados.

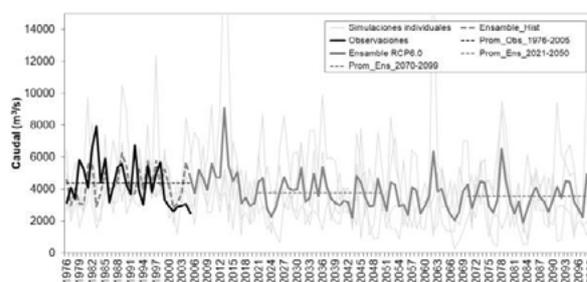


Figura 3.- Evolución temporal de las observaciones y las simulaciones de caudal del modelo hidrológico WaterGAP2 en el periodo histórico (1976-2005) y futuro (2006-2099), forzadas bajo el escenario RCP6.0 en el Río Paraguay, aforo Puerto Pilcomayo.

Conclusiones

Este estudio permitió determinar que la sequía hidrológica reciente en la Cuenca del Plata, y en particular considerando el caudal del río Paraná, no tiene precedentes en los últimos 50 años en términos de severidad y duración. Esto se identificó a partir de diversos índices y variables hidrométricas que permitieron cuantificar el déficit hidrológico reciente en la región desde una perspectiva histórica. Las proyecciones futuras indican un probable déficit en los caudales del Río Paraguay, mientras que en el Río Paraná hay mayor incertidumbre. No obstante, algunas simulaciones hidrológicas muestran niveles de caudal similares a los de la sequía hidrológica reciente, sobre todo a partir de la década de 2050, con una severidad que dependerá del GHM y del escenario seleccionado. Este resultado exige el diseño de una mejor gestión de las vías fluviales, considerando que estos ríos son una ruta clave para las exportaciones de Argentina y Paraguay.

Referencias

- Naumann, G., et al. (2023). Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: event evolution and impact assessment until September 2022. Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC132245.
- Rivera, J.A., Otta, S., Lauro, C. and Zazulie, N. (2021). A decade of hydrological drought in Central-Western Argentina. *Frontiers in Water*, Vol. 3, 640544.
- Van Loon, A.F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, Vol. 2, pp. 359-392.

ESTACIONES DE MONITOREO DE LAGOS EN CÓRDOBA, ARGENTINA: AVANCES EN EL DESARROLLO

Andres Rodriguez†, Pedro Ruiz Diaz*, Mauro G. Gómez‡*, Carlos A. Vitulich‡, Santiago A. Rodriguez Gonzalez*, Florencia E. Romero*, Araceli Ferreyra*, Micaela Juaneda Allende*, Guido Marconi**, Leandro N. Alem‡, Gastón Ojeda*, Francisco Ciordia*, Lihué Luna*, Mateo Merino*.

† IDIT, Conicet-UNC, Córdoba, Argentina
androdminplan@gmail.com

* Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC, Córdoba, Argentina
ing.gomezmauro@live.com

‡ Centro de Investigaciones Aplicadas - DGlyD - Fuerza Aérea Argentina, Córdoba, Argentina
mg_gomez@faa.mil.ar

**Centro de Investigaciones en Bioquímica Clínica e Inmunología - CONICET, Córdoba, Argentina
guido.marconi@unc.edu.ar

Introducción

La medición de parámetros hidrometeorológicos y de calidad de agua in situ es de suma importancia para desarrollar modelos que permitan caracterizar la evolución de los embalses de la provincia de Córdoba, algunos de los cuales presentan eutrofización (Pérez, G. R., y Ramírez Restrepo).

En el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba se encuentra vigente un proyecto de desarrollo e instalación de Estaciones de Monitoreo de Lagos (EML) de la Provincia de Córdoba, (Rodríguez et al., 2020). Las EML desarrolladas están compuestas de una plataforma formada por una estructura tubular de acero inoxidable, con su respectivo flotante, más un sistema de anclaje y un perímetro de señalización y defensa. Sobre dicha plataforma se instalan los sensores –meteorológicos, de calidad de agua, etc–, la electrónica asociada y la planta de energía correspondiente. Cada estación de monitoreo debe instalarse en el punto más representativo posible del cuerpo de agua, y tienen la capacidad de recolectar datos, almacenarlos y transmitirlos de forma inalámbrica a un servidor remoto.

Actualmente se encuentran operativas tres estaciones: EML-01 San Roque, EML-02 Los Molinos y EML-03 embalse Ministro Pistarini (Fig. 1), mientras que se tiene planeada la instalación de la EML-04 en el dique La Viña en 2023.



Figura 1.- EML-03 Embalse Ministro Pistarini.

Nueva EML-03 embalse Ministro Pistarini

Una estación de monitoreo fue instalada en el embalse de Río Tercero a finales del mes de noviembre del año 2022, en las proximidades de la Central Nuclear Embalse, Fig. 1. Al igual que sus predecesoras, cuenta con la capacidad de medir humedad, temperatura y presión; velocidad y dirección de viento; radiación solar directa; y finalmente, temperatura de la columna de agua.

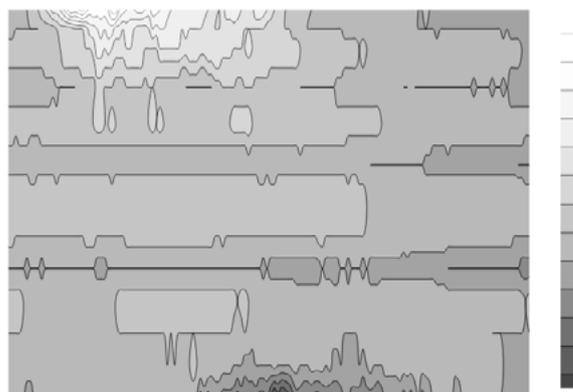


Figura 2.- Perfil de temperatura del lago San Roque.

Sensores desarrollados en el LH-UNC

En el Laboratorio de Hidráulica se han desarrollado los siguientes sensores, ya instalados en las 3 estaciones:

Cadena de termistores

Para hacer un perfil de la temperatura de la columna de agua se desarrolló una cadena de termistores, la cual consta de 17 nodos interconectados que llegan hasta una profundidad de 12.4 mts. Los primeros 11 nodos están distanciados entre sí por 60 cm, mientras que en los últimos 6, su separación crece a 1 m. Cada nodo está compuesto por una placa electrónica que contiene un termistor NTC, un microcontrolador y un tranceptor RS485. Para encapsular la electrónica se utiliza una conexión de agua Tee de 1/2", en sus dos aberturas alineadas se colocan prensacables y por el orificio restante se rellena con resina, cubriendo incluso el termistor correspondiente con una capa de entre 2 mm y 4 mm de resina Dilack® 42. Para mantener los nodos en profundidades constantes, se fijan a una cadena de acero galvanizado, la cual cumple también con la función de lastre del sistema. El termistor utilizado tiene una precisión del 1% y forma parte de un divisor resistivo junto a un resistor de

20 kΩ de 0.1% de tolerancia. Con este divisor convertimos la variación de resistencia del termistor en una variación de voltaje que se mide con el convertidor analógico digital de 12 bits del microcontrolador. Para comunicarse con los nodos se utiliza un protocolo propio sobre el bus RS485. Cada nodo posee una dirección e interpreta 3 comandos; (I) para información general, (S) para tomar una lectura de la temperatura y (D) para entregar el último dato sensado. En la Fig. 2 se aprecia el perfil de temperatura de la columna de agua del lago San Roque.

Sensores de humedad relativa, temperatura y presión

Para medir la humedad relativa se utiliza el sensor digital SHTC3, para la presión atmosférica se utiliza el sensor BMP280 mientras que para la temperatura se utiliza un termistor PS102J2. Estos tres sensores están instalados dentro de un capuchón compuesto de plástico y una tela de material sintético, la cual permite el paso de aire, pero evita la condensación de humedad sobre el sensor. Asimismo, este subconjunto se encuentra montado dentro de una estructura protectora – impresa en 3D en PETG – conformada por una serie de platos invertidos que sirven de refugio contra la radiación solar para la medición de la temperatura del aire y de protección del contacto directo con los elementos. La electrónica asociada se encuentra en un gabinete estanco separado y consta de un microcontrolador, para leer los sensores vía I2C y el ADC, y un transceptor RS485 para comunicar los datos.

Sensores en desarrollo

Actualmente se encuentran en desarrollo los siguientes sensores:

Radiación solar directa: Se utiliza el fotodiodo BPW21 y se implementa un amplificador de transimpedancia para convertir la corriente del fotodiodo en una señal de tensión. También se incorpora un microcontrolador para digitalizar la salida del amplificador y un transceptor RS485 para la comunicación. En el diseño de la PCB, el fotodiodo es el único componente en la capa superior y el resto de los componentes se ubican en la capa inferior. La PCB se monta dentro de una carcasa impresa en PETG, cuidando de dejar el recinto lo más estanco posible. Los sensores comerciales de este tipo presentan sobre el fotodiodo un disco de PTFE –Teflon™ –, el cual evita la saturación del sensor. Se sugirió la implementación del mismo material PETG para cumplir la función del componente de PTFE. Para hallar el espesor adecuado, se diseñó una tapa de carcasa con un orificio sobre la posición del fotodiodo, en donde se instalaron discos de PETG de distinto espesor. El siguiente paso consiste en diseñar una tapa de carcasa monolítica con el espesor elegido, para luego realizar distintos ensayos. El primero de ellos será direccional, posicionando el sensor a distintos ángulos en azimut respecto a la fuente de luz, para evaluar la variación en la lectura debida a la anisotropía del material, resultante del propio proceso de fabricación mediante impresión 3D. Por otra parte, también debe ser probada la estanqueidad de la carcasa para proteger a la electrónica asociada de los elementos.

Anemómetro ultrasónico: Este es un dispositivo que permite inferir la velocidad y dirección del viento mediante la medición del tiempo de vuelo de un frente de onda ultrasónico entre dos transductores de ultrasonido, siendo la ventaja principal la ausencia de partes móviles. Dichos transductores son dispuestos en pares enfrentados uno con el otro, en forma de cruz. El principio de funcionamiento es el siguiente: cada par estima la velocidad del viento mediante la medición del tiempo transcurrido entre la emisión en un transductor y la recepción en el otro y viceversa. Con este tiempo estimado y conociendo la distancia entre los transductores, es posible obtener la velocidad

del viento en esa dirección. El segundo par es instalado a 90° del primero, pudiendo obtener la velocidad en esa dirección, obteniendo la velocidad total del viento y su dirección mediante la composición de ambos vectores.

Sensor de clorofila

Este sensor es un fluorómetro que funciona emitiendo un haz de luz azul que excita las moléculas de clorofila en una muestra de agua con cianobacterias, provocando que emitan fluorescencia. La cantidad de fluorescencia emitida es proporcional a la concentración de clorofila presente en la muestra de agua. Hasta ahora se ha demostrado la factibilidad de la técnica como método de medición en un modelo de laboratorio al cual todavía se lo está caracterizando y calibrando (Ruiz Díaz et al., 2022). Luego se debe realizar un diseño en formato sonda para poder incorporarlo a las EML.

Mitigación de algas del género *Microcystis*

Por otra parte, se encuentra en desarrollo una investigación sobre el efecto mitigante que ondas de ultrasonido emitidas en el cuerpo de agua pueden presentar sobre poblaciones de cianobacterias del género *Microcystis*, (Romero, F. E. et al, 2022). Para ello se cuenta con una decena de transductores de ultrasonido con un rango de frecuencias de 20 kHz a 120 kHz y potencias de 35 W a 80 W, además de un hidrófono con una sensibilidad de -202 dB V/μPa hasta 400 kHz. Hasta el momento se han realizado diversos experimentos sobre muestras del Embalse San Roque con prevalencia de *Microcystis*, con el objetivo de evaluar los posibles efectos de ultrasonido, sobre la flotabilidad, la abundancia y lisis celular del género, a diferentes potencias, frecuencias y tiempo de exposición.

Conclusiones

Actualmente hay 3 estaciones EML instaladas en distintos lagos de la Provincia de Córdoba, y está planificada la instalación de una cuarta en el Dique la Viña durante el año 2023.

El equipo de trabajo multidisciplinario del Laboratorio de Hidráulica de la UNC ya ha desarrollado dos sensores propios y operativos: cadena de termistores y sensor de humedad, temperatura y presión. Asimismo, se encuentra en proceso el desarrollo de un sensor de radiación directa, un sensor de clorofila mediante fluorescencia y un anemómetro ultrasónico.

Finalmente, el desarrollo de un dispositivo ultrasónico para mitigación de floraciones de cianobacterias del género *Microcystis* se encuentra en fase de investigación.

Referencias

- Pérez, G. R., y Ramírez Restrepo, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical- 2.a edición., Medellín: Universidad de Antioquia.
- Rodríguez, A. et al. (2020). "Red de estaciones para medición de parámetros hidrometeorológicos en embalses de Córdoba, Argentina [Not available in English]," 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505437.
- Romero, F. E. et al (2022). "Elaboración de un dispositivo ultrasónico para control de floraciones algales del género *Microcystis* en el embalse San Roque, Córdoba: primeros pasos para evaluación de sus efectos," 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), San Juan, Argentina, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ARGENCON55245.2022.9939993.
- Ruiz Díaz, P. et al (2022). "Desarrollo de un sensor de bajo costo para detección in vivo de cianobacterias por fluorescencia," 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), San Juan, Argentina, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/ARGENCON55245.2022.9939678.

RELEVAMIENTO HIDROAMBIENTAL GEORREFERENCIADO DE DETALLE CON VISTAS A LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Rodríguez D. T.⁽¹⁾, Seufert A. G.^(1,2), Riccardi G. A.⁽³⁾, Fernández J. J.^(1,2) y Schoninger F.^(1,2)

(1) Laboratorio de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina.

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

(3) Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura y Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Argentina.

contacto: tomas8448@hotmail.com, +54-3755-698630; Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.

Introducción

La región Misionera de Oberá presenta, a priori, favorables condiciones hidroambientales para minimizar las afectaciones por inundaciones asociadas a su clima subtropical húmedo de abundantes precipitaciones, principalmente debido a su densa vegetación que reduce los volúmenes de escurrimiento, y a su topografía serrana, que permite erogar velozmente los excedentes hídricos superficiales. Sin embargo, en los últimos años se han presentado severas inundaciones en la región urbana debido a su avance sobre la Selva Paranaense y ante la escasa planificación sostenible del sistema de drenaje pluvial (Rodríguez 2018). Reconociendo la necesidad de contar con información base de calidad para afrontar la gestión de cualquier recurso, se vuelve indispensable la generación de un inventario actualizado de los recursos hídricos con vistas a una gestión exitosa de los mismo (Riccardi, 2004). El presente informe presenta la metodología y resultados del Programa RICO “Relevamiento Integral de Cauces de Oberá”, financiado por el Gobierno Municipal de la Ciudad de Oberá, Misiones, Argentina y llevado a cabo por docentes-investigadores del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (LIC-FI-UNaM), el cual se prevé sea utilizado como base para la concreción de un Plan Maestro de Desagües Pluviales de Oberá.

Palabras clave: relevamiento hidroambiental; georreferenciación; recursos hídricos superficiales; gestión sostenible.

Objetivo

El objetivo principal fue el relevamiento detallado de los recursos hídricos superficiales, con vistas a su preservación y la planificación hidroambientalmente sostenible del sistema de desagües en un entorno urbano en rápida expansión.

Materiales y Métodos

El equipamiento y software utilizado fue:

- 2 cámaras GoPro Hero 7 Black
- HW GoPro Telemetry Extractor
- Aplicación Geo Track
- QGis

La metodología incluyó, la recorrida, relevamiento y procesamiento de información de todos los cuerpos de agua superficial (cauces, lagunas y humedales) utilizando cámaras GoPro Hero 7 Black, permitiendo grabar y realizar el traqueo vinculado a un sistema GPS. Posteriormente se procesó la información con los softwares libres HW GoPro Telemetry Extractor (2022) y QGis.

Las áreas analizadas corresponden a las tres cuencas más grandes de la región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones. Las mismas presentan diferentes grados de urbanización y corresponden a las

áreas de aporte de los Arroyos Lata, Mbotaby y Tuichá (Figura 1). Además del mapeo de cuerpos de agua y puntos característicos se relevaron cuestiones como nivel de antropización, existencia de sistemas de drenaje, presencia de residuos e hidrocarburos, estado de la fauna y flora existente, procesos de erosión, etc.



Figura 1.- Cuencas analizadas identificadas sobre una imagen satelital.

Resultados

El relevamiento se desarrolló entre 02/2021 a 03/2022 en un área de aproximadamente 4.000 Ha, resultando en total 74 km de cauces naturales, canales y obras de arte y 23 Ha con lagunas y humedales, totalizando 1.030 puntos de interés.

En general, los sectores de cuenca alta de los tres arroyos se encuentran en condiciones buenas a regulares, contando con niveles bajos de antropización, vestigios de vegetación autóctona, baja a media contaminación y con posibilidades de restaurar y conservar la zona de ribera (Figuras 2 y 3).

En cuanto a los sectores de cuenca media, es donde se desarrolla la mayor actividad antrópica, con densidad de urbanización media a alta, existencia de severos procesos erosivos con peligro de derrumbe y riesgos de inundación. Las zonas naturales se encuentran degradadas y hay una marcada necesidad de intervenir y regularizar (Figuras 4 y 5).

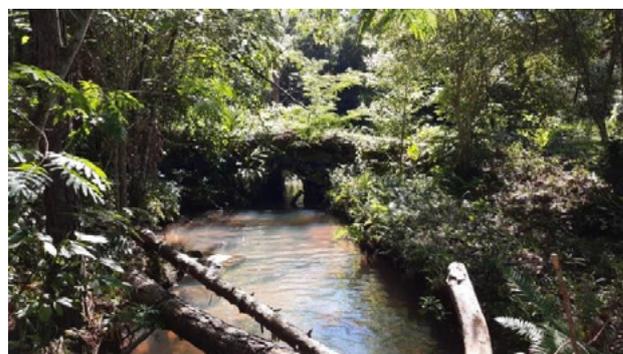


Figura 2.- Cauce principal del A° Lata (Cuenca Alta).



Figura 3.- Cauce principal del A° Tuichá (Cuenca Alta).



Figura 4.- Erosión de márgenes del cauce del A° Mbotaby (Cuenca Media).



Figura 5.- Antropización en las márgenes del A° Mbotaby (Cuenca Media).

Para las áreas de cuenca baja, se ve que actividad antrópica disminuye respecto a las zonas de cuencas medias, con zonas naturales en condiciones regulares, pero con posibilidad de restaurarlas y conservarlas (Figuras 6 y 7). También es importante destacar de las zonas medias y bajas la gran cantidad de asentamientos irregulares a las márgenes de los arroyos.



Figura 6.- Presencia de residuos en las márgenes del A° Tuichá (Cuenca Baja).



Figura 7.- Presencia de autos en el humedal del A° Lata (Cuenca Baja).

Como resultado se logró generar documentación digital que permite el reconocimiento de los cuerpos de agua y su estado actual, los diferentes componentes del sistema de desagüe, las áreas inundables y la identificación de puntos de interés para el control de las características fisicoquímicas y biológicas del agua.

Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología inédita para la región, lográndose un relevamiento detallado y un posterior inventario actualizado del estado y funcionalidad de los elementos constitutivos de la dinámica hídrica superficial regional, considerándose una etapa rigurosamente necesaria para una evolución paulatina hacia una gestión integrada y sostenible del recurso hídrico.

Cabe destacar que el total de cuerpos de agua registrados fue significativamente mayor al previsto inicialmente. Y que los mismos brindan servicios hidroambientales de relevancia, tanto para el control de inundaciones en épocas de excesos, como para reserva de agua en épocas de sequía, por lo que es necesario conservarlos y/o restaurarlos.

Se desataca la necesidad de mejorar la gestión de los residuos sólidos, sobre todo desde la educación y formación de los ciudadanos.

Sin embargo, la principal problemática detectada es la ocupación, formal e informal, de los valles de inundación, acrecentando las afectaciones por inundación y degradación con de los cuerpos de agua.

En este sentido es necesario señalar que la falta de una gestión integral de los recursos a lo largo de los años se evidencia como un factor que ha acrecentado las problemáticas con los excedentes hídricos superficiales y su relación con la sociedad.

Referencias

- Riccardi G.A.** (2004). "Hidrología en medios antropizados" Libro electrónico. CURIHAM, FCEIA-UNR. <http://c-virtual.fceia.unr.edu.ar>.
- Rodriguez D.T.** (2018). "Estudio de dinámica de los excedentes hídricos superficiales en cuencas urbanas de alta pendiente y sus implicancias en los procesos erosivos. Caso de estudio región urbana de la ciudad de Oberá, Misiones". Tesis doctoral FCEIA-UNR.
- GoPro Telemetry Extractor** (2022). <https://goprotelemetryextractor.com>.

MONITOREO Y ANÁLISIS DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN VENADO TUERTO MEDIANTE UNA RED DE FREATÍMETROS Y HERRAMIENTAS GEOESPACIALES

Rodriguez, Rocío¹, Gualde Ma. Celeste 1, Bricca, Mónica 1,2, Del Soldato, Samanta 1, Gualde, Ma. Soledad 3,4, Bonifazi, Emiliano 1,2, Olivieri Vilma 1,2.

¹Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN-FRVT), Venado Tuerto, 2600, Santa Fe, Argentina.

²Cooperativa de Obras Sanitarias y Servicios Anexos de Venado Tuerto (COS VT), Venado Tuerto, 2600, Santa Fe, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA C1425FQB, Buenos Aires, Argentina.

⁴Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina.

Introducción

En un mundo en constante transformación y progreso, es imprescindible conocer y gestionar efectivamente el agua subterránea. Esto es crucial para asegurar su disponibilidad a largo plazo, dado que se trata de un recurso vital y de valor incalculable. A partir de esta premisa, el Laboratorio de Medio Ambiente de UTN-FRVT instaló en la ciudad de Venado Tuerto una red de freatímetros estratégicamente ubicados que permiten el monitoreo continuo y sistemático de los niveles de agua subterránea tanto en áreas urbanas como rurales. Mediante la correlación de la topografía del terreno, la superficie freática y un nivel de referencia, se obtienen mapas de equipotenciales hidráulicos y líneas de flujo del agua subterránea utilizando software GIS y herramientas de modelado, visualización y análisis de datos geoespaciales.

El área de estudio tiene una superficie de 176 Km² que incluyen la zona urbana y parte de la zona rural de la ciudad de Venado Tuerto quedando completamente incluida la red de freatímetros (Figura 1).

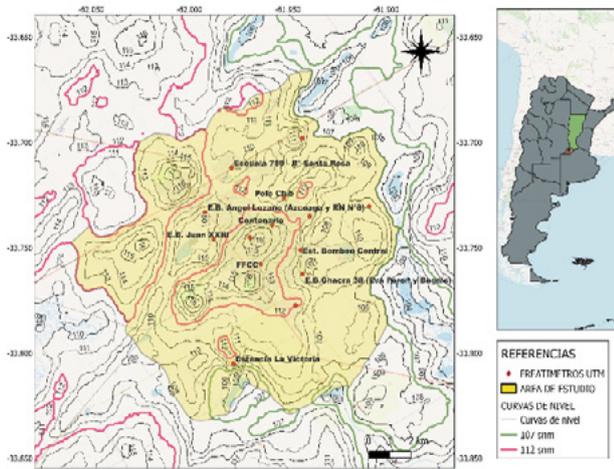


Figura 1.- Área de Estudio

Materiales y Métodos

Para delimitar el área estudio se utilizó el software QGIS, extrayendo curvas de nivel a partir de un modelo de elevación digital (DEM) obtenido por la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Model) de 90 m de resolución espacial, corregido por Soria (2019)

Para la caracterización de la topografía del terreno se llevó a cabo una nivelación de los puntos que componen la red de freatímetros a través de una metodología mixta. Se utilizó nivel óptico en aquellos casos donde se contó con puntos fijos medianamente próximos, con cota absoluta (msnm) conocida, ubicados a no más de 2.000 metros de distancia. En el resto de los freatímetros, se recurrió a la herramienta GPS, guiada por un profesional de la agrimensura. Las actividades mencionadas se pueden observar en

la Figura 2 y en la Figura 3.



Figura 2.- Equipo del Laboratorio de Medio Ambiente realizando nivelación con nivel óptico



Figura 3.- Base del equipo GPS ubicado en el Polo Club, donde se encuentra instalado uno de los freatímetros.

Para el modelado de la topografía, la superficie freática y la red de flujo se utilizó el software de modelado y mapeo Surfer.

Resultados

Los resultados de la nivelación del terreno y las cotas de profundidad del nivel freático obtenidas de los muestreos realizados por el Laboratorio de Medio Ambiente se observan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Cotas absolutas obtenidas en la nivelación.

FREATIMETRO	FECHA	CONDICION	COTA
Polo	12/6/2021	Nivel	111,25
Plaza San Martín	19/6/2021	Nivel	114,525
Estacion de ferrocarril	19/6/2021	Nivel	113,23
Centenario	28/8/2021	Nivel	114,002
Estacion de agua potable	28/8/2021	Nivel	111,643
Escuela Almafuerde N° 789	29/10/2021	Nivel	111,502
Estacion central de bombeo	6/12/2021	Nivel	110,245
Est. La Victoria	16/3/2022	Nivel	106,929
Cumelen	16/3/2022	GPS	109,218
Zona Norte	13/4/2022	GPS	114,408
Juan XXIII	13/4/2022	GPS y nivel	107,578
Parque Industrial	23/6/2022	Nivel	111,114
Chacra 38	23/6/2022	Nivel	109,396
RSU	3/6/2022	GPS y nivel	110,981
Cementerio	29/5/2020	Nivel	112,823

La Figura 4 corresponde al mapa de equipotenciales de julio del año 2020 y la Figura 5 a la red de flujo del mismo mes y año.

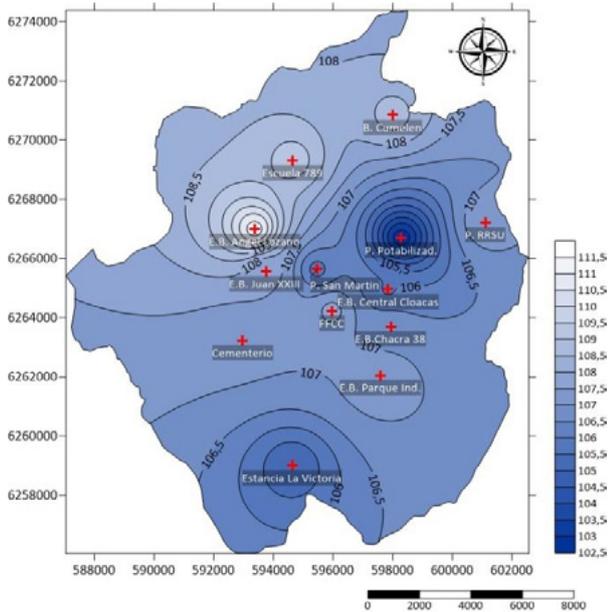


Figura 4.- Mapa de equipotenciales correspondiente al mes de julio de 2020

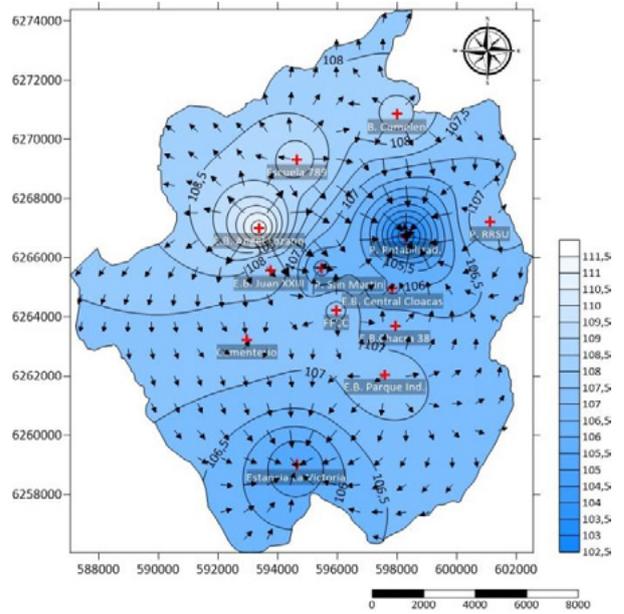


Figura 5.- Mapa de la red de flujo obtenido a partir de las equipotenciales de julio de 2020

Discusiones

Los resultados muestran que el flujo subterráneo ingresa desde el noroeste y se dirige hacia el sur. Se observa que las líneas de flujo divergen en las partes altas de la zona noroeste, lo cual evidencia una zona de recarga del acuífero, y convergen hacia la zona de la laguna "Estancia La Victoria", lo que indica una zona de descarga. Asimismo, se observa que el flujo es convergente hacia las zonas donde se realizan bombeos localizados, formando un cono de depresión que representa una zona de descarga forzada.

Conclusiones

El mapa de equipotenciales y la red de flujo presentados en este estudio proporcionan información sobre el comportamiento del acuífero durante el mes de julio de 2020. Estos hallazgos constituyen una base para continuar con las investigaciones tendientes a analizar el comportamiento del acuífero en diferentes épocas del año, y además en relación con los períodos alternados de sequía y abundantes precipitaciones que caracterizan nuestra región.

La comprensión detallada de nuestros recursos hídricos, a la cual aportan estos resultados, ofrece información importante para abordar los desafíos actuales relacionados con la gestión y preservación de los recursos subterráneos.

Referencias Bibliográficas

- Soria, M., Basile, P. A., Riccardi, G., & Tenor, F. (2019). Caracterización morfológica y Mapa de riesgo hidrológico en la parte alta del sistema hidrológico de llanura "Las Encadenadas" mediante aplicación de herramientas geomáticas. *AJEA*, (1).
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (Vol. 1). Barcelona: Omega.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.
- Kruse, E., & Zimmermann, E. (2002, March). Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). In *Workshop publication on Groundwater and Human development* (pp. 2025-2038).

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

Romay Catalina, Botta Guido Fernando, Di Giacomo Hardoy Felipe

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina
Av. San Martín 4453 – C1417DSE Buenos Aires – Argentina Cel: 11 4172-5130
E-mail: romay@agro.uba.ar; gfbotta@agro.uba.ar; digiacomo@agro.uba.ar

Introducción

El aumento de la demanda de alimentos, acompañado del incremento de sus precios, junto con los impactos generados por el cambio climático, presentan desafíos y oportunidades para el riego como herramienta de desarrollo. Sin embargo el uso del agua para la agricultura está siendo afectada por la competencia con la industria, el uso municipal y el calentamiento global.

La superficie bajo riego en la Argentina, en las últimas décadas ha incrementado, y corresponde al riego complementario - con sistemas mecanizados por pivote y avance frontal - de cultivos extensivos en la región Chaco-Pampeana (maíz, trigo, soja) que utilizan mayormente agua subterránea. El riego complementario juega un rol fundamental, permitiendo disminuir la variabilidad interanual adecuando la planificación de cultivos y rotaciones, aumentando la producción, y el incremento de la competitividad.

Esta tendencia, que seguramente continuará en el futuro, abre un nuevo interrogante sobre sostenibilidad ambiental en la región, por un peligro de sobreexplotación en los acuíferos y por la calidad de agua de alguno de ellos (Andrade, 2017). Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, regar eficientemente es mucho más que cuidar el agua.

Según un relevamiento realizado con imágenes satelitales del Instituto Nacional del Agua (Barrionuevo et al., 2016), la superficie regada con pivote central en la provincia de Buenos Aires era solo 500 ha en 1995, alcanzando las 147.000 ha en el 2015. La distribución se concentra en tres núcleos principales de la provincia: al norte (Pergamino, Salto, Rojas), al sudeste (Balcarce y Lobería) y sudoeste (Coronel Suarez).

Los sistemas de riego por aspersión requieren un valor mínimo de uniformidad para ser considerados aceptables. Se suelen cuantificar a través de coeficientes como el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU), el coeficiente de uniformidad de Heermann Hein (CU_h), que establece valores del orden de 88 % en cultivos de alta rentabilidad con sistemas radicales superficiales, de 82 a 88 % en cultivos extensivos con sistema radicular de profundidad media, y 70 a 82 % en frutales y forrajes con sistema radicular de profundidad media, (Tarjuelo, 2005).

Puiatti et al. (2002), luego de evaluar 21 equipos de pivote central en Córdoba, concluía que los coeficientes de uniformidad obtenidos, se encontraban por debajo del valor especificado en los catálogos de venta de la mayoría de las empresas fabricantes. Las láminas de riego empleadas eran bajas, dado que la programación se realizaba, sobre la base de la operación del sistema y no en los requerimientos de los cultivos. Verardi 2013, midiendo la eficiencia en equipos de riego pivote central en el centro sur de la provincia de Corrientes, evidenció variaciones de la presión de trabajo (5 Psi), dando distribución de lámina aplicada no uniforme, y coeficiente de uniformidad con valores inaceptables para riego por aspersión. Morábito & Salatino 2015, concluía que la mitad de los equipos de Pivote Central evaluados en el oasis centro de la provincia de Mendoza mostraban una baja uniformidad, por lo que sugerían un mejoramiento de su mantenimiento y operación.

Se establece como hipótesis que los indicadores de desempeño en sistemas tecnificados no siempre alcanza los valores propuestos por las empresas vendedoras. El objetivo fue

evaluar el desempeño de riego por pivote central instalados en un establecimiento privado.

Materiales y Métodos

El área de estudio fue un establecimiento privado, ubicado en el partido de Suipacha, Provincia de Buenos Aires, quien adquirió equipos de riego por pivote central desde la campaña 2010 – 2011, incorporando riego complementario al manejo productivo del maíz (*Zea mays* L.), y en menor escala a la producción de soja de primera, o trigo con soja de segunda, (Figura 1).



Figura 1.- Sistema de riego pivote central en cultivo de maíz

Para la realización de las evaluaciones en los sistemas de pivote se siguió la metodología propuesta en las normas internacionales del Instituto Nacional de Normalización Estadounidense: ANSI/ASAE STANDAR ASAE S526.1 revisadas y reafirmadas en diciembre de 2006. Se confeccionó un formulario de evaluación a partir de la metodología (Tarjuelo, 2005). Los equipos se evaluaron en las condiciones normales de trabajo. El material usado en la evaluación estuvo compuesto por pluviómetros, cinta métrica, cronómetro, manómetros, uno con acoplamiento en forma de “tubo Pitot” para medida de la presión de trabajo de los emisores, probetas.

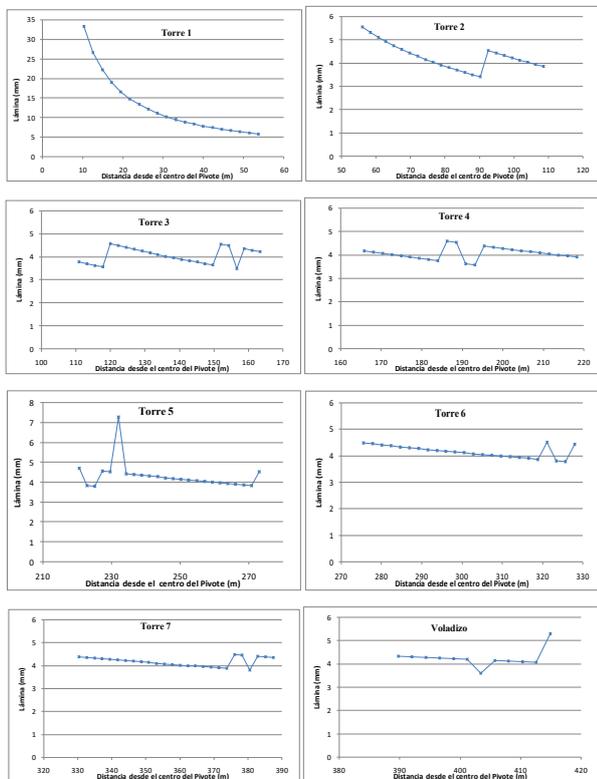
Resultados y Discusión

A partir de los datos obtenidos en el ensayo se dedujo el valor de altura de agua aplicada (D_i), la altura bruta media descargada (D_b), altura media de agua ponderada (\bar{D}), el coeficiente de uniformidad de Christiansen (1942) (CU), el coeficiente de uniformidad de Heermann Hein (CU_h) (1968), el coeficiente de uniformidad del sistema (CU_s) (Keller 1990), la uniformidad de distribución UD, (Zhang & Merkley, 2012), la uniformidad de distribución para el cuarto más perjudicial, ($UD_{25\%}$), uniformidad de distribución del sistema (UDs) (Keller&Bliesner 1990), el coeficiente de variación CV, el coeficiente de uniformidad estadístico (CUE), la eficiencia de descarga (Ed), la pluviometría media (P_m), la pluviometría máxima (P_M) en el extremo del pivote, el área regada adecuadamente (ARA), área regada excesivamente (ARE) y área regada insuficientemente (ARI) utilizados por Montero et al., (2013).

La figura 2 muestra la distribución de las láminas dada por los difusores a lo largo de las torres. Estos gráficos permiten ver ciertas irregularidades como se observa en la torre 1 siendo la

primera que recibe el caudal total y la presión máxima, arrojando láminas elevadas en los primeros aspersores que se van regularizando hacia su extremo. En la torre 2 se observa que a los 90 metros hubo un cambio de boquilla diferente (por desgaste o rotura), manifestando un cambio brusco de lámina. Se repite en las otras torres.

Figura 2.- Distribución de las láminas a lo largo de las torres



La tabla 1 resume los valores correspondientes a cada parámetro analizado, y la figura 3 representa la altura de agua recogida en función de la superficie (línea celeste), indicando posición de las torres (triángulos rojos), altura media recogida por torre (línea punteada verde), altura media del sistema (línea negra) y el 0,85 (línea punteada celeste) y 1,15 (línea punteada roja) de la altura media recogida.

Tabla 1.-Valores correspondientes a cada parámetro analizado

Indicador	Sigla	Resultado
Altura de agua aplicada (mm)	D_i	3,1
Altura bruta media descargada (mm)	D_b	4,2
Altura media de agua ponderada (mm)	\bar{D}	2,9
CU de Christiansen (%)	CU	83,0
CU de Heermann y Hein (%)	CU_h	84,1
CU del Sistema (%)	CU_s	79,7
Uniformidad de Distribución (%)	UD	80,3
UD para el cuarto más perjudicial (%)	$UD_{25\%}$	83,3
UD del Sistema (%)	UD_s	76,7
Coefficiente de variación	CV	0,3
CU estadístico (%)	CUE	73,1
CU de variación(%)	(CU_v)	75,8
La eficiencia de descarga (%)	Ed	70,9
La pluviometría media(mm/h)	P_m	29,5
La pluviometría máxima(mm/h)	P_M	37,6
$2,5 \text{ mm} \leq \text{ARA} \leq 3,4 \text{ mm}$	34,5ha	63,6 %
$3,4 \text{ mm} < \text{ARE}$	11,1ha	20,4 %
$2,5 \text{ mm} < \text{ARI}$	8,7 ha	16 %

Aquellos lugares donde -a lo largo del lateral- la altura de agua aplicada sea un 15 % mayor o menor que la altura de agua media deben ser analizados para determinar la causa de la variación.

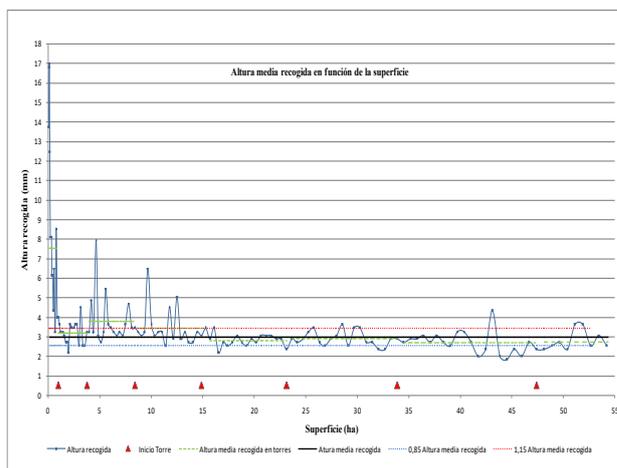


Figura 3.- Altura de agua aplicada a lo largo del lateral, altura media recogida, y el 0,85 y 1,15 de la altura media recogida

Conclusiones

Los resultados mostraron un coeficiente de Uniformidad de Heermann y Hein, CU_h de 84,1%, muy cerca del 85%, valor límite para considerar que un sistema riega de manera uniforme. Por otro lado los equipos riegan adecuadamente el 63,6 % de su superficie, 20,4 % riega en exceso y 16 % insuficiente. Debería mejorarse el mantenimiento de los equipo, reemplazando los emisores, que alteran la distribución del agua en las torres, y controlar las presiones, para mejorar la uniformidad, ahorrar agua, reducir el consumo energético aumentando la productividad del cultivo.

Referencias

- Andrade, F., (2017). *Los Desafíos de la Agricultura Argentina*. CABA: Ediciones INTA.
- Ansi/Asae S 436.1(2001) "Test Procedure for Determining the Uniformity of Water Distribution of Center Pivot, and Moving Lateral Irrigation Machines Equipped with Spray or Sprinkler Nozzles." American Society of Agricultural Engineers. USA.
- Baum, M. C., Dukes, P. E. M. D. and Miller, G. L.(2005). "Analysis of residential irrigation distribution uniformity". *J. Irrig. Drainage Eng.* 131(4):336-341
- Barrionuevo, N., German, L., Waldman, C., (2016). "Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el periodo 1995-2015". *Conference: Sociedad Latinoamericana de Especialistas Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial -SELPER-* Iguazú, Misiones, Argentina.
- Heermann, D.F., Hein,R.,(1968). "Performance characteristics of self-prop center pivot sprinkler irrigation system", *Transactions of the ASAE* 11(1): 11-15.
- Keller, J. Bliesner, R., (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. Chapman& Hall. Anavi Book. 651 p.
- Montero, J., Martínez, A., Valiente, M., Moreno, M. A., Tarjuelo, J. M.(2013). "Analysis of water application cost a center pivot system for irrigation of crops in Spain". *Irrig. Sci.* 31:507-521.
- Morábito J., Salatino S.,(2015). "Desempeño del Riego de Equipo de Pivote Central en la Provincia de Mendoza", Argentina. Mendoza: Instituto Nacional del Agua, Universidad Nacional de Cuyo.
- Puiatti J.M., CrespiR. J., RivettiA. R., (2002). "Riego con equipos presurizados". *Rev. RCA UNCuyo*. Tomo XXXIV. N° 2: 27-33.
- Tarjuelo, J. M.,(2005). *El riegoporaspersión y sutecnología*. Edición Mundi Prensa, Madrid, España. 3ra Edición. 569 p.
- Verardi A., CurrieC., Pietrantueno H., ZarachoM., MoreyraA., (2013). "Medicion de eficiencia en un equipo de riego mecanizado por pivot central en el centro sur de la provincia de Corrientes" Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Corrientes, Argentina.
- Zhang, L., Merkley, G. P.,(2012). "Relationships between common irrigation application uniformity indicators". *Irrig. Sci.* 30:83-88.

IMPACTO DE LA INSTALACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO Y PREVISIÓN DE NIVELES DE AGUA

Martín Sabarots Gerbec¹, Santiago Guizzardi¹, Juan Bianchi², Ardían González³, Mauro Fernández⁴ y Victorio Dieta⁵

¹ Subgerencia del Laboratorio del Instituto Nacional del Agua (INA)

² Subgerencia del Sistema de Información y Alerta Hidrológico del Instituto Nacional del Agua (INA)

³ Estación Experimental Agropecuaria Delta Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

⁴ Agencia De Extensión Rural Delta Frontal del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
mgerbec@ina.gov.ar

Introducción

Las situaciones de emergencia causadas por las bajantes y crecidas del Río de la Plata son un problema recurrente en el Bajo Delta del río Paraná. Para comprender la problemática es necesario contar con datos que den cuenta de los eventos extremos de niveles de agua que ocurren en el frente del Delta. En este sentido, desde 2017, se trabaja en el desarrollo e instalación de una red de sensores en el marco del Convenio de Cooperación INA-INTA para el Estudio del Delta del Paraná.

Red de medición

En los últimos 6 años se han instalado sensores de nivel de agua en distintos cursos del Bajo Delta (Figura 1), priorizando la cercanía con el Río de la Plata, lo que permite una caracterización directa de la doble onda de marea en el Estuario. En este sentido los equipos registran con frecuencia horaria y transmiten en tiempo real.

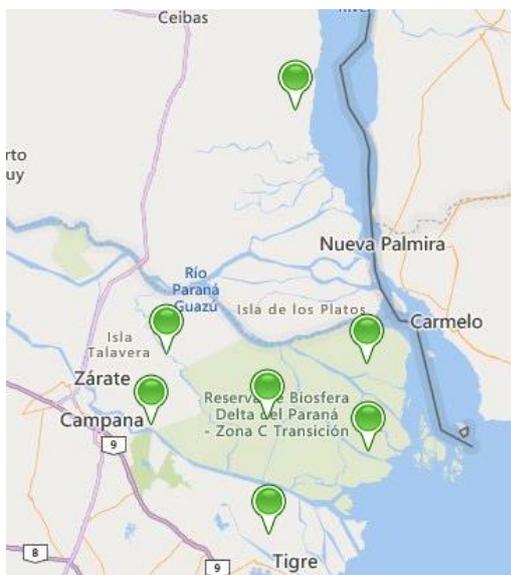


Figura 1.- Sensores instalados.

En este proceso se contó con un fuerte apoyo de los actores locales, no solo en el momento de la instalación de los equipos, sino también para el cuidado y mantenimiento de los mismos.

Posterior a la instalación de la red, en 2020, y atendiendo la necesidad de pronósticos específicos por parte de productores mimbrosos del Delta (Sabarots Gerbec, 2020), el INA sistematizó la previsión de niveles de agua en San Fernando. Esto permitió contar con información para el manejo del agua ante heladas tardías.

La metodología de previsión de niveles utiliza salidas de modelos hidrodinámicos que posteriormente se corrigen con la información del sensor de nivel. Esta metodología luego se extendió al resto de las principales localidades ribereñas del Delta

(Guizzardi, 2022) apoyado no solo en los sensores instalados por el INA-INTA, sino también haciendo uso de equipos existentes (Red Hidrométrica Nacional).

Impacto de la red

Durante la bajante del Paraná de 2020 y 2022, la red de sensores resultó de gran utilidad para el monitoreo de los niveles de agua y facilitó la corrección en tiempo real de alturas pronosticadas (Guizzardi, 2022).

Registros de visitas web

La red de sensores cuenta en la actualidad con 7 estaciones transmitiendo en tiempo real y ha sido efectiva en la recopilación de datos y en la generación de información útil para los usuarios. Como resultado, ha habido un aumento en la cantidad de visitas a la página web que presenta información sobre los niveles de agua. Se destaca que este incremento de visitas es constante en el tiempo, registrando actualmente un promedio de 1500 ingresos semanales.

En la Figura 2 se pueden observar los principales cambios de tendencia en las visitas registradas en el acceso a la web se asocian a la publicación de nuevos productos, como en Julio de 2021 donde se comenzó a realizar la previsión de niveles de agua a 4 días desde Rosario hasta San Fernando.

También se han detectado eventos de sudestadas, en los que los usuarios de la red han consultado con más frecuencia la previsión a 4 días, como es el caso de Enero de 2022.

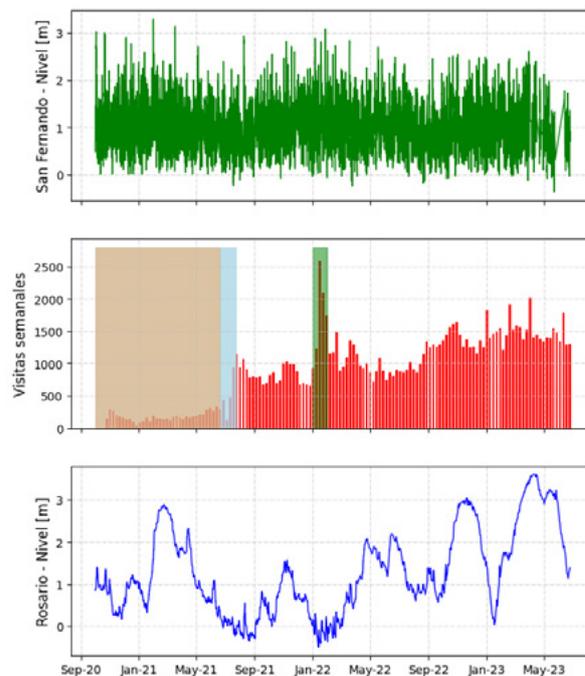


Figura 2.- Visitas web y niveles registrados

El impacto de la red es importante también a través de las tareas de extensión del INTA que distribuye de forma semanal un Boletín Hidrometeorológico (BH), considerado muy útil por las y los pobladores y productores, cuya información se utiliza para la navegabilidad de embarcaciones de pasajeros, transporte de carga forestal y animal, gestión de agua en predios para el cultivo del mimbre, las forestaciones, y para conocer la incidencia del agua en el domicilio de los habitantes de las islas en general. (Datos de encuesta INTA, sin publicar). El Boletín (Figura 3) es enviado por medio de la mensajería red de *Whatsapp*, y se distribuye a lo largo y ancho del Delta, gracias también a que es reenviado por referentes locales, y de esta forma llega a una parte importante de la población. En base a la encuesta realizada por INTA, el 80% de los usuarios que contestaron la misma consideran el BH como muy útil.

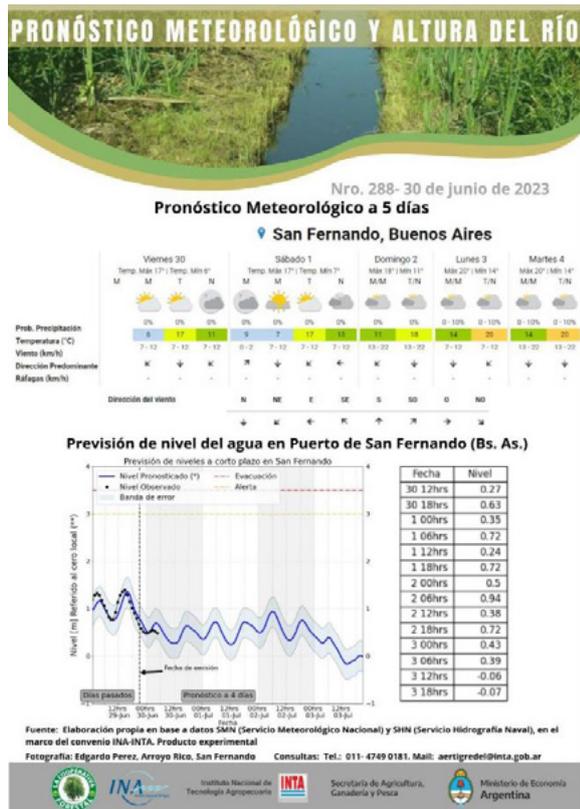


Figura 3.- Ejemplo del Boletín Hidrometeorológico

La consulta a los usuarios, dio cuenta que el uso de la información generada tiene distintos usos según las actividades desarrolladas, como por ejemplo: conocer la incidencia del agua en el domicilio, para la navegación, y para las actividades productivas. Otro dato importante es que el 65% de los encuestados reenvía el BH a sus contactos, ampliando de esta forma la distribución en la región.

Discusión

La instalación y mantenimiento de redes monitoreo de variables hidrométricas, suele ser costosa y difícil de sostener en el tiempo. Al mismo tiempo necesario como apoyo a la toma de decisiones, monitoreo de los cursos de agua, y comprensión del sistema hídrico a escala local.

Un claro ejemplo de esto ha sido la red de sensores instalados en el Delta, del cual los actores locales no son sólo usuarios de los datos, sino también son partícipes del mantenimiento y apoyan el desarrollo de la misma.

La red de medición se potenció a partir de la bajante del Paraná de 2020, dado que la disminución de caudales del Paraná, acentuó los efectos directos de las mareas en el río de la Plata. En especial, aquellos eventos asociados a niveles bajos del estuario. Durante este período (2020-2021) se implementó un sistema de previsión de niveles de agua desde Rosario hasta San Fernando.

Para justificar la sostenibilidad de la red, resulta de interés medir el impacto de la misma sobre los actores locales y las actividades que se desarrollan. Se ha cuantificado a partir de las visitas a la web del Proyecto Delta, en el que se enmarcan, contando con una media de 1500 visitas semanales.

En sitios como el Delta, donde el acceso a la información se dificulta por la conectividad, contar con maneras flexibles de difusión, como el BH, es clave para una mayor propagación de la información.

Estas formas de difusión, como el Boletín Hidrometeorológico INTA-INA, implican un factor de amplificación por reenvío de información, el cual fue relevado mediante una encuesta a los usuarios directos y resultó de 1,5. Este producto que se incorpora a la comunidad como un insumo clave para la toma de decisiones y la previsión ante riesgos hidrológicos extremos.

Referencias

Guizzardi y otros (2022). "Forecast System Implementation in the Paraná Delta". *Proceedings of the IAHR 39th International Congress*, IAHR 2022, Granada, España

Sabarots Gerbec, M y otros (2020). "Bajante simultánea del Paraná y Río de la Plata. Una aproximación al fenómeno desde la participación de actores locales- Evento 31 de mayo 2020". *Informe LHA 09-373-20*, Ezeiza, Agosto de 2020

MODELOS DE NIEVE DE BASE FÍSICA. RESULTADOS PRELIMINARES DE APLICACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO

Ana Paula Salcedo, Richard Essery y Susana Haya

Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional Andino. Mendoza, Argentina
Escuela de Geociencias – Universidad de Edimburgo. Escocia, Reino Unido
E-mail: apsalcedo@ina.gov.ar

Introducción

La cobertura de nieve en las cuencas de la cordillera andina, constituyen importantes reservas de agua dulce, para el abastecimiento humano, productivo, hidroeléctrico y requerimientos ecológicos. El régimen hídrico de las cuencas del centro-oeste de Argentina es esencialmente pluvio-nival, en consecuencia, fuertemente dependiente de la cantidad de nieve que precipita durante el invierno y se acumula en las altas cuencas (Boninsegna y Llop, 2015). Existe una alta relación entre la cantidad de nieve caída durante la estación invernal con los caudales emergentes del período estival (Masiokas et al., 2006). Por tanto el conocimiento de la cantidad de nieve acumulada y de la consecuente fusión, es clave para la gestión y aprovechamiento sostenible del recurso. En general, existen dos aproximaciones a la modelación por fusión nival: modelos empíricos y modelos de base física. Estos últimos están elaborados en base a ecuaciones que rigen los principios físicos de energía y conservación de la masa, y son particularmente adecuados para las estimaciones de caudales por fusión del manto nival. En el presente trabajo exponemos los resultados preliminares del uso del modelo Factorial Snowpack Model FSM (Essery, 2015) para estimar Equivalente en Agua de Nieve (EAN) y Porcentaje de Cobertura de Nieve (PCN) en la porción más septentrional de la cuenca alta del río Colorado en los Andes Argentinos.

Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo se encuentra en la cuenca alta del río Colorado, conformada por los ríos Barranca y Grande. Se definió un área de entrenamiento del modelo de 50km por 50km coincidente en gran parte con la porción más meridional de la subcuenca del río Grande, siendo este el principal afluente del río Colorado. El área delimitada tiene 2500 km², e incluye a la estación nivológica Valle Hermoso (Figura 1). El río Colorado posee vertiente Atlántica y sus nacientes se ubican en la cordillera de los Andes entre las latitudes 35o y 37o Sur.

Datos utilizados

Las forzantes meteorológicas de entrada o variables impulsoras del modelos fueron obtenidas del conjunto de datos de reanálisis de ERA5 (con corrección de sesgo) denominado WFDE5 (Cucchi, et. al. 2020). Asimismo, se utilizaron registros meteorológicos de las estaciones de alta montaña ubicadas en la cuenca. Dos estaciones meteorológicas denominadas Bardas Blancas y Los Mayines (Sistema Nacional de Información Hídrica de la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas) y dos estaciones nivológicas que miden equivalente en agua de nieve (EAN), estación Valle Hermoso (Sistema de Información Hidronivometeorológico del Departamento General de Irrigación de Mendoza) y estación Paso Pehuenches (Sistema Nacional de Información Hídrica de la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas). Para la validación de PCN se utilizaron productos MODIS descargados desde la Oficina de Clima de la Agencia Espacial Europea de la Snow Climate Change Initiative CCI (<https://climate.esa.int/> - <https://catalogue.ceda.ac.uk/>)

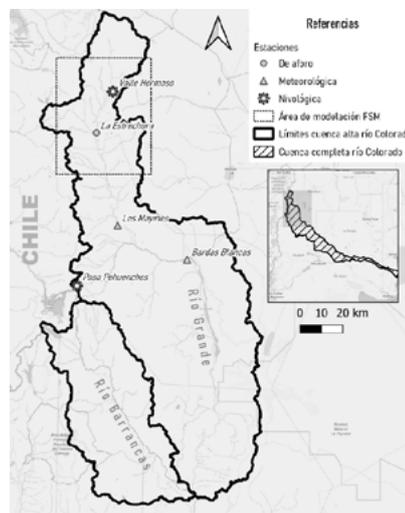


Figura 1.- Mapa de ubicación de la zona de entrenamiento del modelo y estaciones de alta montaña utilizadas.

Métodos

Los modelos de base física como el FSM poseen 3 componentes. El modelo predice la evolución en el tiempo de las variables de estado (por ejemplo la masa de la nieve en el suelo), contienen parámetros internos (como por ejemplo el albedo de la nieve fresca) y requieren para su ejecución variables impulsoras externas (la precipitación nival). Las variables de estado describen el estado del sistema físico. En el caso de FSM divide al paquete de nieve verticalmente en una serie de capas dependiendo de la profundidad, y por debajo una serie de capas de suelo. Algunas de las variables de estado para FSM son por ejemplo espesor, contenido de hielo, contenido de agua líquida, entre otras. Los parámetros son cantidades constantes que caracterizan a un sistema, algunos varían espacialmente en modelos distribuidos. En FSM se pueden configurar entre 8 y 14 parámetros, dependiendo de la complejidad. Las variables impulsoras (Tabla 1) son factores externos que influyen en el sistema.

Tabla 1.- Variables impulsoras que requiere FSM (Essery, 2015).

Variable	Unidades	Descripción
LW_i	$W m^{-2}$	Radiación entrante de onda larga
SW_i	$W m^{-2}$	Radiación entrante de onda corta
R_f	$Kg m^{-2} s^{-1}$	Tasa de precipitación
S_f	$Kg m^{-2} s^{-1}$	Tasa de nieve caída
P_s	Pa	Presión atmosférica
RH	%	Humedad relativa
T_a	K	Temperatura del aire
U_a	$M s^{-1}$	Velocidad del viento

Los modelos de base física requieren paso de tiempo muy cortos, preferentemente horario, para poder representar los

ciclos diarios de fusión-recongelamiento. Dada la escases de estaciones meteorológicas en alta montaña y la baja representatividad espacial de las mismas, se recurrió a datos de reanálisis para la obtención de las variables impulsoras. Se utilizó WFDE5 (Cucchi, et al. 2020) el cual fue generado utilizando la metodología WATCH Forcing Data – WFD – (Copernicus Climate Change Service, 2017) aplicada a variables meteorológicas de superficie del reanálisis ERA5. Tiene 0,5° de resolución espacial y resolución temporal horaria. Se realizó una comparación de los datos de temperatura y de precipitación anual entre WFDE5 y los registros de las estaciones meteorológicas Bardas Blancas y Los Mayines, luego se realizó una corrida del modelo FSM solamente para un punto correspondiente a la ubicación de la estación nivológica Valle Hermoso. Los resultado se exponen en la Figura 2. La necesidad de mejorar la resolución de las grillas WFDE5, nos condujo a aplicar un método de escalamiento “downscaling” para lo cual se utilizó MicroMet (Liston y Elder, 2006) el cual es un modelo meteorológico de complejidad media que produce información meteorológica en grillas de 30 metros a 1 km. El modelo utiliza relaciones entre las variables meteorológicas y las características del ambiente circundante, en especial la topografía. Luego se realizó una nueva corrida de FSM, pero en este caso se configuró el modelo para correr en forma grillada y dar como salida archivo NetCFD. Los resultados en la Figura 3 y 4. Las variables de salida que se modelaron en FSM fueron equivalente en agua de nieve (EAN) y porcentaje de cobertura de nieve (PCN). Para la validación de EAN se utilizaron los registros de Valle Hermoso y en el caso de PCN se utilizaron los productos MODIS. En este último paso se utilizó una matriz de confusión para la comparación con coeficiente Kappa y precisión general.

Resultados

En la Figura 2 se observa una comparación entre el EAN simulado con FSM respecto al registro de EAN de la colchoneta de nieve de Valle Hermoso. Se observa que en general el modelo tiende a producir menos nieve y a fusionarla más rápido. Excepto para los años 2004, 2007 y 2010 que hay buena correspondencia. El escalamiento de las forzantes meteorológicas mejoró la estimación de PCN. En la Figura 3 se observa una comparación de PCN con variables impulsoras a 0,5 o a 0,01 o (1 km) para un pixel centrado en la ubicación de la estación Valle Hermoso durante el año 2017. El escalamiento mejora notablemente la simulación al ser comparada con PCN de MODIS (puntos negros de la Figura 3).

La corrida del modelo en configuración grillada NetCDF fue validada con PCN de MODIS para un día (Figura 4 a) y b)). Se observa una precisión general de 69,28% y un Coeficiente Kappa de 0,36.

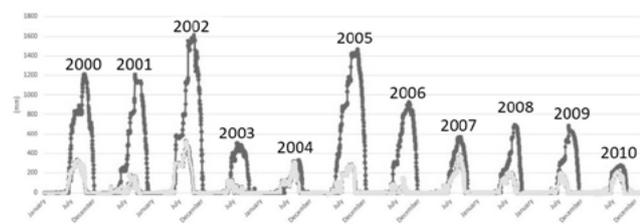


Figura 2.- Comparación EAN simulado (línea gris) y EAN medido (línea negra) entre 2000 y 2010 en Estación Valle Hermoso.

Conclusiones

Los resultados aquí mostrados reflejan la gran potencialidad de los modelos de base física para la estimación de parámetros en

alta montaña, en especial la nieve. Como ya se mencionara, aquí se presentan avances de la aplicación del modelo. Se está trabajando actualmente en calcular EAN a partir de técnicas DinSAR a fin de compararlo con las grillas NetCFD de la modelación FSM. También, se prevé realizar una corrección de sesgo de los datos meteorológicos WFDE5 con los registros de las estaciones, antes de realizar el escalamiento con el objetivo de reducir las incertidumbres.

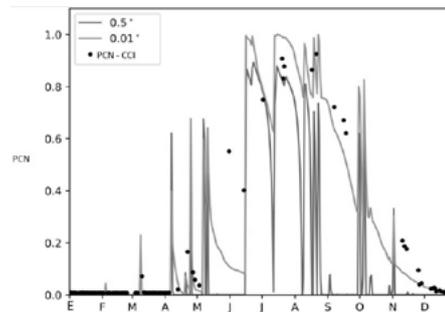


Figura 3.- Comparación EAN simulado y EAN medido entre 2000 y 2010 en Estación Valle Hermoso.

a) PCN - FSM (2016-07-01) b) PCN - MODIS (2016-07-01)



Figura 4 a) y b).- Comparación PCN simulado con FSM y producto de MODIS para una fecha. Nieve (blanco) para valores superiores de 0,5 de PCN. Sin nieve o nubes (negro).

Referencias Bibliográficas

- Boninsegna, J. y Llop, A. (2015). "Impactos y vulnerabilidad al cambio climático de los principales ríos de Mendoza y San Juan a partir de la evolución de los glaciares cordilleranos. La economía del cambio climático en la Argentina". CEPAL-Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 161.
- Copernicus Climate Change Service: ERA5 (2017). Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate, Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), available at: <http://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!home>
- Cucchi, M. Weedon, G. P. Amici, A. Bellouin, N. Lange, S. Muller Schmied, H. Hersbach, H. and Buontempo, C. (2020). "WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies". Earth System Science Data. Vol 12, No 3, pp. 2097-2120.
- Essery, R. (2015). "A factorial snowpack model (FSM 1.0)". Geoscientific Model Development, Vol 8, No 12, pp. 3867-3876
- Liston, G. E., y K. Elder. (2006) "A Meteorological Distribution System for High-Resolution Terrestrial Modeling (MicroMet)". J. Hydrometeor., Vol 7, No 2, pp. 217-234.
- Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C. y Araven, J. C. (2006). "Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region". J. Climate 19 (24).

AVANCES PRELIMINARES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO WRF-HYDRO EN UNA CUENCA DE MONTAÑA DE CÓRDOBA

Sanchez Juan^{1,2,3}, Suárez Matias^{1,2,3,5}, Alonso Facundo^{2,3,4}, Nesbitt Stephen⁶, Faustinelli, Pierina^{2,3}, Otero Rocio^{2,3}, Sandalio Lucia^{2,3,5}, Maturano Leandro^{2,3,5} y Rodríguez Andres^{1,2,3,4}

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.

² Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

Tel.: +54 351-4334446

³ Laboratorio de Hidráulica (LH), F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

Tel.: +54 351-4334446

⁴ Cátedra de Hidrología y Procesos Hidráulicos de la F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.

Tel.: +54 351 5353800 int. 14

⁵ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (F.A.M.A.F.). Av. Medina Allende s/n, Córdoba, Argentina.

Tel: +54 351 5353701

⁶ Department of Atmospheric Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign. 1301 West Green Street, Illinois, USA.

Tel: +217 244 3740

E-mail: juan.sanchez@mi.unc.edu.ar; matias.suarez@unc.edu.ar; falonso@unc.edu.ar; snesebitt@illinois.edu; pierifaustinelli@mi.unc.edu.ar; rocio.otero@mi.unc.edu.ar; elena.sandalio@mi.unc.edu.ar; leandromta.lm@gmail.com; androminplan@gmail.com

Introducción

Los eventos hidrometeorológicos extremos producen daños materiales significativos y eventuales pérdidas humanas, razón por la cual un Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico (SATH) resulta una herramienta de gestión indispensable. Los modelos de pronóstico hidrológico son un componente estratégico para el éxito de implementación del SATH. En particular, en este trabajo se presentan avances preliminares en la implementación/calibración del modelo hidrológico WRF-hydro en la cuenca del río Santa Rosa, ubicado en la provincia de Córdoba, empleando como forzante de precipitación los datos satelitales del algoritmo de estimación de precipitación IMERG-F de la constelación satelital GPM de la NASA.

Objetivos

El objetivo principal de esta modelación es lograr una primera aproximación en el arduo proceso de calibración de un modelo hidrológico distribuido tan complejo como WRF-Hydro. Esta primera etapa es fundamental para alcanzar la meta final que consiste en la implementación de dicho modelo como parte de un SATH para distintas cuencas de la provincia de Córdoba.

Área de estudio

El área de estudio es la cuenca del río Santa Rosa, ubicada aproximadamente a 80 kilómetros al sur-oeste de la ciudad de Córdoba. Cuenta con una superficie cercana a los 700 km² y es uno de los principales tributarios del embalse de Río Tercero. La misma posee estaciones meteorológicas y de nivel, cuyos registros permitirán abordar el proceso de calibración del modelo. Dentro de la cuenca se distinguen 4 cursos de agua naturales de interés turístico y con cauces bien definidos, que son: el río Tabaquillo, arroyo Socabonas, arroyo El Sauce y río Santa Rosa. Topográficamente la cuenca del río Santa Rosa es una cuenca de montaña con altitudes que varían entre 2754 y 534 metros sobre el nivel del mar. Véase **Figura 1**.

Modelo WRF-Hydro

El modelo WRF-Hydro (Gochis et. al, 2018) es un modelo hidrológico distribuido de código abierto desarrollado por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) de EE.UU, capaz de simular procesos hidrológicos terrestres así como también permite el acoplamiento a un sistema de modelado atmosférico como WRF. Es utilizado para un rango

amplio de aplicaciones operativas y de investigación que van desde la predicción de crecidas repentinas, evaluación del impacto en el sistema hidroclimático regional, pronóstico estacional de los recursos hídricos y estudios del acoplamiento del sistema tierra-atmósfera.

En este trabajo se utilizó la versión 5.2 del modelo en su opción desacoplada u offline (Hatheway, 2023). Para el modelado de esta cuenca, se utilizó un dominio de 50x38 km aproximadamente, que la comprende totalmente (como puede verse en la **Figura 1**), con una resolución de 100 m (500x380 puntos de grillas). Luego, se ejecutó el preprocesamiento de WRF-Hydro y se establecieron los cauces determinados por el modelo.

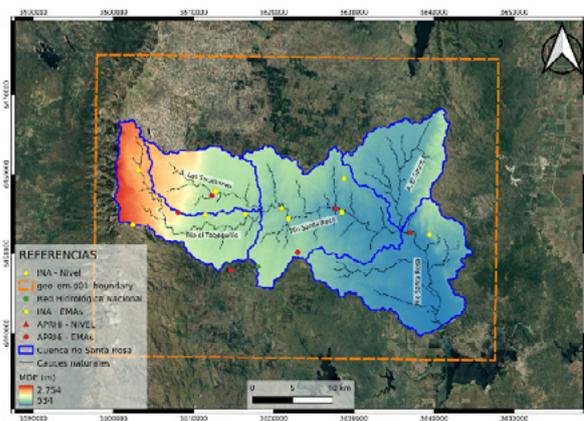


Figura 1.- Dominio de trabajo con cauces obtenidos en preprocesamiento, estaciones meteorológicas y modelo digital de elevaciones.

Algoritmo IMERG-Final

El algoritmo Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM - Final Run (Huffman et al, 2019) provee estimaciones de precipitación a partir de observaciones en el rango de las microondas tomadas por sensores pasivos a bordo de satélites de la constelación GPM. Estas observaciones son grilladas, interpoladas e intercalibradas a un producto de resolución espacial y temporal de 0.1°x0.1° y 30 min respectivamente. En este trabajo se re-grillaron y utilizaron las estimaciones de precipitación satelital IMERG-F al dominio de simulación de WRF-Hydro para forzar la ejecución del mismo.

Datos

La cuenca se encuentra monitoreada por un total de 15 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) con dependencias de distintos organismos (Figura 1): Administración Provincial de Recursos Hídricos (5), Instituto Nacional del Agua (9) y Red Hidrológica Nacional (1). Además, existen 3 estaciones de nivel: 2 del INA y 1 de APRHi. Esta última será utilizada para avanzar en la calibración del modelo.

Para llevar a cabo el proceso de calibración se modeló un evento ocurrido el día 25 de marzo de 2020, comenzando a las 00:00 hora local, en el que se registró un caudal pico de 422.62 m³/s a las 16:30 hora local del mismo día.

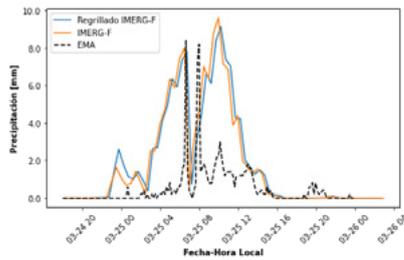


Figura 2.- Lluvia medida por la EMA "Río Santa Rosa(Cuenca Media)" y estimada por IMERG-F.

Metodología

Inicialmente, se descargaron datos de IMERG-F del evento a simular, y se definió el dominio de simulación de WRF-Hydro. A través del preprocesamiento de WRF-Hydro y de WRF se crearon los archivos necesarios para la ejecución del modelo. Los archivos del preprocesamiento de WRF-Hydro contienen información estática de la cuenca como la red de canales, mientras que los archivos del preprocesamiento de WRF contienen información del terreno (geogrid), como el uso del suelo. Por otra parte, los archivos del procesamiento de WRF contienen información en t=0s (instante inicial) de variables tales como la humedad y temperatura del suelo, temperatura, etc.

Posteriormente se re-grilló la precipitación de IMERG-F al dominio de simulación empleando un script propio, desarrollado en lenguaje Python, el cual toma como archivos de entrada los netCDF de la precipitación de IMERG-F y el geogrid. La salida es un archivo en formato netCDF con el nombre y estructura requerida para la correcta lectura del modelo. Véase Figura 3.

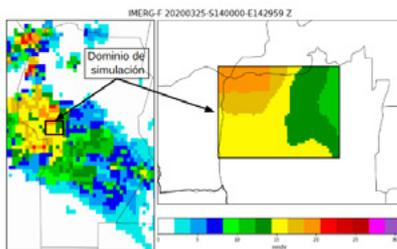


Figura 3.- A la izquierda: precipitación de IMERG-F. A la derecha: precipitación regrillada al dominio de simulación utilizando el algoritmo desarrollado.

Luego, se ejecuta WRF-Hydro utilizando como forzantes estos archivos. Dentro de los parámetros modificados, se realizaron pruebas cambiando los valores de (Tabla 1): OVROUGHTRFACT (factor de rugosidad del terreno) y RETFACT (factor de retención de agua en el suelo) que corresponden al preprocesamiento, RETKDT (variable de infiltración del suelo) y REFDC (conductividad hidráulica del suelo) pertenecientes a los parámetros generales (GENPARM)

y, por último, los valores pertenecientes a los parámetros de los cauces en CHANPARM.

Tabla 1.- Parámetros empleados en cada modelación.

Modelación	ORIGEN				
	Preprocesamiento		GENPARM	CHANPARM	
	Ovr	Retfact	Retkdt	Refdk	Manning
1	0,025	0,5	1	1,00E-05	0,07
2	0,025	0,5	2	1,00E-05	0,07
3	0,025	0,5	2	5,00E-06	0,07
4	0,025	0,5	2	5,00E-06	0,05
5	2	0,1	2	5,00E-06	0,07
6	1	1	2	5,00E-06	0,07
7	2	1	2	5,00E-06	0,07

Resultados y conclusiones

Luego de realizar las distintas modelaciones, se obtuvieron los hidrogramas asociados. Véase Figura 4.

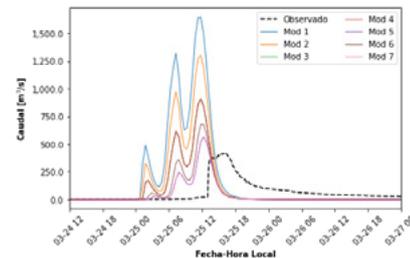


Figura 4.- Modelaciones WRF-hydro.

Se observa que el modelo es sensible globalmente a los parámetros modificados, sin poder todavía definir su grado de dependencia a cada uno. Cada hidrograma simulado presenta 3 picos, que se corresponde con los 3 periodos de lluvia estimada por IMERG-F, que presenta la tormenta en el tiempo considerado. Es decir que la cuenca parece integrar en un solo pico el estímulo multimodal de la lluvia, mostrando que resta un proceso de ajuste de los parámetros que gobiernan la traslación del flujo en la cuenca para simular este comportamiento. Con respecto a la magnitud del caudal máximo, el escenario 7, se aproxima con aceptable precisión, pero, nuevamente, se advierte la incapacidad del modelo de adaptarse a los tiempos de traslado, para el juego de parámetros elegido.

Se considera haber dado un avance preliminar en un proceso de calibración, que debe evolucionar principalmente en el componente de tiempos de transferencia interna de la cuenca, así como su verificación para otros eventos meteorológicos de distintas características.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Sujan Pal del Laboratorio Nacional Argonne (Illinois, USA) por facilitar el script para el regrillado satelital que fue de gran utilidad para el desarrollo del script utilizado en este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Gochis, D. J., Barlage, M., Dugger, A., FitzGerald, K., Karsten, L., McAllister, M., ... & Yu, W. (2018). The WRF-Hydro modeling system technical description. Version (5.1. 1).
- Hatheway, W. (2023). Weather Research & Forecasting Self Install Script (Version 1.3.0) [Computer software]
- Huffman, G.J., E.F. Stocker, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2023-03-09], 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/06

ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA: MODELO WRF VS SATÉLITE (GPM-NASA)

Sandalio L.^{2,3,4}, Paredes L.^{2,3}, Otero R.^{2,3}, Sanchez J. E.^{1,2,3}, Faustinelli, P.^{2,3},
Maturano L.^{2,3,4}, Busignani J.^{2,3} y Dimari F.^{2,3}

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología, F.C.E.F. y N. UNC. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.

² Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), F.C.E.F. y N. UNC. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.
Tel.: +54 351-4334446

³ Laboratorio de Hidráulica (LH), F.C.E.F. y N. UNC. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.
Tel.: +54 351-4334446

⁴ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (F.A.M.A.F.). Av. Medina Allende s/n, Córdoba, Argentina.
Tel.: +54 351 5353701

E-mail: elena.sandalio@mi.unc.edu.ar; geol.luciaparedes@gmail.com; rocio.otero@mi.unc.edu.ar; juan.sanchez@mi.unc.edu.ar;
pierifaustinelli@mi.unc.edu.ar; leandromta.lm@gmail.com; joaquin.busignani@gmail.com; franco.dimari@mi.unc.edu.ar.

Introducción

La provincia de Córdoba es caracterizada por la ocurrencia de eventos severos, que se desarrollan principalmente durante la temporada de verano y que se caracterizan por su gran variabilidad espacial y temporal (Patanella, 2019). La complejidad de estos eventos severos justifica la integración de distintos tipos de sensores (estaciones meteorológicas automáticas, imágenes satelitales y radares meteorológicos) para la obtención de datos y a su vez poder prever estas situaciones a través de pronósticos utilizando modelos numéricos de predicción del tiempo (NWP).

En este trabajo se presenta un análisis comparativo de dos eventos severos ocurridos en la provincia de Córdoba, durante el año 2023, desde distintos enfoques. Por un lado, la simulación de los eventos por parte del modelo de pronóstico WRF (Weather Research and Forecasting). Por otro lado, las mediciones provistas por la red provincial de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) y, finalmente, lo estimado por los satélites a través del algoritmo de estimación de precipitación IMERG-L (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM Late Run) de la constelación satelital GPM de la NASA. Para así poder estudiar cómo se comporta el modelo frente a este tipo de eventos y comparar la estimación por parte del satélite contra las observaciones en superficie.

PALABRAS CLAVE: Precipitación, IMERG-L, Modelo WRF

Metodología

Los eventos que se estudiaron fueron dos:

- Evento 1: 2023-03-13 22 UTC al 2023-03-14 17 UTC.

Este evento fue causado por el predominio de una masa de aire cálida y húmeda en la región, que estuvo asociada a una marcada inestabilidad en niveles medios. El evento se inició hacia el oeste de la provincia y en zona serrana. Algunas de las tormentas del sistema fueron ocasionalmente intensas con abundante caída de agua en cortos periodos de tiempo, ocurrencia de granizo, actividad eléctrica y fuertes ráfagas asociadas.

- Evento 2: 2023-03-23 01 UTC al 2023-03-24 01 UTC.

Consistió en un evento de inestabilidad causado por la persistencia de una masa de aire muy húmedo en la región. El sistema de tormentas ingresó a la provincia por el noroeste de la misma alrededor de las 01 UTC del 23 y se desplazó lentamente en dirección este-sureste. Las condiciones en la región tendieron a mejorar hacia las primeras horas del día 25.

Para realizar la comparación se utilizaron 5 estaciones de superficie, ubicadas en distintos puntos de la provincia de Córdoba (Ver Fig. 1) de forma tal de estudiar los distintos aspectos del evento en toda la provincia. Para el evento 1 se utilizó al noroeste, la estación de Cosquín (montaña) con una altitud de 771 msnm, al norte de la Ciudad de Córdoba se tomó

la estación de Pampa del Gato cuya altitud es de 664 msnm, al este de la provincia se tuvo en cuenta la estación de Laguna Larga a 309 msnm, y al sur de la Ciudad se estudiaron dos estaciones, Río Tercero (381 msnm) y Río Cuarto (429 msnm). Para el evento dos se utilizaron las mismas estaciones que en el evento 1, a excepción de la estación de Laguna Larga, la cual fue reemplazada por la estación de Capilla de los Remedios con una altura de 377 msnm.

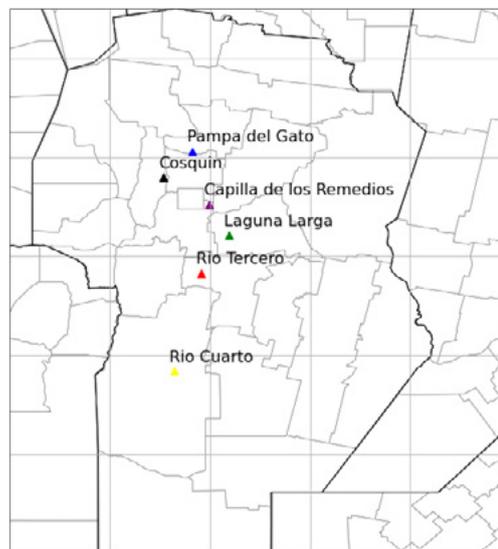


Figura 1.- Ubicación de las estaciones que se utilizaron como referencia.

Resultados

Se analizaron las precipitaciones medidas por cada estación, estimada por el algoritmo IMERG-L y pronosticada por el modelo WRF. Además, para tener en cuenta posibles errores temporales en la precipitación pronosticada, se tuvo en cuenta el acumulado 14 horas posterior al evento del 13 de marzo y 20 horas para el evento del 23 de marzo (WRF_4ft).

A continuación se muestran los acumulados medidos, estimados y pronosticados por las estaciones meteorológicas, IMERG-L y el modelo WRF respectivamente.

En la figura 2 se presenta la precipitación acumulada en toda la provincia de Córdoba, para el evento que ocurrió en la fecha del 13 de marzo del presente año.

Se puede apreciar que el modelo subestimó la precipitación en la zona sur mientras que sobreestimó la precipitación en la zona oeste de la provincia. Esto también se lo puede observar en la Figura 2, donde se tiene la comparación de los acumulados de ambos sensores (Estaciones Meteorológicas e IMERG-L) y el modelo numérico.

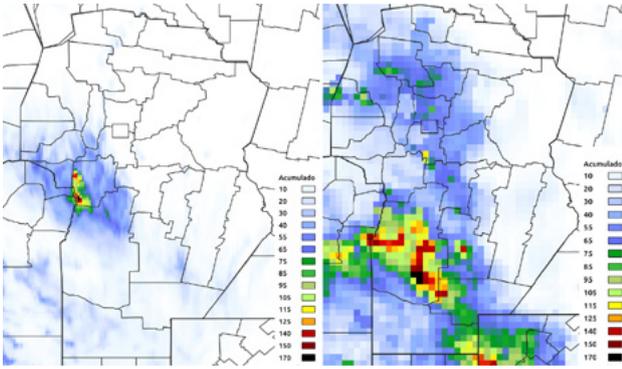


Figura 2.- Acumulado para el evento del 13-03-2023, pronosticado por el modelo WRF (Izquierda) y estimado por IMERG-L (Derecha).

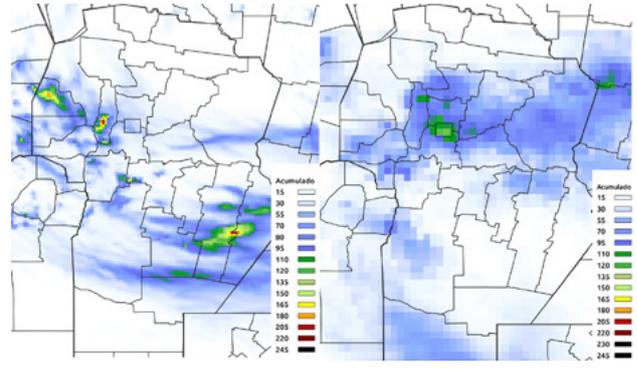


Figura 4.- Acumulado para el evento del 23-03-2023, pronosticado por el modelo WRF (Izquierda) y estimado por IMERG-L (Derecha).

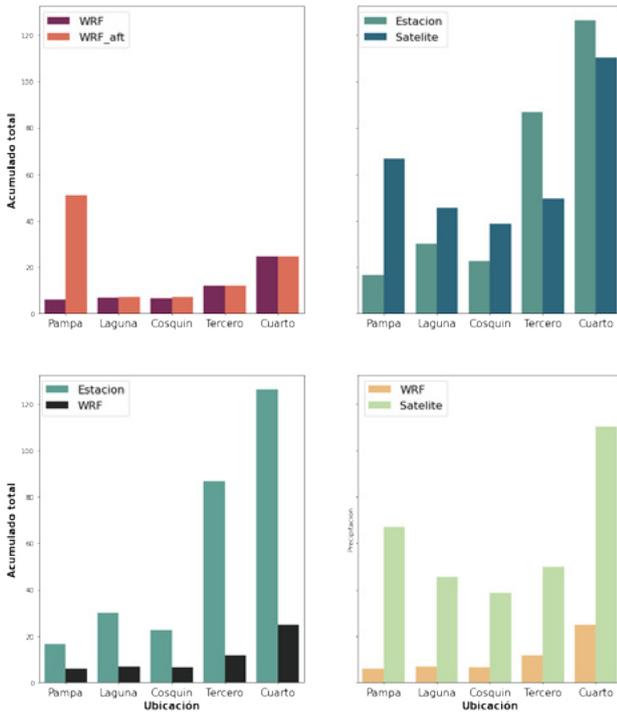


Figura 3.- Comparación de la precipitación acumulada para las distintas formas en que se obtuvo para el evento del 13-03-2023.

En la figura 3 se puede ver que el modelo presenta una diferencia de 40 mm de precipitación acumulada entre lo pronosticado durante el evento y lo pronosticado 15 horas después. La comparación de lo pronosticado por WRF y lo medido por la estación, da una diferencia de 10 a 90 mm y si comparamos el modelo contra el satélite tenemos una diferencia de 30 a 85 mm.

En la Figura 4 se muestra la distribución espacial de la precipitación para el evento del día 23 de marzo. Podemos observar nuevamente, una subestimación por parte del modelo en las zonas centro y noreste de la provincia, y una sobreestimación en las zonas noroeste y sureste.

La diferencia del acumulado pronosticado por el modelo durante y 15 hs después del evento varía entre 13 y 150 mm, como se puede observar en la Figura 5. Para este evento, el rendimiento del modelo muestra una mejora en la comparación contra las estaciones y el satélite.

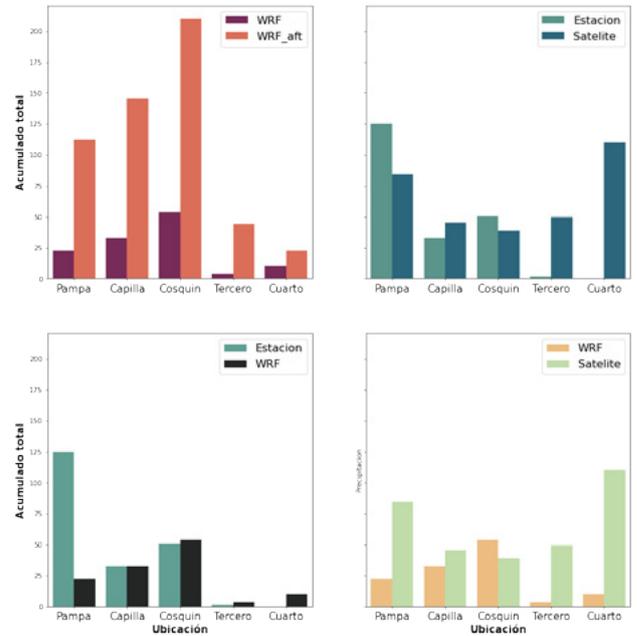


Figura 5.- Comparación de la precipitación acumulada para las distintas formas en que se obtuvo para el evento del 23-03-2023.

Conclusiones:

Del análisis realizado en el evento 1 se puede observar una tendencia a sobreestimar la precipitación por parte del satélite comparado con las estaciones, a excepción de la zona sur de la provincia donde se observa una subestimación de la misma. Esto se invierte en el análisis del evento 2, donde se observa una sobreestimación en la zona sur.

En cuanto a lo pronosticado por WRF, se puede observar una tendencia a la subestimación de la precipitación observada, lo cual refleja la dificultad para pronosticar numéricamente la cantidad y distribución espacial de la precipitación en este evento en particular.

Cómo análisis futuro se plantea el estudio de distintas parametrizaciones de microfísica del modelo, así como también el análisis y estudio de las condiciones iniciales del mismo como posibles factores que repercuten de manera positiva en el pronóstico de este tipo de eventos de precipitación.

Referencias:

- Luciano Vidal y Kristopher Bedka (2021). 'Detección automática de ascendentes intensas mediante imágenes satelitales y su relación con tiempo severo'.
- Melissa Natalia Patanella y Henrique Fuchs Bueno Repinaldo (2019). 'Análisis De Reportes De Ocurrencia De Tiempo Severo En Superficie Para El Centro-Norte De La Argentina Durante La Temporada'.

COMPORTAMIENTO ESTIMADO DEL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO FURNAS DESPUÉS DE UN PERÍODO DE RECESIÓN

Guilherme N. dos Santos¹, Rodrigo L. Manzione², Roberto E. Kirchheim¹

¹Serviço Geológico do Brasil – São Paulo/SP (Brasil) ²Universidade Estadual Paulista – FCTE/DGPLAN – Ourinhos/SP (Brasil)
guilherme.santos@sgb.gov.br; lilla.manzione@unesp.br; roberto.kirchheim@sgb.gov.br

Introducción

Las series históricas de datos que registran la evolución espacial y temporal de las aguas subterráneas son fundamentales para apoyar la toma de decisiones. Principalmente en el contexto mundial actual de cambio climático, donde una de las consecuencias es el cambio en el régimen de lluvias y, en consecuencia, en la recarga de los acuíferos libres.

Predecir el comportamiento de los niveles del agua en los acuíferos frente las previsiones que indican los estudios climáticos pueden ser una de las principales herramientas de gestión.

Usando el método PIRFCT (*Predefined Impulse Response Function*) a través del *software Menyanthes*, este estudio estimó el nivel estático de las aguas subterráneas durante un período de aproximadamente dos años en un pozo en el acuífero de Furnas en la región de Coxim, Mato Grosso do Sul – Brasil.

Que debido a una recesión prolongada se secó, pero el medidor del agua automático, instalado a una profundidad de 13 m, siguió siendo observado periódicamente.

Lo que permitió afirmar que la simulación realizada por el *software* era consistente con la realidad, abriendo la posibilidad de nuevos estudios para validar la metodología predictiva.

Meta

El objetivo de este trabajo es proponer un método para estimar los niveles freáticos considerando escenarios climáticos potencialmente problemáticos desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos subterráneos, utilizando un modelo basado en series temporales de monitoreo hidro(geo)climático.

Área de Estudio

El pozo utilizado como fuente de la serie de datos está ubicado en la porción aflorante/libre del acuífero de Furnas (Figura.1), en el norte del Estado de Mato Grosso do Sul – MS (Brasil).

El acuífero Furnas comprende la formación del mismo nombre, ubicada en la base de la secuencia estratigráfica de la cuenca del Paraná. Depositado a lo largo del período devónico (415 Ma a 357 Ma), este reservorio está formado por areniscas blanquecinas, feldespáticas y/o caolinitas, de granulación media a gruesa. Es un acuífero regional, clasificado como poroso sedimentario, confinado en gran parte por la Fm. Ponta Grossa, siendo libre sólo en las estrechas áreas de recarga (ANA, 2005).

Contexto Climático

Los datos del programa de observación de la Tierra *Copernicus* (2020) de la Unión Europea, apuntan a un aumento global sistemático en los registros anómalos de temperatura. Según la *Global Annual to Decadal Climate Update* de 2022 de la *WMO - World Meteorological Organization*, hasta 2026 la temperatura media mundial tiene 48% de posibilidades de superar los niveles preindustriales en 1,5 °C, posiblemente alcanzando los 1,7 °C.

Ya que existe 93% de probabilidad de hasta 2026 sea registrado el año más caluroso de la historia. Con respecto a la precipitación, la *Global Annual to Decadal Climate Update* de 2022 apunta a una reducción de la precipitación durante los períodos lluviosos en las regiones subtropicales entre los años 2022/23 y 2026/27.

Usando un modelo climático del Plioceno, donde las temperaturas promediaron 2 a 3 °C por encima de los valores actuales, Pontes (2022) propone que el desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), provocada por el aumento de la temperatura global, a partir de mediados de este siglo, puede que resulte en una disminución de hasta un 30% en los volúmenes de precipitación en el hemisferio sur.

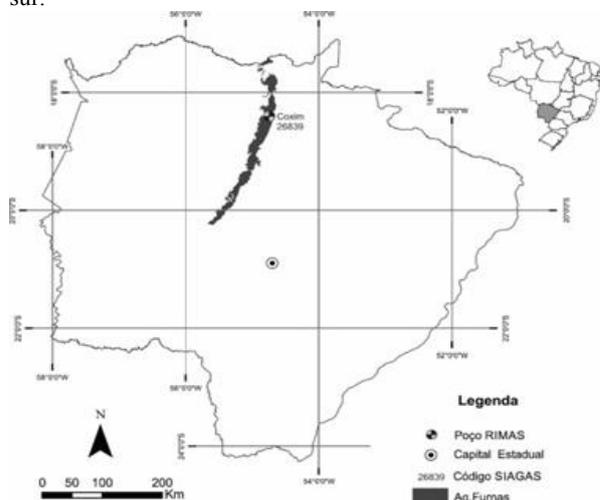


Figura 1. Ubicación del pozo de monitoreo en el acuífero de Furnas.

Historia Evolutiva del Nivel del Agua

Debido a las dificultades encontradas durante la perforación para instalar el pozo, en gran parte debido al material de caolinita poco consolidado encontrado en el sitio, el pozo terminó con una profundidad útil de solo 20 m. En ese momento (2010), el nivel estático observado rondaba los 10m de profundidad y entre 2011 y 2018 se observó una amplitud de 4 m aproximadamente, donde el nivel máximo registrado ha sido de 12,74 m en enero de 2014.

Desde principios de 2018 se registró una fuerte recesión con un pequeño momento de recarga (aumento del nivel del agua) a finales de 2019, pronto seguida por otro descenso. Hasta que en septiembre de 2020 el nivel del agua estuvo por debajo de la profundidad de instalación del sensor (13 m). Sin embargo, el sensor quedó instalado para que, si hubiera una subida de nivel, fuera registrado el momento de la recarga. Lo cual terminó por no suceder. No obstante, se puede afirmar que entre septiembre de 2020 y agosto de 2022 el nivel del agua en el sitio no superó los 13,5 m.

Materiales y Métodos

La dinámica del comportamiento de las aguas subterráneas se puede explicar en diferentes formas de series temporales. La función que presenta resultados más satisfactorios y la más

utilizada es el modelo de función de transferencia de ruido (FTR), donde la principal característica es la posibilidad de relacionar los datos del nivel freático con otras variables climáticas. Por ejemplo, la precipitación (Box y Jenkins, 1976). Esta metodología tiene como objetivo convertir variables o series de datos observados (precipitación, evapotranspiración, caudal, etc.) en series de salida o variables de respuesta.

Para crear los modelos y simulación predictiva del comportamiento del nivel freático se utilizó el *software Menyanthes* (KWR *Waterware*) junto con la serie histórica del nivel del agua y la precipitación (lluvia) local. El *software* utiliza el modelo PIRFICT (*Predefined Impulse Response Function*), diseñado para considerar a diferentes tipos de estrés, lo que favorece la entrada de un gran volumen de datos y permite la incorporación del comportamiento físico (Von Asmuth et al., 2002).

El modelo PIRFICT, fue desarrollado para tratar con series de entrada y salida que tienen diferentes frecuencias de observaciones e intervalos de tiempo irregulares. En este modelo, los pulsos de datos de entrada se convierten en un tiempo continuo que, alternativamente, representa modelos FTR que tienen intervalos de tiempo discretos, por lo tanto, los coeficientes de esta función no están relacionados con la frecuencia de observación (Manziona et al., 2010).

La principal ventaja del modelo PIRFICT, según Manziona (2010), es la capacidad de manejar cualquier frecuencia de datos que esté siendo continuada en el tiempo. De esta manera, la frecuencia de los datos de entrada no influye en los valores de la serie de salida.

Creación y Aplicación del Modelo Predictivo

Junto con el monitoreo del nivel freático, entre diciembre de 2010 y agosto de 2022, se recolectaron datos de lluvia de la estación hidrometeorológica más cercana que sirvieron como serie explicativa para el modelo de transferencia de ruido PIRFICT.

Para crear el modelo que entendió la relación entre la variable climática (lluvia) y los niveles estáticos, se utilizó el *software Menyanthes* (KWR *Waterware*) y mediciones de niveles de agua subterránea de 3.436 días.

El modelo se generó utilizando datos de nivel de agua y precipitación diarios (Figura 2), con ajustes manuales de tendencias lineales con base en esto, se ha realizado una simulación solamente con datos de lluvia para el período de septiembre de 2020 a agosto de 2022 (Figura 3), cuando el pozo estaba seco.

Resultados

El modelo generado presentó un grado de ajuste (EVP) de 99,80%, mientras que el error cuadrático medio (RMSE), que representa las diferencias entre los valores predichos en el modelo y los valores observados, fue de 0,051 m.

Para el período simulado, el software calculó 3 valores dentro de un intervalo de confianza del 95% con relación al valor central, que es el promedio entre los valores inferior y superior.

Un error de solo 0,05 m considerando que el sensor instalado a 13,5 m no registró ninguna variación en el período.

En este caso, los valores considerados más cercanos al escenario real fueron los valores del límite inferior, que simuló el nivel más alto para el período a 13,45 m en mayo de 2022.

Conclusiones

La metodología propuesta demostró ser capaz de estimar el

comportamiento del nivel freático de un acuífero no confinado en función de la precipitación de manera consistente con las expectativas, validando el uso del modelo generado por el *software Menyanthes* para el análisis predictivo.

Los valores simulados, considerados predictivos, presentaron el mismo error del modelo que fue construido y ajustado a través de los datos observados. Esto es sumamente satisfactorio, ya que además de ser una pequeña diferencia en valores absolutos (0,05 m), sugiere que el nivel de precisión de los datos simulados está dentro del mismo intervalo de confianza del 99,8% que el modelo.

Sin embargo, cabe señalar que para lograr estos resultados, es indispensable que exista una serie de datos observados relativamente larga en relación al período a simular, en este caso, aproximadamente seis veces su tamaño.

Esto demuestra la importancia de las redes de monitoreo de aguas subterráneas que, combinadas con herramientas de modelaje estadístico como *Menyanthes*, pueden servir para apoyar y guiar la toma de decisiones por parte de los órganos de gestión.

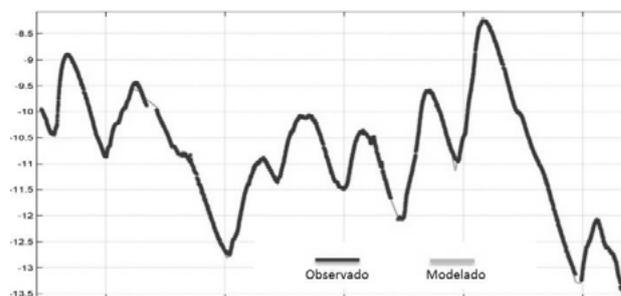


Figura 2. Modelo de comportamiento del nivel de Dic/10 a Sep/20.

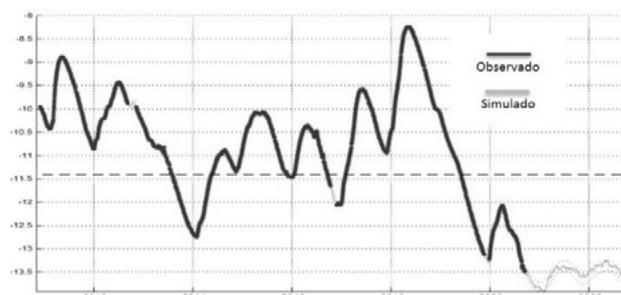


Figura 3. Simulación para el período del Set/20 a Ago/22.

Referencias Bibliográficas

- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2005). Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Cadernos de Recursos Hídricos; Brasília.
- Box, G. E. P.; Jenkins, G. M. (2002). Time series analysis: forecasting and control. 2.ed. San Francisco: Holden-Day, 1976. Computer Systems (KBCS). p 575.
- Copernicus – European Union's earth observation (2020). Surface air temperature for September 2020, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-september-2020>
- Manziona, R. L.; Marcuzzo, F. F. N; Wendland, E. (2010). Modelagem de níveis freáticos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani sob diferentes usos do solo.
- Pontes, G. M. (2022). Ocean-Atmosphere interactions in the mid-Pliocene global warming: Lessons for the 21st century climate. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Von Asmuth, J. R.; Bierkens, M. F. P.; Maas, C. (2002) Transfer function noise modelling in continuous time using predefined impulse response functions. *Water Resources Research*, v. 38; n.12, pp. 23.1-23.12.
- WMO - World Meteorological Organization (2022). WMO Global Annual to Decadal Climate Update, pp. 2

EFECTO DE LA SEQUÍA EN LA DINÁMICA DE LAS LAGUNAS EN CORRIENTES

Griselda I. Saucedo¹, Ditmar B. Kurtz¹, Félix I. Contreras² y María Fabiana Navarro Rau³

¹INTA EEA Corrientes Recursos Naturales, ²CECOAL (CONICET-UNNE), ³INTA CIRN Instituto de Suelos, Argentina
sucedo.griselda@inta.gob.ar, kurtz.ditmar@inta.gob.ar, fexigco@gmail.com, navarroderau.maria@inta.gob.ar

Introducción

Las lomadas y planicies arenosas corresponden al abanico aluvial que se formó a partir del río Paraná. Esta región abarca el noroeste y suroeste de la provincia de Corrientes, distribuyéndose a lo largo de 15 departamentos. Se caracteriza por la presencia de 38.926 lagunas someras, con una densidad de 3 lagunas por km², cubren el 20% de la superficie de la región y representan el 3% de la superficie total de la provincia (Contreras, 2016).

Las lagunas son de gran importancia ecológica ya que sirven como hábitat natural para diversas especies de flora y fauna, tanto autóctonas como migratorias. Además, también tienen un papel social, como reservorio de agua para uso doméstico, y productivo, ya que funcionan como aguadas naturales para el ganado. Esto último, es sumamente importante porque esta región concentra el 38% (SENASA 2022) del stock bovino provincial.

La dinámica espacio-temporal de estos cuerpos de agua está fuertemente vinculada a la variabilidad climática. La sucesión de períodos de sequía y excesos hídricos impactan en la disponibilidad de agua y afecta a las actividades económicas de la región.

Los estudios realizados de las lagunas de esta región, son relacionados a su morfogénesis (Contreras, 2018), morfometría (Contreras, 2016), calidad de agua y eutrofización (Martínez, 2021), así como también a la expansión urbana sobre lagunas periurbanas (Contreras, 2015). Sin embargo, son escasos los antecedentes referidos a su dinámica interanual, tanto en cantidad y superficie con agua.

Frente a la variabilidad climática y al incremento de eventos extremos, particularmente sequías, nos proponemos evaluar, para el período 2019-2023, su efecto en las lagunas y su posible impacto en el stock ganadero.

Metodología

En una primera instancia, se empleó la plataforma Google Earth Engine (Gorelick, 2017) para realizar el procesamiento digital de imágenes. Para detectar con precisión las lagunas con agua, se utilizó una capa vectorial de cubetas digitalizadas por Contreras (2016). Luego, se emplearon imágenes Sentinel-2 MSI correspondientes al período comprendido entre 2019 y 2023. La extracción de los píxeles de agua, se realizó mediante el Índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificado (MNDWI), el cual se define como:

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad [1]$$

donde, GREEN corresponde a la banda del verde y SWIR a la banda del infrarrojo de onda corta (Xu, 2006). En el caso de Sentinel-2, resulta de dividir las reflectancias de las bandas 3 y 11 entre la suma de las mismas. Los resultados del MNDWI oscilan entre -1 a 1, indicando presencia de agua los valores positivos.

En una segunda instancia, las imágenes (formato ráster) se transformaron a formato vectorial y se realizaron los cálculos de superficie con agua en lagunas y el conteo de la cantidad de lagunas con agua.

Por último, se realizaron regresiones lineales simples para analizar las relaciones entre la reducción de cantidad de lagunas (2019-2023), así como la reducción de la superficie con agua en las lagunas y el stock bovino, a nivel departamental.

Resultados

Análisis a nivel regional.

Durante el año 2020, la precipitación disminuyó un 43% con respecto al año 2019, considerado un año de precipitación normal. En el 2021 se produjo un aumento del 32%, sin embargo, para el año 2022 se observó una disminución del 55%. Estas escasas precipitaciones tuvieron un efecto directo en la cantidad de lagunas con agua. En 2020 se registró una reducción del 67% y en 2021 del 75% con respecto a 2019. En 2022 la reducción fue del 80%, pasando a ser del 92% en 2023 (Tabla 1).

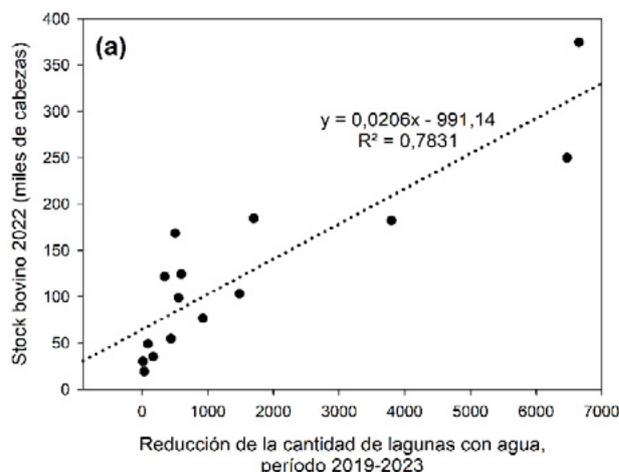
En cuanto a la superficie con agua, se registró una reducción del 54% en 2020 y del 64% en 2021 con respecto a 2019, seguido de una disminución del 69% en 2022 y del 82% en 2023 (Tabla 1).

Tabla 1.- Datos

Año	2019	2020	2021	2022	2023
Cantidad de lagunas con agua	25.850	8.656	6.499	5.080	2.074
Superficie con agua [ha]	136.039	62.464	48.464	42.789	24.805

Análisis a nivel departamental.

El coeficiente de determinación entre el stock bovino y la retracción de cantidad de lagunas obtenido fue del 78% (Figura 1.a) y del 80% para la retracción de la superficie con agua (Figura 1.b). En ambos casos, significa que los departamentos que registraron una mayor disminución en cantidad y superficie con agua, también son los que presentaban mayor stock bovino en 2022.



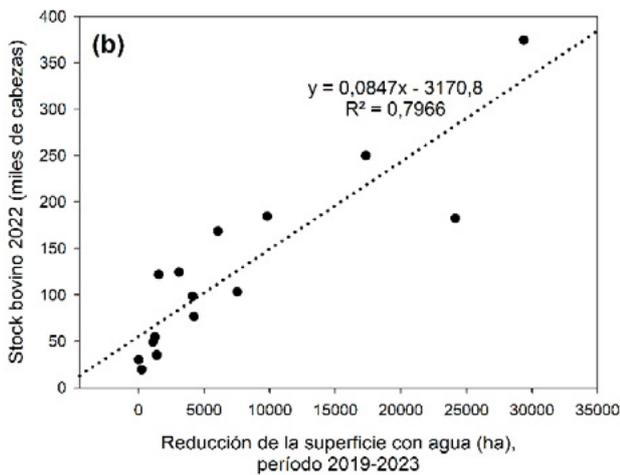


Figura 1.- Regresiones lineales simples entre stock bovino y (a) reducción de cantidad de lagunas con agua y (b) reducción de superficie con agua.

Los departamentos que concentran el mayor stock bovino en la región son, Goya y Esquina, con el 20% y el 13%, respectivamente (Figura 2). A su vez, ambos departamentos en el año 2019, presentaban el 26% de la cantidad total de lagunas presentes en la región. Sin embargo, al 2023 solo el 1% permaneció con agua (Figura 2.a). Con respecto, a la superficie con agua, Goya presentó una disminución del 22% respecto del 2019 y Esquina del 13% (Figura 2.b).

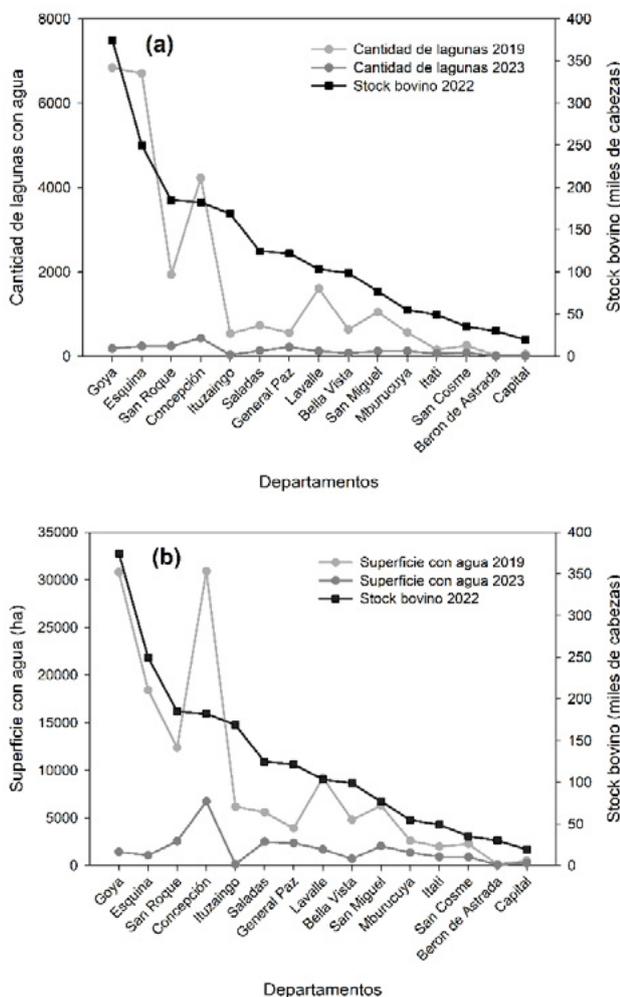


Figura 2.- Stock bovino 2022 y (a) cantidad de lagunas con agua y (b) superficie con agua, años 2019 y 2023.

Discusión y conclusiones

La sequía ha afectado gravemente la disponibilidad de agua para la ganadería en la región. En los últimos años, la cantidad de lluvia ha disminuido notablemente, lo que ha llevado a una disminución del 92% en el número de lagunas. Esta reducción en la cantidad de lagunas significa menos fuentes de agua para el ganado, lo que aumenta la competencia entre los animales por el acceso al agua. Además, el agua disponible suele ser de peor calidad, lo que puede afectar la salud y la productividad del ganado. Asimismo, los animales que no tienen suficiente agua para beber pueden sufrir de deshidratación y debilidad, lo que a su vez aumenta la mortalidad.

Para abordar este problema, los productores necesitan implementar medidas para garantizar el acceso al agua para los animales.

Referencias

- Contreras, F. I.** (2015). "El impacto ambiental del crecimiento espacial de la ciudad de Corrientes sobre lagunas periurbanas". *Boletín Geográfico*, Vol. 36, No. 37, Jun 2015, pp. 29-42.
- Contreras, F. I.** (2016). "Las lagunas y sus dinámicas geomorfológicas en la transformación de los paisajes de lomadas arenosas de la provincia de Corrientes (Argentina)". [Tesis Doctoral. Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste]. Repositorio Institucional UNNE: <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/51153>
- Contreras, F. I. and A. R. Paira.** (2016). "Aplicación del Índice de Cambio a las variaciones morfométricas de las lagunas de Lomadas Arenosas. El caso de Bella Vista (Corrientes, Argentina)". *Revista de Geografía*, Vol. 21, No. 21, Sep 2016, pp. 31-38.
- Contreras, F. I. and S. A. Contreras.** (2018). "Contribución al conocimiento sobre el origen de las lagunas de la Región de Lomadas Arenosas del Mega Abanico Aluvial del Río Paraná". *Anuario do Instituto de Geociencias – UFRJ*, Vol. 41, No 1, Ene 2018, pp. 66-79.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore.** (2017). "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 202, Dec 2017, pp. 18-27.
- Martínez, S. E., M.N. Baruzzo, H. Smichowski, M.E. Forastier and F.I. Contreras.** (2021). "El efecto de las precipitaciones en las características limnológicas en lagunas periurbanas (Bella Vista, Corrientes, año 2019)". *Senderos*, Vol.1, No. 2, Ene 2021, pp. 122-135.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria.** (2022). Estadísticas. <https://www.argentina.gov.ar/senasa>
- Xu, H.** (2006). "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 14, Jan 2006, pp. 3025 -3033.

PREVENIR: PROYECTO DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES URBANAS

Celeste Saulo¹, Takemasa Miyoshi², Arata Amemiya², Carlos Catalini³, Daniela D'Amen¹, Maria Eugenia Dillon^{1,7}, Paula Etala¹, Yanina García Skabar¹, Carlos Marcelo García⁴, Matías Mellaned¹, Leandro Kazimierski³, Sebastián López⁴, Shigenori Otsuka², Manuel Pulido⁵, Mariano Re³, Federico Robledo⁶, Juan Ruiz⁶, Paola Salio⁶, Luciano Vidal¹, Elian Wolfram¹

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina

² RIKEN Center for Computational Science (R-CCS), Japón

³ Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

⁴ IDIT (CONICET-U. Nacional de Córdoba), Argentina

⁵ IMIT (CONICET-U. Nacional del Nordeste), Argentina

⁶ CIMA (CONICET - U. de Buenos Aires), Argentina

⁷ CONICET

E-mail: csaulo@smn.gob.ar

Motivación

Las inundaciones urbanas son una de las mayores amenazas asociadas con la precipitación intensa en todo el mundo, ya que más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas (Grimmond y otros, 2019). Los países en desarrollo son particularmente vulnerables debido a su frágil infraestructura y economía. En particular, en Argentina, las grandes ciudades han experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas. Este crecimiento suele traer aparejado problemas de infraestructura, como la insuficiencia de los sistemas de drenaje, aumentando así el nivel de vulnerabilidad de la población (ej. Ortiz y otros 2017).

En las áreas urbanas más grandes y densamente pobladas de Argentina, las inundaciones son un fenómeno frecuente con varios eventos que ocurren cada año y miles de personas directamente afectadas, particularmente aquellas que viven en barrios más vulnerables. Además, estudios recientes indican que la frecuencia de eventos de precipitación intensa en cortos períodos de tiempo que pueden desencadenar inundaciones urbanas ha ido en aumento en la región debido al cambio climático (ej., Reboita y otros. 2022).

Una de las herramientas más importantes para mitigar el impacto de las inundaciones urbanas repentinas son los sistemas de alerta efectivo y oportuno para que los tomadores de decisiones y la población puedan ser conscientes de los riesgos y tomar acciones anticipadas para protegerse a sí mismos y a sus bienes.

El desarrollo de un sistema de alerta temprana para inundaciones urbanas repentinas tiene aparejado múltiples desafíos que van desde el despliegue de sistemas de observación y monitoreo, el desarrollo de tecnologías de procesamiento de datos y simulaciones, hasta el desarrollo de estrategias eficientes para la comunicación de la información y el trabajo con las comunidades más vulnerables, para la concientización y la toma de decisiones apropiadas frente a la ocurrencia de eventos de inundaciones urbanas.

El proyecto PREVENIR (Pronóstico y Alerta de Eventos de Inundaciones Urbanas Repentinas) tiene como principal objetivo avanzar en el desarrollo de un sistema de alerta temprana para la ocurrencia de inundaciones urbanas por precipitaciones intensas. PREVENIR propone un abordaje integral de la problemática relacionada con el pronóstico hidrometeorológico buscando implementar y desarrollar tecnologías de última generación y al mismo tiempo abordando la problemática social vinculada con la ocurrencia de las inundaciones, trabajando estrechamente con las comunidades más vulnerables.

Descripción del proyecto

PREVENIR (prevenir.smn.gob.ar) es un proyecto de cooperación internacional entre Argentina y Japón (2022-2027). El proyecto está financiado por el programa "Asociación para la Investigación Científica y Tecnológica para un Desarrollo Sostenible" (SATREPS por sus siglas en inglés), por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón (JST) con una suma total de aproximadamente 6.5 millones de USD. El proyecto se focaliza en el desarrollo de un sistema de alerta temprana de inundaciones urbanas repentinas sobre dos cuencas piloto: la de los arroyos Sarandí y Santo Domingo ubicada en la Provincia de Buenos Aires y la del río Suquía en la Provincia de Córdoba. PREVENIR cuenta con la participación de las siguientes instituciones japonesas: el Centro de Ciencias de la Computación de RIKEN, la Universidad de Osaka, el Centro Internacional para la Gestión de Riesgos y Amenazas relacionadas con el Agua (ICHARM) y la Agencia Meteorológica de Japón (JMA). Dichas instituciones trabajan en estrecha colaboración con sus contrapartes argentinas: el Servicio Meteorológico Nacional, el Instituto Nacional del Agua, el CONICET, e instituciones de los gobiernos provinciales de Córdoba y Buenos Aires, con el apoyo del Ministerio de Relaciones Exteriores de Argentina. El sistema propuesto será el primero de su tipo en Argentina y brindará herramientas útiles y recomendaciones para la implementación de sistemas similares en otras partes del mundo.

La estructura del sistema de información y alerta temprana para inundaciones urbanas se resume en la Figura 1. El sistema se funda en una red de monitoreo hidrometeorológico. Estos datos serán la base para un sistema de pronóstico acoplado para cada cuenca y a muy corto plazo (0-36 hs) de variables hidrometeorológicas. La información generada por dicho sistema junto con las alertas producidas serán difundidas a través de una plataforma web y contenido diseñado para dispositivos móviles. A su vez, el proyecto contempla el trabajo directo con las comunidades más vulnerables para generar conciencia sobre la problemática de las inundaciones y promover el uso de herramientas de alerta temprana y la toma de decisiones informadas frente a la ocurrencia de los eventos. Un aspecto importante es que, el proyecto prevé la formación de recursos humanos en áreas estratégicas para el sostenimiento y desarrollo de sistemas de alerta temprana.

Los roles y actividades específicas de cada grupo de trabajo en el desarrollo del sistema de alerta temprana son las siguientes:

WP1 - Mejores redes de observación y más integración de la observación: la obtención de datos de calidad y fiables en tiempo real es fundamental para realizar pronósticos precisos.

PREVENIR trabaja para la integración de datos de redes existentes como por ejemplo el Sistema Nacional de Radares Meteorológicos, de Elía y otros 2017, información satelital, las redes operacionales del INA y del SMN, redes de terceros, entre otros. El proyecto además busca ampliar las capacidades de observación actuales dentro de las dos cuencas.

WP2 - Estimación cuantitativa de la precipitación: el monitoreo de la precipitación en tiempo real y con la mayor frecuencia temporal y resolución espacial posible es esencial para anticipar inundaciones asociadas con eventos de lluvia intensa. En este proyecto se desarrollarán y evaluarán nuevos algoritmos de estimación de precipitaciones integrando datos de radares y satélites meteorológicos.

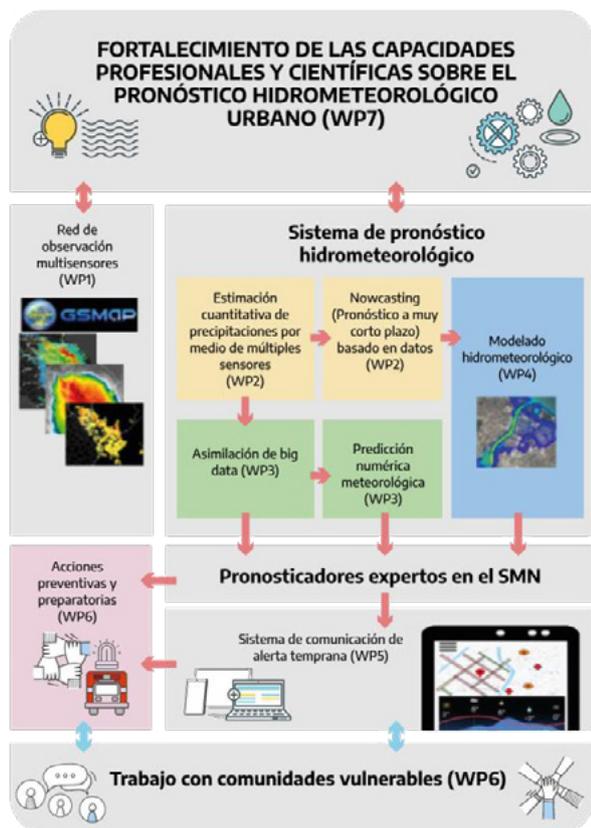


Figura 1: Esquema que resume las herramientas que componen el sistema de alerta propuesta y el rol de los diferentes grupos de trabajo en la implementación y desarrollo de dichas herramientas.

WP3 y 4 - Pronósticos hidrometeorológicos a corto plazo: los pronósticos a corto plazo de variables clave como la tasa de precipitación y los caudales en diferentes puntos de una cuenca son de suma importancia para el pronóstico de inundaciones repentinas. PREVENIR trabaja para el desarrollo de técnicas de vanguardia en extrapolación de datos (nowcasting) así como predicción meteorológica e hidrológica numérica de alta resolución y asimilación de datos para diseñar un sistema de predicción hidrometeorológica a corto plazo.

WP5 - Comunicación eficiente de pronósticos y alertas: comunicar pronósticos y alertas de manera clara es esencial para una toma de decisiones eficiente y acciones de prevención efectivas. En PREVENIR, las herramientas de difusión de pronósticos y alertas, como un portal web y contenidos específicos para teléfonos móviles, se diseñan conjuntamente con los administradores de emergencias y las oficinas de riesgo para garantizar un uso efectivo de la información en tiempo real proporcionada por el sistema de pronóstico.

WP6 - Conciencia ciudadana: el conocimiento de los riesgos existentes y las posibles acciones de mitigación es fundamental para reducir el impacto de las inundaciones repentinas. Este grupo de trabajo promueve actividades con diferentes niveles educativos y organizaciones sociales para sensibilizar a la sociedad con un enfoque particular en las comunidades más vulnerables que están altamente expuestas a los riesgos de inundación.

WP7 - Creación de capacidad: la formación de la próxima generación de investigadores, técnicos y pronosticadores es fundamental para la sostenibilidad y la expansión futura de los sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. PREVENIR promueve el desarrollo de capacidades en diferentes niveles educativos (técnico y universitario) en asociación con instituciones académicas y el intercambio de expertos entre Japón y Argentina.

Actividades y resultados preliminares

Durante el primer año de PREVENIR, se avanzó en la aplicación de controles de calidad para los datos de radar y en su uso para proveer estimaciones de precipitación más precisas. Se implementó y evaluó un sistema de previsión meteorológica a muy corto plazo basado en la asimilación de datos de radar y pronósticos por ensambles. Los resultados preliminares son muy alentadores respecto al impacto de los datos de radar en la previsión de la precipitación a corto plazo. Para la mejora del modelado hidrológico se implementó y evaluó el modelo numérico Rainfall, Runoff Inundation desarrollado por ICHARM en la cuenca del río Suquia. En base a este modelo se pudieron simular exitosamente eventos de crecientes en dicha cuenca.

Con respecto a la difusión de los alertas se realizaron reuniones y talleres con tomadores de decisión y defensas civiles para recabar sus necesidades y difundir las actividades del proyecto. También se realizaron actividades de difusión con escuelas en colaboración con el proyecto Matteo. Se comenzó a trabajar en un primer prototipo del portal web. Por otra parte, se comenzó la articulación con autoridades educativas, para la generación de material de capacitación docente.

Durante este primer año se han llevado adelante intercambios de estudiantes e investigadores entre Japón y Argentina, potenciando las actividades de desarrollo conjunto de nuevas tecnologías. La primera reunión de lanzamiento anual del proyecto tuvo lugar en junio de 2022 en Buenos Aires y contó con la visita de autoridades de JICA, de JST e investigadores de todas las instituciones participantes.

Agradecimientos

PREVENIR es un proyecto del programa SATREPS (<https://www.jst.go.jp/global/english/>) financiado por la Japan International Cooperation Agency y Japan Science and Technology Agency.

Referencias Bibliográficas

- de Elía R. y coautores (2017): "La red Argentina de radares meteorológicos de Argentina." Nota Técnica SMN 39.
- Grimmond S. y coautores (2019): "Guidance on Integrated Urban Hydrometeorological, Climate and Environmental Services Vol I: Concept and Methodology" WMO Tech Note 1234.
- Ortiz, N., y coautores (2017) "Caracterización del impacto asociado con diferentes tipos de inundación en cuencas urbanas" CONAGUA, XXVI, Córdoba, Argentina.
- Reboita, M.S. y coautores (2022) "Future Projections of Extreme Precipitation Climate Indices over South America Based on CORDEX-CORE Multimodel Ensemble". *Atmosphere*, 13, 1463. <https://doi.org/10.3390/atmos13091463>.

DETERMINACIÓN DE REDES DE DRENAJES MEDIANTE SENSORES REMOTOS

Seco, J.L.¹, Ibarra, F.¹, Micou, A.P.¹ y Chiarito E.¹

¹Instituto Geográfico Nacional. Argentina.
jseco@ign.gov.ar; fibarra@ign.gov.ar; pmicou@ign.gov.ar; echiarito@igna.gov.ar

Introducción

El Instituto Geográfico Nacional es el organismo líder en la producción y difusión de conocimiento e información geográfica de la República Argentina, responsable de elaborar la representación oficial del territorio nacional y elaborar marcos normativos para su realización. En este marco, se ha iniciado un proyecto institucional que tiene como objetivo normalizar la representación espacial de las redes de drenaje a nivel nacional. Para ello, se pretenden incorporar y desarrollar metodologías novedosas que están siendo evaluadas en una zona piloto.

El área de estudio se encuentra en la provincia de Córdoba, ubicada en la zona del Lago San Roque, localidad de Villa Carlos Paz. Presenta un relieve montañoso hacia el Oeste con pendiente media de 12,5% mientras que hacia el Este el relieve predominante clasifica como plano, con una pendiente media de 2,5% (IGN-SEGEMAR, 2021). La red de drenaje se encuentra condicionada por un fuerte control estructural, que en el caso del área de estudio presenta diseño dendrítico, y al llegar a zonas planas adquieren un diseño meandriforme.

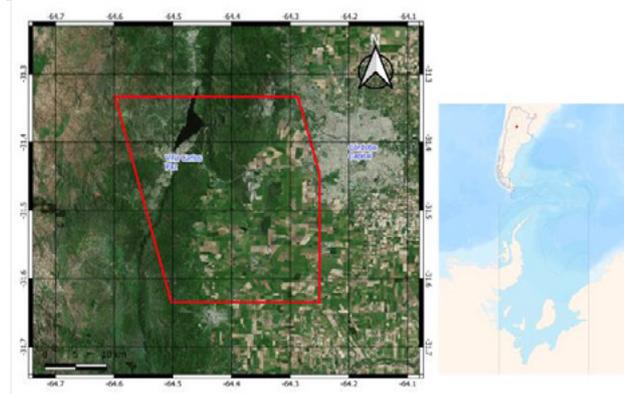


Figura 1.- Ubicación del área de estudio en rojo.

Materiales y Metodología

Se utilizaron MDE e imágenes satelitales para la obtención de la red de drenaje a partir de una clasificación binaria. Para ello, se produjeron diversos subproductos (e.g., índices, pendientes) los cuales posteriormente se ingresan como dato de entrada para la etapa de aprendizaje del algoritmo.

El MDE empleado posee una resolución espacial de 14 m y fue realizado en base a interferometría de datos de radar de apertura sintética recolectados por el satélite SAOCOM (Ibarra et al., *en revisión*). El MDE se utilizó en diferentes etapas del procesamiento, con el objetivo de obtener distintos subproductos. Uno de ellos fue un raster de flujos para usar como capa de entrada en para el clasificador de aprendizaje automático, el Random Forest - RF- (Tyrallis et al., 2019), y el otro fue una máscara de pendientes, empleada para mejorar los resultados de la clasificación binaria obtenida por RF.

A partir de las imágenes multiespectrales se calcularon diferentes índices (NDVI, NDWI, MNDWI, RNDWI). La información captada por estos mismos, se presenta como datos de entrada al algoritmo de aprendizaje automático.

El subproducto derivado del MDE, líneas de flujo, junto con los

índices y las medias de las imágenes ópticas fueron los inputs del algoritmo de aprendizaje automático que se empleó para realizar una clasificación supervisada, y obtener así una imagen binaria de clases Agua - No Agua. El diagrama de flujo que sintetiza este procedimiento se puede observar en la Figura 2.

En una segunda etapa, una vez obtenida la clasificación, se realizó un filtrado y enmascaramiento de estos resultados para un posterior geoprocésamiento que permita obtener archivos vectoriales que representan los cauces fluviales. Dicho procedimiento, representado por el diagrama de flujo de la Figura 3, consistió en por medio del subproducto de pendientes y un filtrado de moda aplicado a clasificación binaria del proceso anterior, obtener un mejor resultado de dicha clasificación, en donde los objetos buscados sean resaltados, obteniendo así una clasificación binaria filtrada.

A dicho resultado se le aplicaron diferentes geoprocésos para obtener vectores que representen los cauces. Estos geoprocésos consistieron en la vectorización del raster; la formación de un buffer de aquellos vectores que representan cauces; la disolución de dichos vectores y, por último, un buffer hacia el interior de los polígonos para eliminar los efectos expansivos del primero (Li et al., 2020).

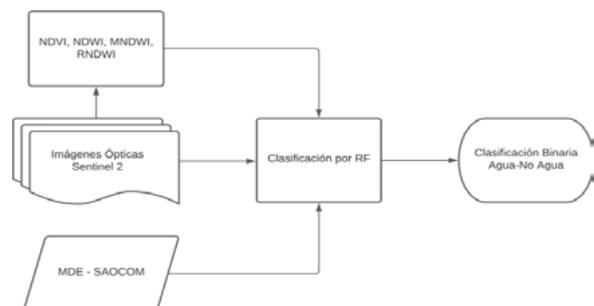


Figura 2.- Metodología empleada para la clasificación binaria Agua - No Agua.

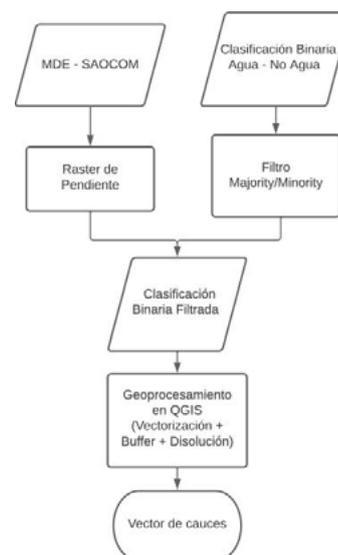


Figura 3.- Metodología empleada para la vectorización de los cauces.

Resultados

A partir de la metodología propuesta en este trabajo, se obtuvieron varios resultados parciales, de los cuales a continuación se destacarán los que se consideran principales para obtener la representación final del cauce:

Uno de los resultados parciales obtenidos, mediante el flujo de trabajo de la Figura 2, es la clasificación binaria (Figura 4). El mejor resultado de clasificación obtenido fue el realizado mediante RF. Sin embargo, en zonas de fuertes pendientes la detección de las clases pierde efectividad, y por otro lado, se identificaron como agua algunas ciudades y caminos.

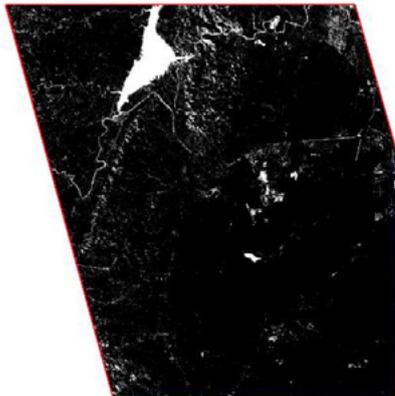


Figura 4 .- Clasificación Binaria en las clases Agua (blanco) - No Agua (negro)

En una instancia posterior, partiendo de la clasificación previa, se obtuvo una clasificación binaria filtrada. En dicho raster, se puede apreciar un realce de la detección del agua, facilitando su posterior geoprocesamiento. Sin embargo, en algunos sectores se aprecia pérdida de información que resulta en una discontinuidad de los cauces. Se observa entonces, un compromiso entre la información detectada por el clasificador y la mejora de éstos al pretender resaltar solamente los cauces.

Por otro lado, a partir del flujo de la Figura 3, se obtuvo el vector, el cual puede visualizarse en la Figura 5. En ella se aprecia una mejora en la continuidad del cauce en comparación con la vectorización directa de la imagen clasificada y filtrada.

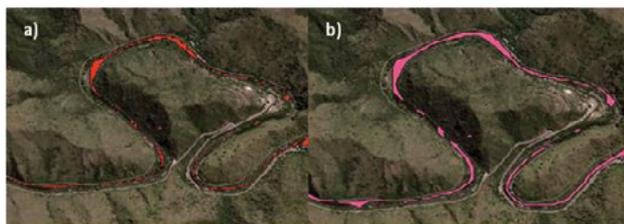


Figura 5.- Vectorización del cauce fluvial. a) Vectorización de la clasificación binaria filtrada; b) Vector luego del geoprocesamiento, se observan mejoras en la continuidad del cauce fluvial.

El vector del cauce obtenido surgió de efectuar el procesamiento de vectorización, buffer externo, disolución y buffer interno. El fin de esta metodología fue el de darle continuidad a la pérdida de la misma que se evidenció en el momento de la vectorización de la clasificación.

Conclusiones

Si bien la investigación se encuentra en una etapa temprana, se

puede arribar a algunas conclusiones preliminares, con respecto al resultado vectorial, se puede decir que la propuesta metodológica es acorde para la representación espacial de las redes de drenaje.

En cuanto a la formación del raster binario, se pudo conocer que la clasificación por RF fue la más adecuada para realizar la separación por clases. La detección de agua empleando índices se vio reforzada en la clasificación utilizando el algoritmo de aprendizaje automático.

La clasificación binaria es un insumo importante a la hora de obtener una delimitación de la red hídrica, por lo tanto, es importante que la discriminación en clases se encuentre bien realizada.

Como limitaciones, se pudo observar que la determinación de la red de drenaje con MDE como único insumo se pierde información de los cauces principales, ya que éstos presentan pocos quiebres topográficos, y los algoritmos empleados para la extracción de la red se basan, particularmente, en estos cambios de pendiente para la determinación de los cauces.

Por otro lado, se observa que el empleo de los índices presentan su limitación en el reconocimiento de cauces que presentan un régimen transitorio, que son los que predominan en áreas con condiciones climáticas como las del área de estudio. A pesar de esto, se determinó que el índice de mayor importancia para la clasificación supervisada fue el MNDWI.

Hasta el momento, esta combinación de procesos y resultados muestra un potencial que tiene que seguir siendo explorado de manera tal que pueda ser extrapolado a nivel país.

Referencias Bibliográficas

- Ibarra, F., Cuello, A., Gotuso, L., Guerrieri, M., Ludueña, S., Marquez, J.L., Micou, A.P., Migliorini, R., Ortone, A., Perez, M., Posadas, A., Seco, J.L., Soldano, A., Sotelo, A., Tamayo, A., Chiarito, E. (en revisión). "Exploring InSAR Digital Elevation Model fusion: a case study in Córdoba, Argentina"
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). (2021). "Definición de Áreas de Montaña de la República Argentina, de la Parte Continental Americana e Islas Georgias del Sur". 19 p. Buenos Aires.
- Li, D., Wu, B., Chen, B., Qin, C., Wang, Y., Zhang, Y. y Xue, X. (2020). "Open-Surface River Extraction Based on Sentinel-2 MSI Imagery and DEM Data: Case Study of the Upper Yellow River". Remote Sensing, 2020, 12, 2737.
- Tyralis, H., Papacharalampous, G. and Langousis, A. (2019). "A Brief Review of Random Forest for Water Scientist and Practitioners and Their Recent History in Water Resources". Water, 2019, 11, 910.

ANUARIO DE DATOS HIDRONIVOMETEOROLÓGICOS DE LA ALTA CUENCA MENDOCINA

Rodrigo Villareal, Héctor Segal, Rubén Villodas

Departamento General de Irrigación, Mendoza, República Argentina
 rodrigo.villareal.17@gmail.com, hector.segal@gmail.com, arvillo1@gmail.com

Introducción

El Departamento General de Irrigación, (DGI), posee una extensa red telemétrica en la alta montaña mendocina, con nueve estaciones que registran con intervalo diario, valores medios, máximos y mínimos de diversas variables nivometeorológicas. Entre estas, se destacan la temperatura, humedad, presión, dirección del viento, velocidad escalar del viento, temperatura de suelo, equivalente agua nieve (EAN), radiación solar incidente y reflejada, temperatura de suelo, registrando también en forma complementaria la altura del manto de nieve.

Los datos se registran y almacenan en base de datos desde el año 2000 hasta marzo 2023, estando algunos disponibles para el periodo completo, y otros para una fracción de este, sea por haber entrado en operación posteriormente o por fallas eventuales.

Durante el año 2010, el DGI presentó un anuario con los datos obtenidos por el Sistema de Información Hidronivometeorológico durante la primera década.

Ubicación de las estaciones

La tabla siguiente muestra las coordenadas de las estaciones reportadas en el anuario, con la latitud y longitud en grados, minutos y segundos y la altura en m.s.n.m.

Tabla 1- Posición de las estaciones

Estación	Cuenca	Latitud	Longitud	Alt.
Horcones	Río Mendoza	-32° 47' 47"	-69° 56' 42"	3050
Toscas	Río Mendoza	-33° 09' 50"	-69° 53' 18"	3000
Santa Clara	Río Tunuyán	-33° 15' 03"	-69° 37' 55"	3982
Palomares	Río Tunuyán	-33° 37' 22"	-69° 49' 57"	2900
Salinillas	Río Tunuyán	-33° 51' 47"	-69° 47' 04"	2600
Laguna Del Diamante	Río Diamante	-34° 07' 27"	-69° 42' 28"	3300
Laguna Del Atuel	Río Atuel	-34° 28' 35"	-70° 01' 35"	3600
Valle Hermoso	Río Grande	-35° 08' 33"	-70° 12' 06"	2250
Malargüe	Río Malargüe	-35° 32' 37"	-70° 00' 10"	2302

La Figura 1 muestra las estaciones sobre el mapa de Mendoza.

Ventana de tiempo y estadísticas presentadas

A partir de datos diarios, se presentan los valores máximo, medio, mínimo, cantidad de datos registrados de y porcentaje de días correspondiente a esa cantidad, resumidos con una ventana de tiempo mensual.

Existen datos ausentes en diversas estaciones, y algunas

estaciones, como Santa Clara (2008) y Malargüe (2009), entraron en operación con posterioridad.

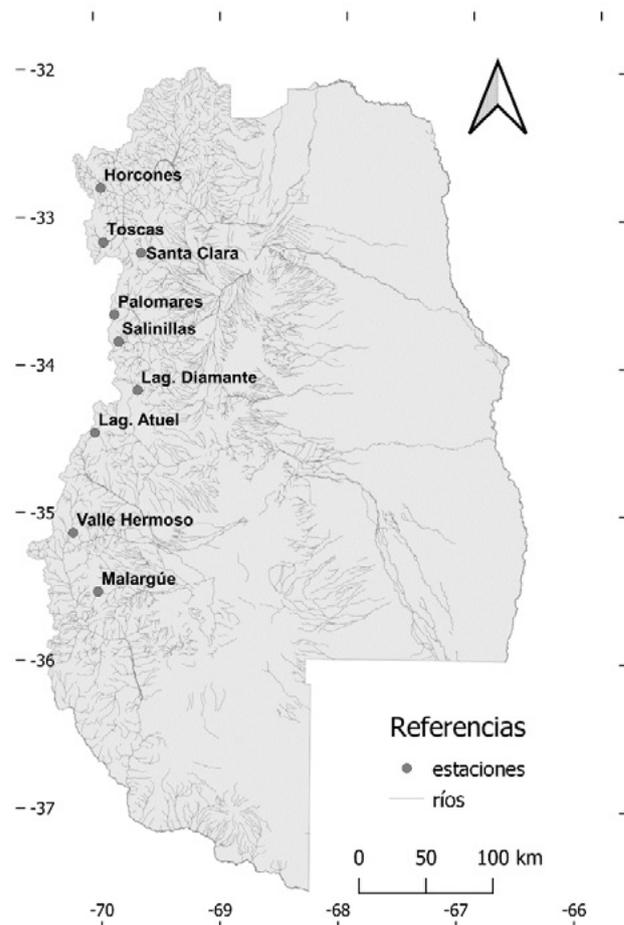


Figura 1.-Ubicación de las estaciones

Variables reportadas y unidades

variable	unidad
equivalente agua de nieve (EAN)	mm
temperatura de aire	°C
radiación incidente	Wm ⁻²
radiación reflejada	Wm ⁻²
humedad relativa	%
dirección el viento	°
velocidad del viento	ms ⁻¹
presión atmosférica	hPa

Trabajos de mantenimiento

Las estaciones de alta montaña reciben un mantenimiento anual,

mediante dos visitas anuales. En la campaña de invierno, las tareas se concentran en cateos de nieve, para contrastar los valores de EAN en las estaciones, y mediciones con instrumental manual de temperatura, humedad, etc., con el fin de contrastar los instrumentos de las estaciones, además de realizar calicatas para constatar las capas formadas por las distintas nevadas. En la campaña de verano, se realiza un mantenimiento de detalle de las estaciones, reposición de baterías, alcohol de snow-pillow, verificación de las partes móviles de anemómetros y veletas, reemplazo de piezas y sensores, mantenimiento de la base impermeable sobre la que se asienta el snow-pillow o balanza y verificación de los paneles solares.



Figura 2.- Estación Horcones (verano)



Figura 3.- Estación Toscas (invierno)



Figura 4.- Cateo de nieve



Figura 5.- Calicatas

Tablas del anuario

Las tablas se presentarán en un formato de 13 columnas, conteniendo el año hidrológico y los meses de julio a junio de ese año.

Las filas contendrán los estadísticos, máximo, medio, mínimo, días medidos en el mes, y porcentaje de días del mes, para cada año hidrológico.

Oportunamente, se adjuntará un enlace al anuario, desde el sitio web del Departamento General de Irrigación, en que se suministrará en formato pdf.

Referencias Bibliográficas

Rodrigo Villareal y otros (2010) Anuario de Información Hidronivometeorología - DGI

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (2004), "Estadística Hidrológica de la República Argentina", Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE IMERG PARA ESTIMAR LLUVIAS DE DISEÑO EN ARGENTINA

Segura Ellis, Joaquín S.¹; García, Carlos M.¹, Catalini, Carlos G.²; Nesbitt, Steve³

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCFEYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba., Córdoba, Argentina.

³ Departamento de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Illinois en Urbana – Champaign, Estados Unidos.

Correo de contacto: joaquin.segura.ellis@mi.unc.edu.ar

Introducción

En los últimos años se han realizado importantes avances en la actualización de la información de lluvias de diseño para Argentina lo que ha demandado un gran esfuerzo interinstitucional y tiempo para realizarlo (Catalini, 2018). Los sensores remotos montados en satélites podrían ser utilizados a priori para la cuantificación de lluvias en amplias regiones con baja densidad de registros de la República Argentina lo que permitiría la actualización periódica (en plazos más cortos) de las estimaciones con fines de diseño hidrológico en esas regiones, lo cual es altamente recomendado por los efectos del cambio climático. En ese sentido existen algunos productos de datos provenientes de sensores instalados en satelitales que han generado información por un tiempo suficientemente largo que permiten su uso con este fin. Uno de estos productos es el proveniente de la misión Global Precipitation Measurement (GPM) de la NASA llamado Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG, Huffman, et al., 2019). Los datos provenientes de sensores remotos, al ser una estimación indirecta, deben ser validados con información registrada en terreno. Sobre los datos satelitales y de terreno es posible realizar un análisis estadístico inferencial para predecir la relación entre la magnitud de una lluvia precipitada y la frecuencia de ser superado su valor (o su periodo de retorno). También existen métodos estadísticos para predecir el Valor Límite Estimado de lluvia (VLE) o Precipitación Máxima Probable (PMP), una magnitud de lluvia ajustada a su potencial climatológico superior (Hershfield, 1965). En este trabajo se muestran los resultados de las predicciones de lluvia diaria para distintos periodos de retorno y los valores límites estimados, tanto para las series de lluvias máximas diarias anuales observadas en más de 200 estaciones terrenas como estimadas con IMERG, y se comparan ambos resultados. En el análisis se utilizan librerías de Python existentes como así también otras específicamente desarrolladas por los autores.

Datos

Los datos pluviométricos de estaciones terrenas de distintas instituciones son obtenidos a través de portales o el pedido a los diferentes organismos. Las instituciones consultadas son:

*Centro de Información Meteorológica, Servicio Meteorológico Nacional (CIM-SMN) (108 estaciones distribuidas en el territorio nacional)

*Centro de la Región Semiárida, Instituto Nacional del Agua (INA-CIRSA) (15 estaciones en la provincia de Córdoba)

*Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (28 estaciones distribuidas en el territorio nacional)

*Sistema Nacional de Información Hídrica, Red Hidrológica Nacional (RHN) (97 estaciones distribuidas en el país)

En cuanto a sensores remotos, desde 2019 se puede acceder a la información de la constelación de satélites combinada mediante el algoritmo IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM), el cual, en su última versión al momento (V06B), tiene

una longitud de casi 22 años, de gran importancia para los análisis estadísticos a realizar. Los datos obtenidos del algoritmo IMERG, cuya resolución espacial es de 0.1° tanto en latitud como en longitud y la temporal de 30 minutos, están disponibles en tres productos diferentes (Huffman et al., 2020):

*IMERG Early Run, primera estimación, con un retraso de 4 hs.

*IMERG Late Run, mejores resultados utilizando más información, pero con un retraso de 14 hs.

*IMERG Final Run, datos corregidos mediante el uso de mediciones en estaciones terrestres, con retraso mayor a 3 meses.

Debido a la resolución espacial de estos productos, algunos autores han utilizado distintos métodos de interpolación para mejorar las estimaciones de precipitaciones en el terreno (Sharifi, et al., 2019). En este sentido en este trabajo se utiliza el método del inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting o IDW), que es alguno de los métodos utilizados para este fin (Dorninger, et al., 2008).

Metodología

Con la información pluviométrica de estaciones terrenas y la grilla de precipitación acumulada cada 30 minutos de IMERG, se procesan los datos para su análisis. Con respecto a los primeros, cada fuente de datos tiene su propio sistema de registro de la información, por lo que se unifican estos en un formato común para facilitar la aplicación en las etapas sucesivas. Además, existen dos horas diferentes de registro del dato diario, 09:00 y 00:00 hora local, por lo que los datos de IMERG deben ser acumulados para ambos casos.

Para los datos de IMERG, se utiliza la siguiente ecuación del método IDW de interpolación espacial:

$$z(x) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i(x) z_i}{\sum_{i=1}^N w_i(x)} \quad [1]$$

Donde $w_i = 1/d(x, x_i)^p$, siendo $d(x, x_i)$ la distancia entre x y x_i , p el parámetro del método, z_i el valor en x_i y $z(x)$ el valor interpolado en x . Para este trabajo se decide utilizar $p = 1$ y un radio de influencia de aproximadamente 50 kilómetros, lo que reduce la grilla de IMERG a un área de 1° en latitud y longitud centrado en la ubicación de la estación. Esta influencia se basa en que el peso w_i para una distancia mayor, no cambia significativamente el valor de la interpolación.

Una vez obtenida la serie temporal de lluvias diarias de cada fuente de datos en la ubicación seleccionada, es necesario obtener los máximos de cada año hidrológico para las series de lluvias diarias. Teniendo estas series de alrededor de 20 años, la lluvia máxima diaria de cada periodo de retorno es estimada mediante un análisis de frecuencia, verificando las hipótesis básicas requeridas (datos atípicos, independencia, estacionariedad y homogeneidad) y contar con una longitud de serie adecuada. Una vez analizados los resultados de las pruebas estadísticas, se ajusta la función de distribución de probabilidades lognormal, adoptada en trabajos anteriores para este fin en el territorio (Catalini, 2018). En el caso de la estimación del VLE (PMP) se utiliza el método propuesto por Hershfield (1965):

$$PMP = \mu_n + \phi_{PMP} \cdot \sigma_n \quad [2]$$

Donde μ_n es la media de la serie de precipitaciones máximas diarias anuales, σ_n es su desviación estándar y ϕ_{PMP} es el factor de frecuencia maximizado. En este trabajo se estima este factor mediante la siguiente ecuación (Catalini, 2018; Bazzano, 2019):

$$\phi_{PMP} = 5.23 \cdot e^{1.96 \cdot C_V} \quad [3]$$

Donde $C_V = \sigma_n / \mu_n$ es el coeficiente de variación.

Resultados

Luego de ejecutar las herramientas computacionales creadas para aplicar la metodología descrita, se obtienen 250 series de precipitaciones diarias que coinciden con el periodo de medición de los sensores remotos.

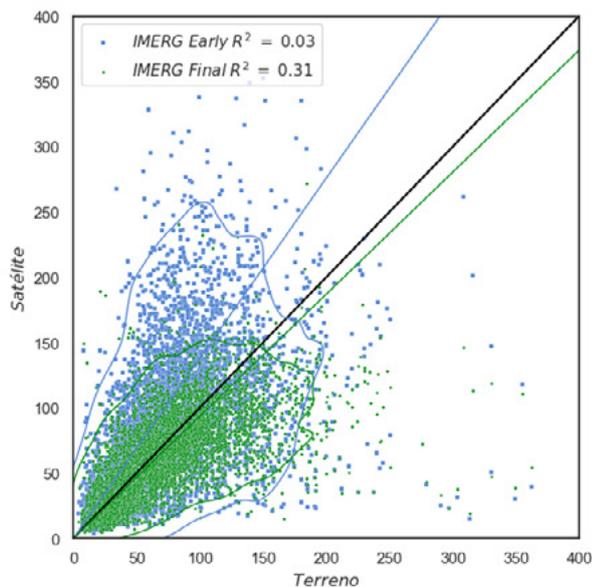


Figura 1.- Comparación entre la Precipitación Máxima Diaria Anual de estaciones terrenas y sensores remotos (IMERG Early y Final) para todas las ubicaciones analizadas.

En la Figura 1, se presenta, a modo de ejemplo, una comparativa entre los máximos anuales de estaciones terrenas y de IMERG, en sus versiones Early y Final. Se observa una regresión lineal para cada producto de IMERG presentado con ordenada al origen cero, junto con la dispersión de los datos satelitales en función de los superficiales.

Al obtener estas series de máximos anuales, es posible continuar con la metodología aplicando un análisis de frecuencia. Mediante la estadística inferencial, se estiman los valores de la lámina de lluvia de diseño diaria para distintos periodos de retorno. También se estima la precipitación máxima probable mediante las ecuaciones 2 y 3. En la Figura 2 se presentan los resultados de aplicar la función de distribución de probabilidades lognormal para obtener la lámina de lluvia de diseño diaria para un periodo de retorno de 25 años y la estimación de la precipitación máxima probable, para las estaciones terrenas y los tres productos de IMERG.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede concluir que el producto llamado Final de IMERG es el que mejor se ajusta a las observaciones de lluvias diarias del terreno. Además, una vez realizado el análisis de frecuencia, se concluye que este producto representa mejor las lluvias de diseño cuando se lo compara con IMERG Early y Late. IMERG Final emplea información de precipitaciones mensuales de estaciones terrenas del SMN, mediante estos resultados se verifica que mejora las estimaciones para diseño hidrológico.

Otro aspecto importante para mencionar es la dispersión de la información. Como era de esperar el coeficiente de correlación

de los tres productos es bajo, y el producto Final tiene una correlación más elevada, con la consecuente menor dispersión. Sin embargo, parece haber una tendencia a subestimar la lámina de lluvia a medida que aumenta su periodo de retorno, lo cual podría asociarse a una atenuación de los valores extremos debido al mismo proceso de ajuste mediante información mensual del terreno.

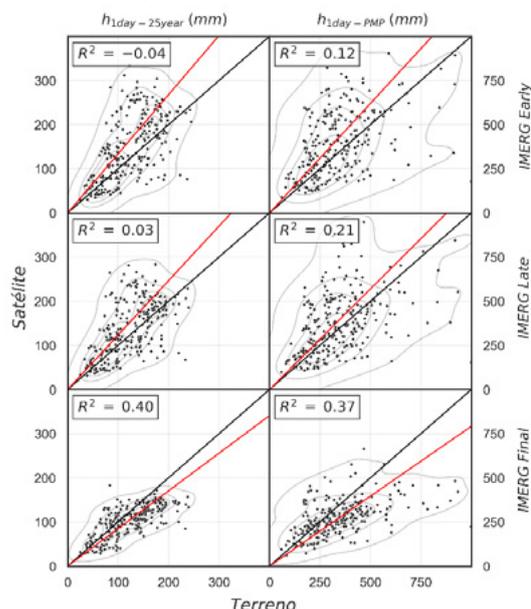


Figura 2.- Comparación entre la lámina de diseño para un periodo de retorno de 25 años (columna izquierda) y entre el VLE (PMP) (columna derecha) de estaciones terrenas y sensores remotos.

Si bien, con esta información se puede definir cuál es el producto más adecuado para estimar la lluvia de diseño, es necesario continuar con los trabajos de validación comparando otras variables como los totales anuales o duraciones mayores a la diaria. También podría evaluarse una metodología de corrección de estos datos satelitales para mejorar su representación con datos locales o proveniente de proyectos de ciencia ciudadana.

Referencias Bibliográficas

- Bazzano, F.** (2019). “Predicción de Lluvias Máximas para Diseño Hidrológico”. *Desarrollo Experimental en la Provincia de Tucumán*. Tesis Doctoral ed. San Miguel de Tucumán: Univ. Nacional de Tucumán.
- Catalini, C. G.** (2018). “Predicción de Lluvias Máximas en Argentina, Desarrollos y Nuevas Aplicaciones”. *Córdoba: Tesis Doctoral*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Natural, Universidad Nacional de Córdoba.
- Dorninger, M.; Schneider, S.; Steinacker, R.** (2008). “On the interpolation of precipitation data over complex terrain”. *Meteorol Atmos Phys*. doi.org/10.1007/s00703-008-0287-6
- Hershfield, D. M.** (1965). “Method for Estimating Probable Maximum Rainfall”. *Journal AWWA*, 965-972. doi.org/10.1002/j.1551-8833.1965.tb01486.x
- Huffman, G. J.; Bolvin, D. T.; Braithwaite, D.; Kuolin, H.; Joyce, R.; Kidd, C.; Nelkin, E. J.; Sorooshian, S.; Jackson, T.; Xie, P.** (2019). “Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 06”. *Greenbelt: NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*.
- Sharifi, E.; Saghafian, B.; Steinacker, R.** (2019). “Downscaling satellite precipitation estimates with multiple linear regression, artificial neural networks, and spline interpolation techniques”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. doi.org/10.1029/2018JD028795

AMENAZA POR CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS HIDROLÓGICOS DE LLANURA: APLICACIÓN A “LAS ENCADENADAS” SUR DE SANTA FE

Magalí V. Soria¹, Pedro A. Basile² y Gerardo A. Riccardi^{2,3}

(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN-FRVT), Argentina.

(2) Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (DH-CURIHAM, FCEIA, UNR), Argentina.

(3) Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (CIUNR), Argentina.

E-mail: msoria@frvt.utn.edu.ar

Introducción

El Sistema Hidrológico No Típico (SHNT) Las Encadenadas se encuentra ubicado en Argentina, al sur de la provincia de Santa Fe, en el departamento General López. El mismo abarca completamente los distritos de San Eduardo y Venado Tuerto, y a su vez en menor proporción, comprende otros 13 distritos, teniendo como punto de cierre a la localidad de Teodelina. Es atravesado por las rutas nacionales N°8 y N°33, diversas rutas provinciales y secundarias, y dos líneas del ferrocarril.

Los SHNT, son sistemas que no cuentan con una superficie tributaria definida de componentes lineales, organizados y jerarquizados, ni con una relación puntual, sino que prevalece la estructura de disipación (Fertanoni y Prendes, 1983). Tienen como rasgo distintivo la baja energía morfológica del terreno (Fuschini Mejía, 1994) encontrándose conformados por zonas bajas y depresiones, las cuales se interconectan naturalmente mediante cañadas y esteros.

Objetivos

Estudiar la dinámica hídrica del SHNT mediante la conceptualización de los procesos relevantes involucrados y la simulación hidrológica correspondiente; incorporando la incertidumbre asociada a diferentes escenarios de cambio climático (CC). Será simulada la dinámica de los procesos de almacenamiento y escurrimiento superficial asociados a eventos de lluvias máximas de varios días de duración, similares a eventos de lluvia ya acontecidos en la zona de estudio, los cuales han puesto en emergencia diferentes vías de comunicación y poblaciones dentro de la cuenca.

Asimismo, se plantea analizar el impacto para diversos escenarios de lluvia, determinando las zonas afectadas en términos de áreas anegadas y permanencias (caracterización de impacto de inundaciones) para el estado actual del clima y para hipotéticos estados futuros frente a la influencia del CC.

Materiales y Metodología

En lo que respecta a Materiales es empleada información básica para realizar la simulación hidrológica/hidráulica del sistema de estudio, como ser: Modelo Digital de Terreno (DEM), mapas de tipologías y usos del suelo, imágenes satelitales, canalizaciones, alcantarillas intervinientes, registros históricos de lluvias, temperatura, viento, humedad, etc. Se destaca que dicha información es adquirida conforme métodos clásicos de recolección y mediante productos provenientes de la Geomática.

En cuanto a Metodología, son utilizadas herramientas de geomática, principalmente para la preparación de información espacial. En cuanto a la simulación hidráulica del sistema de estudio, es empleado el modelo hidrológico-hidráulico distribuido y físicamente basado VMMHH 1.0; el cual está compuesto por un modelo hidrológico- hidráulico (Riccardi, 2001) y una plataforma computacional (Stenta et al. 2005).

La modelización del SH es constituida por elementos del tipo valle y río, los cuales representan porciones de planicies y canalizaciones/cañadas presentes en el mismo. Además, son

presentadas las diferentes vinculaciones entre los elementos, los cuales contienen información característica del área que representan. Conjuntamente, con la finalidad de representar situaciones semejantes a la realidad, los elementos contienen alturas iniciales de agua y contenido de humedad.

Para el acondicionamiento de la información insumo del modelo se realizaron correcciones altimétricas al DEM, se generaron batimetrías (Soria, 2017), se realizó una delimitación marginal del área de estudio, la discretización del DEM corregido y se determinaron los rangos numéricos componentes de las subcuencas, con el objeto de ingresar al modelo información característica por subcuencas.

En cuanto a información hidrológica, fue acondicionada información climatológica, obtenidas las variables del ciclo hidrológico y posteriormente, estimados los número curva (CN).

Además, fue ingresada a SIG y readecuada para su lectura en el modelo, información sobre canalizaciones y alturas iniciales de agua para las lagunas, mediante herramientas de la geomática.

Posteriormente, para la calibración y validación del modelo fueron empleados eventos acontecidos, en los cuales se disponía para esas fechas de imágenes satelitales, las cuales fueron utilizadas como información testigo. La metodología consistió en iniciar la simulación del evento en una fecha en la que hubiese imágenes satelitales del sector disponibles con motivo de, mediante dichas imágenes, adjudicar alturas iniciales de agua a las lagunas, como se mencionó recientemente. Posteriormente, fueron utilizadas imágenes satelitales del transcurso/final del evento con motivo de clasificarlas en coberturas de agua/no agua y, mediante el posicionamiento de los píxeles, contrastar con la información arrojada por la simulación. En la Figura 1 puede apreciarse un mapa de calibración para la fecha 14/01/2017.

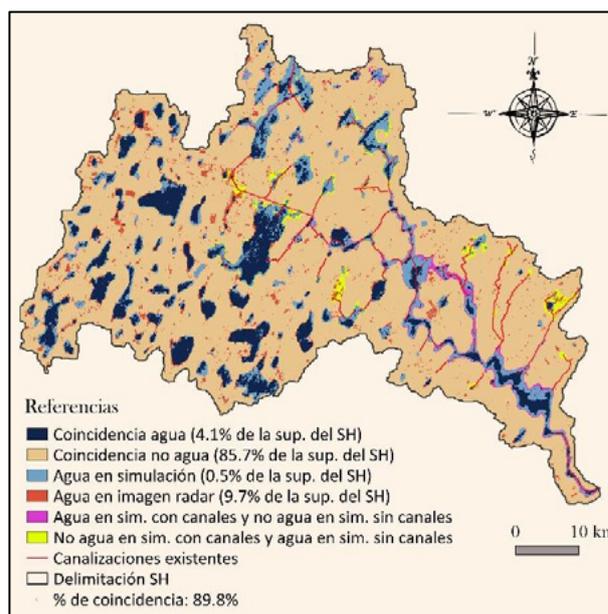


Figura 1.- Mapa de contraste de respuestas de Evento 1, con canalizaciones y rugosidades ajustadas, para la fecha 14 de enero de 2017.

Una vez calibrado el modelo, se procedió a determinar las lluvias para diferentes recurrencias y se realizaron las simulaciones frente a diferentes escenarios de cambio climático según los Coeficientes de incrementos de Precipitaciones máximas de 5 días de duración del CMP6-Coupled Model Intercomparison Project Fase 6(IPCC ARG6-WG1, 2021) Región: Sur-Este de América del Sur.

Para finalizar, fue analizada la información y volcada a un SIG, con el objeto de mapear el agua en superficie, su permanencia, su cercanía a redes viales y centros urbanos (pueblos); para determinar la amenaza/peligrosidad de los mismos frente a riesgo hídrico.

Resultados

Como principales resultados del trabajo, fue lograda la cuantificación y mapeo de superficies de agua y caudales presentes en el SH, la permanencia del agua superficial y la cercanía de la misma a ejidos urbanos y redes viales, para recurrencias con y sin consideración del efecto CC.

Para las condiciones más desalentadoras: recurrencia de 100 años, suelo cuasi-saturado y Coef. de CC de 1.30; se obtuvo una superficie de 64,514 ha ocupadas con agua (19.92% de superficie total del sistema) y caudales pico del orden de los 320 m³/s en la sección de cierre de cuenca, un escurrimiento del agua presente del 11.6% en las primeras 24 h y del 51.2% pasadas las 193 h; con un total de 202 tramos de vías de comunicación con agua en sus proximidades. En la Figura 2 puede apreciarse un mapa de permanencia de agua en superficie para la recurrencia de 100 años, considerando un coeficiente de incremento de precipitación por CC de 1.30; y en el mismo, el tiempo que permanece en agua sobre o en cercanía a las redes viales/ferroviarias.

Además, se destaca que fue obtenida una nueva delimitación del sistema, de 3237 km², la cual contempla superficies que aportan al mismo frente a eventos a partir de los 100 años de recurrencia, como puede observarse en la Figura 3.

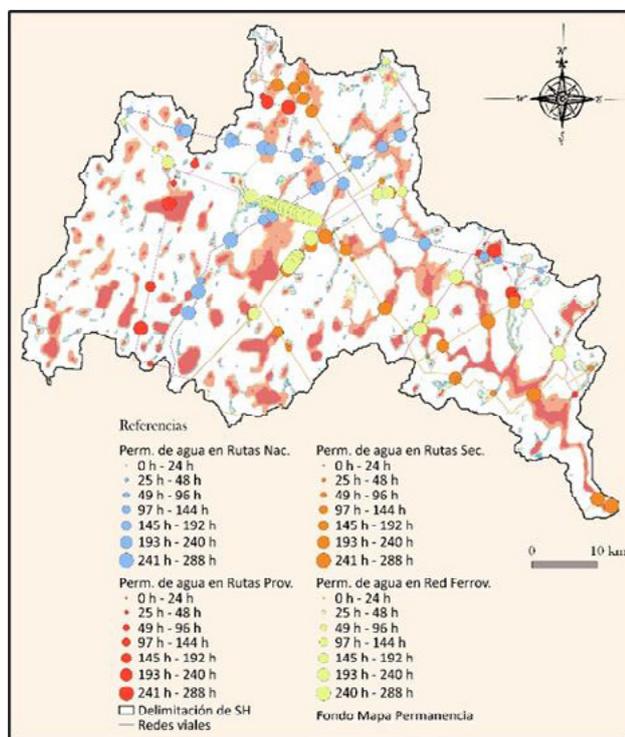


Figura 2.- Mapa de amenaza en redes viales frente a permanencia de agua contemplando CC para una recurrencia de 100 años.

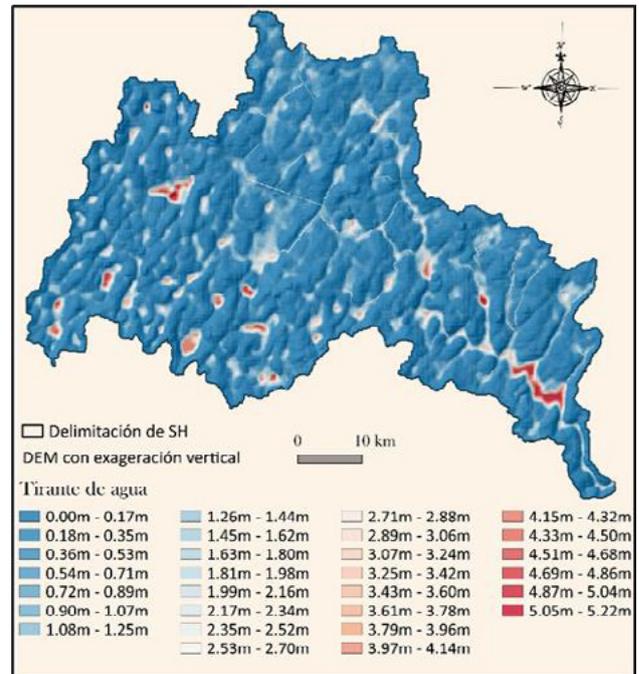


Figura 3.- Mapa de validación de la delimitación del SH Las Encadenadas.

Conclusiones

Como conclusión principal, puede decirse que se ha cumplido con el objetivo general, el cual es estudiar la dinámica hídrica de SH de llanura, mediante la conceptualización de los procesos relevantes involucrados y la simulación hidrológica- hidráulica correspondiente; incorporando la incertidumbre asociada a diferentes escenarios de CC.

Toda esta información, también presentada espacialmente en el SH mediante mapas, permite una clara y rápida comprensión de la amenaza/peligrosidad en la cual se encuentra el SH frente a determinadas condiciones climáticas, lo cual favorece a la toma de decisiones de los actores correspondientes.

Referencias

Fertanoni, M., & Prendes, H. (1983). Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos. In M. C. Fuschini Mejía (Ed.), Hidrología de las grandes llanuras - Coloquio de Olavarría (pp. 119-156). Buenos Aires, Argentina.

Fuschini Mejía, M. C. (1994). El agua en las llanuras (1st ed.). Montevideo, Uruguay: UNESCO - ORCYT.

IPCC ARG6-WG1. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, ... B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press. In Press.

Riccardi, G. (2001). Un sistema de simulación hidrológica-hidráulica cuasi-2D multicapa para ambientes rurales y urbanos. (Tesis Doctoral). FCEfyN-UNC, Córdoba.

Soria, M., Piñero, V., Ledesma, N., Basile, P., & Riccardi, G. (2017). Análisis batimétrico de lagunas poco profundas mediante técnicas de Teledetección y SIG: aplicación a la laguna La Victoria. Cuadernos Del CURIHAM, 23, 51-61.

Stenta, H., Rentería Beltrán, J., & Riccardi, G. (2005). Plataforma Computacional Para Gestion De Informacion En La Simulación Hidrológica-Hidraulica Del Escurrimiento Superficial. XX Congreso Nacional Del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos Del Cono Sur, Cap. Hidrología 1-13.

UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN TELEDETECTADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA ARRAIGADA EN CAUCES SECUNDARIOS DEL SISTEMA PARANÁ

Agustina Spais⁽¹⁾⁽²⁾, Zuleica Marchetti⁽¹⁾⁽³⁾ y Virginia Venturini⁽¹⁾⁽³⁾

⁽²⁾Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH UNL Santa Fe)

⁽²⁾Instituto Nacional del Agua Subgerencia Centro Regional Litoral (INA.SCRL Santa Fe)

⁽³⁾Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET Santa Fe)

E-mail: spaisagustina@gmail.com, zuleicayael@hotmail.com, venturv@gmail.com.

Teléfono:+54343 155132016 (Spais A.)

Introducción

Los cauces secundarios del sistema fluvial del Paraná suelen presentar en sus márgenes extensas superficies de vegetación acuática arraigada dominadas por pocas especies de porte variado (canutillos, catay y camalotes, básicamente). Estos ensambles de vegetación pueden alcanzar tamaños, formas, densidades y permanencias sumamente variables en tiempo y espacio.

La presencia de vegetación dentro de los cauces altera el campo de velocidades a diferentes escalas (Nepf, 2012), mientras que la vegetación acuática arraigada a las márgenes puede cubrir parcial o totalmente la sección de algunos cauces, dificultando, además, la navegación y generando problemas sobre obras de ingeniería. Así, conocer la dinámica espacio temporal de este tipo de vegetación (tipo de cauces que colonizan, épocas del año y/o fases hidrométricas, etc) son aspectos tan básicos como desconocidos, pero esenciales para abordar su manejo en situaciones, ya sea que generen inconvenientes, como que ameriten ser favorecidas por los servicios ecosistémicos que brindan.

En la red de cauces asociados al río Paraná, la vegetación acuática arraigada está representada en gran parte por matas de “canutillo” (*Louisiellaelephantipes*). Esta especie coloniza bordes de ríos y lagunas, puede alcanzar hasta 2 metros de altura sobre la superficie del agua, y varios metros más debajo de la misma donde, la presencia de brotes y raíces adventicias generan ocupaciones de densidad variable debajo de la superficie del agua muy difíciles de cuantificar.

En la actualidad, las tecnologías satelitales y de drones están transformando muchos campos del conocimiento en los que la imagen es una alternativa a la medición y generación de información. En comparación con otras técnicas de monitoreo, los satélites y los vuelos realizados con vehículos aéreos no tripulados (drones) ofrecen una mayor cobertura espacial comparado con el monitoreo in situ (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015).

Numerosos autores han aportado diversas técnicas y análisis para mejorar la precisión de la clasificación y generar productos confiables que puedan apoyar la toma de decisiones. Sus contribuciones van desde probar nuevos clasificadores (paramétricos y no paramétricos) hasta incorporar información adicional, como índices de vegetación, texturas y otros análisis estadísticos. En el marco de estas investigaciones se propone, analizar la influencia de las escalas espaciales-temporales en el monitoreo de la vegetación acuática de los humedales del Paraná, utilizando información censada por satélites y drones.

El área de estudio se centra en un curso de agua de régimen permanente denominado “Paraná Viejo”, afluente secundario del sistema río Paraná, ubicado en cercanías de la localidad de Paraná, Provincia de Entre Ríos, con coordenadas aproximadas de 31°50'5.98" de latitud sur y 60°42'0.22" de longitud oeste. El mismo se desarrolla con dirección de escurrimiento norte – sur, a lo largo de unos 4.50 km, (Ver Figura 1)



Figura 1.-Área de estudio

Objetivo

Comparar la utilización de fuentes de datos satelitales y de drones en lo que refiere a resolución espacial, para monitorear la vegetación acuática y su dinámica en los humedales del río Paraná.

Área de Estudio y Datos

El área a relevar incluyó un curso secundario dentro del Sistema Paraná, comprendiendo unas 160 hectáreas aproximadamente (Figura 2), con una altura de vuelo de 120 m (límite permitido de vuelo seguro), obteniéndose productos de 25 cm de resolución por pixel.

Se llevaron a cabo dos vuelos fotogramétricos con un VANT marca WingtraOne GEN II, consistente básicamente en un dron profesional de ala fija VTOL, muy utilizado para mapear grandes áreas (hasta 400 hectáreas en 1 hora), con gran calidad y precisión. Este equipo cuenta con una cámara RGB Sony a6100, de alta gama, lo cual permite capturar imágenes nítidas y detalles finos. Las características principales de esta son:

Sensor 24 MP (Sensor APS-C)

GSD: Hasta 1.2 cm por pixel

Precisión horizontal absoluta: hasta 2 cm

Precisión vertical absoluta: hasta 4 cm

Los vuelos se realizaron los días 11 de Mayo del 2022 (Otoño) y 10 de Febrero del 2023 (Verano).

De manera complementaria, para las mismas fechas, se descargaron imágenes satelitales de las misiones PlanetScope y Sentinel 2, con resoluciones espaciales de 3m y 10m respectivamente. Las características de ambos sensores están disponibles en las correspondientes páginas web.

Metodología

Se procesó la información del dron y se obtuvieron productos tales como Ortomosaico, nube de puntos con texturas, Modelo Digital de Elevación (MDE) y Modelo Digital del Terreno

(MDT). En la Figura 2 se observa el área de los vuelos realizados.

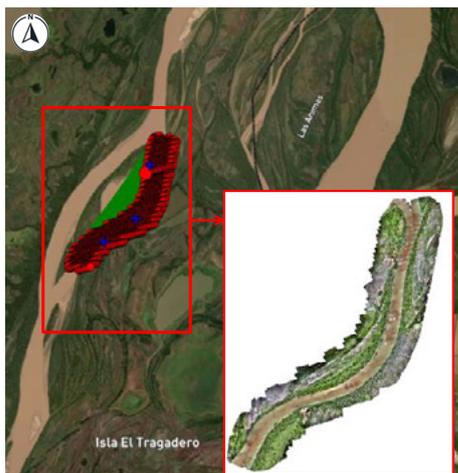


Figura 2.-Área relevada con VANT y Ortomosaico obtenido

A partir de estas tres fuentes de datos, se determinó el Índice Verde el cual busca cuantificar la cantidad de luz verde reflejada por la vegetación en relación con la luz total reflejada por la superficie. Esto proporciona una medida de la densidad y el vigor de la vegetación presente. El cálculo se realizó como:

$$IV = \frac{GREEN}{RED+GREEN+BLUE} \quad [1]$$

Un valor más alto del índice verde indica una mayor cantidad de luz verde reflejada y generalmente se asocia con una vegetación más densa y saludable.

Una vez estimado, se realizó la diferencia entre los valores del índice verde entre mayo y febrero lo que permitió obtener una medida cuantitativa de cómo cambió la vegetación entre las dos fechas. Los valores positivos indicaron un incremento en la densidad o salud de la vegetación mientras que, los negativos, una disminución en la cobertura. Esto resultó muy útil para monitorear y evaluar los cambios en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, permitiendo detectar áreas que han experimentado crecimiento o disminución de la vegetación e identificar patrones de cambios estacionales.

Los procesos determinados hasta aquí fueron realizados utilizando algoritmos de Google Earth Engine.

De todo el tramo del curso, para las tres fuentes de datos, se concentró sobre un área piloto y se determinó cuantitativamente mediante técnicas de SIG cuáles correspondían a Canutillos. A modo de ejemplo se ilustran, en la Figura 3, las tres fuentes utilizadas para el cálculo para el día 10 de Febrero de 2023. De izquierda a derecha: Dron, PlanetScope y Sentinel 2.

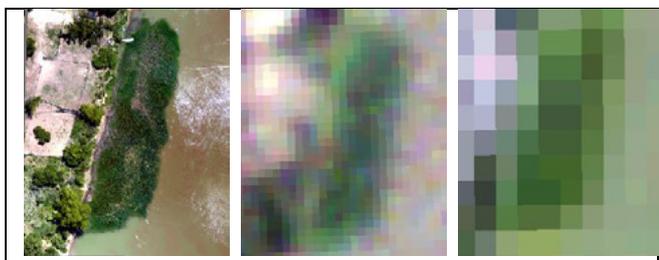


Figura 3.-Resolución espacial de las tres fuentes de datos

Resultados

De la contabilización de píxeles y estimación de ocupación en el área piloto se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 1.

Tabla 1. – Fechas seleccionadas para el cálculo del MNDWI

Fuente	Cantidad de Píxeles	Área Cobertura
Dron	27531	[m ²] 1721
PlanetScope	172	1548
Sentinel 2	6	600

De la diferencia entre Índices Verdes, para cada una de las fuentes de datos, para las dos fechas analizadas, se obtuvieron los polígonos del ensamble como se en la Figura 4.

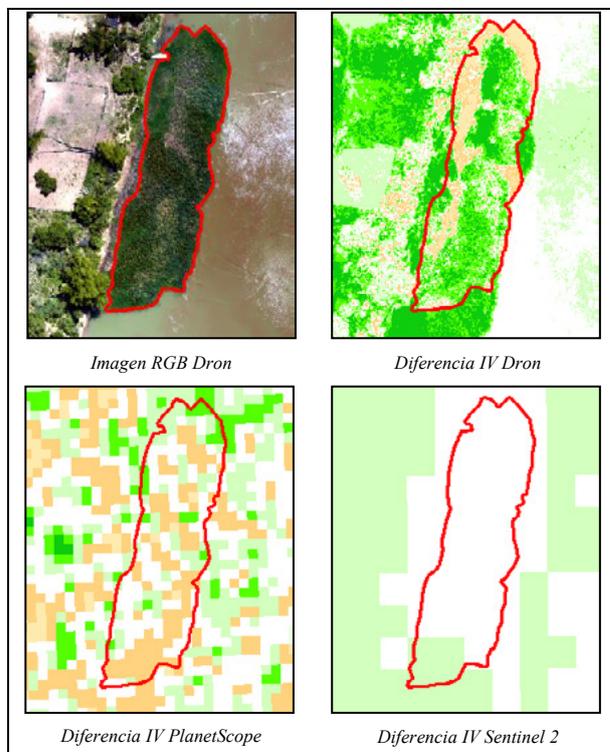


Figura 4.-Resultados Diferencia entre IV Mayo - Febrero

La rampa de colores utilizada indica que, valores representados en color blanco destacan sectores donde no hubo diferencias entre los IV. Los tonos anaranjados indican diferencias negativas mientras que los verdes positivos (disminución o recrecimiento de la vegetación en el mes de Febrero respecto a la de Mayo respectivamente). Los valores oscilaron entre -0.66 a 0.60.

Conclusiones

En este trabajo se utilizó información satelital de tres fuentes diferentes: Dron, Mision PlanetScope y Sentinel 2. De la estadística a nivel de píxel sobre el área piloto se concluyó que, a medida que se incrementa la resolución espacial, el área de cobertura vegetada se ve disminuida lo cual era de esperarse, debido a que, al ser los píxeles de mayor tamaño, no permiten diferenciar con exactitud las diferentes ocupaciones.

La utilización del índice verde resultó de utilidad para evaluar el estado fenológico de la vegetación notando sectores nuevos de colonización en el mes de Febrero respecto a Marzo (colores en tonos anaranjados).

Referencias

- Nepf, H.M. (2012). "Hydrodynamics of vegetated channels". *Journal of Research*, 50 (3) pp 262-279.
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, 2015.

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS A HIDROLOGÍA EN CUENCAS DE LLANURA. CUENCA DEL ARROYO MONJE, SANTA FE

Agustina Spais⁽¹⁾, Rosana Mazzón⁽¹⁾, Esteban Collins⁽¹⁾, Pablo del Prete⁽¹⁾, Carlos Maciel⁽¹⁾, Carlos Scioli⁽²⁾, Jorge Collins⁽²⁾, Mariela Charlón⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto Nacional del Agua Subgerencia Centro Regional Litoral (INA.SCRL Santa Fe)

⁽²⁾Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat de la provincia de Santa Fe
E-mail: spaisagustina@gmail.com, rmazzon@ina.gov.ar, collinsesteban@gmail.com,

juancarlosmaciel@hotmail.com, delpretepablo@outlook.com, sciolicarlos@gmail.com, collinsjorge@gmail.com, marielascan@hotmail.com

Introducción

La utilización de tecnologías satelitales y de drones está transformando muchos campos del conocimiento en lo referido a relevamiento y generación de información topográfica. El uso de éstos aplicado a la hidrología ha cobrado gran importancia ya que permite recopilar datos precisos y detallados a escala reducida, minimizar costos y tiempos, acceder a áreas inalcanzables, realizar monitoreos continuos y mejorar la precisión de los modelos matemáticos.

Con los métodos convencionales de obtención de información topográfica muchas veces los sistemas hidrológicos de llanura no pueden ser representados correctamente ni tenidos en cuenta para delimitaciones de cuencas y evaluaciones de dinámicas hídricas.

Un caso particular de esto es la cuenca del Arroyo Monje, ubicada en la provincia de Santa Fe, con un área de aporte de 7132 Km². La Cañada Carrizales que posteriormente se transforma en el Arroyo Monje, surge del producto de una falla natural que presenta la particularidad de tener una forma de tipo "U" muy extendida y suave. Esto produce que para caudales medios a altos ocurran desbordes importantes, con anchos que van desde los 400 m a los 4000 m. Si bien a lo largo del sistema existen obras de arte que amortiguan el escurrimiento, las mismas resultan insuficientes, absorbiendo el puente de la Autopista Rosario-Santa Fe la mayor parte del caudal. Tal es así, que en el año 2018 se produjo el corte de la misma.

A fines de lograr una buena representación del sistema y una mejora en las modelaciones de este tipo de cuencas, se llevó a cabo un vuelo fotogramétrico que contempló parte de su cauce principal (desde Autopista hasta su desembocadura en el Río Coronda) y su valle de inundación. Los resultados obtenidos están siendo utilizados como insumos a un modelo hidráulico bidimensional que tiene por objeto identificar y contabilizar los desbordes y zonas anegadas.

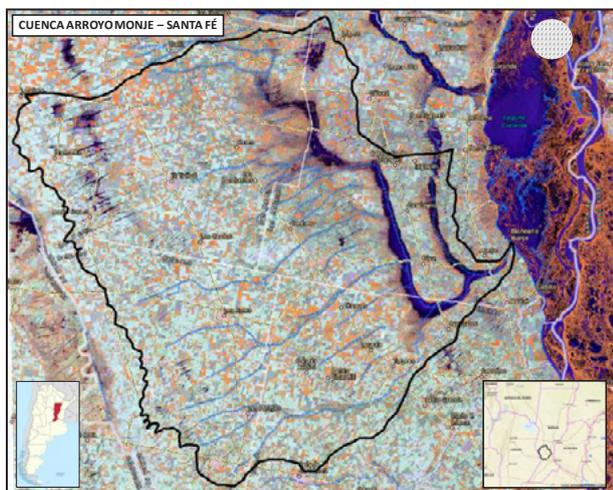


Figura 1.-Cuenca Arroyo Monje

Objetivo

Enriquecer los modelos matemáticos con información captada por el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), para obtener una mejor representatividad del funcionamiento hidráulico del sistema, readecuar las obras existentes y proponer nuevas alternativas de gestión.

Metodología

Se llevó a cabo un vuelo fotogramétrico con un VANT marca WingtraOne GEN II, consistente básicamente en un dron profesional de ala fija VTOL (despegue y aterrizaje vertical) muy utilizado para mapear grandes áreas (hasta 400 hectáreas en 1 hora), con una calidad y precisión de imagen sin precedentes. Los vuelos ocurren hasta un 80 por ciento más rápido que con el uso de multirrotores o métodos de topografía terrestre permitiendo, una reconstrucción de mapas más confiables y resultados más precisos. Genera una precisión en posicionamiento y altitud debido a su enlace continuo con un sistema de posicionamiento GPS con referencia PPK GNSS L1/L2.

Este equipo cuenta con una cámara RGB Sony a6100, de alta gama, lo cual permite capturar imágenes nítidas y detalles finos que se requieren para las aplicaciones de cartografía de área más exigentes. Las características principales de esta son:

Sensor 24 MP (Sensor APS-C)

GSD: Hasta 1.2 cm por pixel

Precisión horizontal absoluta: hasta 2 cm

Precisión vertical absoluta: hasta 4 cm

El área a relevar incluyó la zona de desembocadura de la cuenca Arroyo Monje, comprendiendo unas 460 hectáreas aproximadamente, con una altura de vuelo de 120 m (límite permitido de vuelo seguro), obteniéndose productos de 2.5 cm de resolución por pixel.

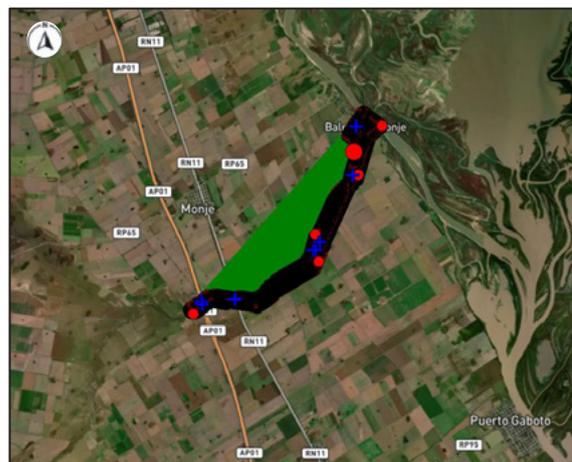


Figura 2.-Área relevada con VANT

Las mediciones realizadas con el VANT se vincularon al Marco de Referencia Nacional mediante post-proceso utilizando la Estación Permanente EPSF ubicada en la ciudad de Santa Fe. De forma complementaria, se realizaron mediciones con GPS Diferencial (a fines de obtener puntos de apoyo al vuelo) y con Sonda Hidrográfica dentro del cauce donde el VANT no pudo registrar información (debido a que posee sensor óptico, no de radar).

Se procesó la información del dron y se obtuvieron productos tales como Ortomosaico, nube de puntos con texturas, Modelo Digital de Elevación (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT). Este último se generó a partir de la clasificación por texturas de la nube de puntos, donde se tomó solo la información del terreno natural (suelo). A éste MDT mediante técnicas de SIG se le incorporaron los datos registrados en el cauce por la sonda.

Esto sirvió de insumo para realizar simulación hidráulica 2D utilizando el modelo HEC-RAS. Para la calibración del modelo se utilizaron datos de alturas hidrométricas y caudales registrados en la sección de Autopista y análisis de los anegamientos generados para el período simulado a través de imágenes de satélite de la misión Sentinel 2. Se generó una combinación de bandas (B11-B8-B3) que permitió reconocer espejos de agua del resto de la ocupación del suelo. El algoritmo de cálculo utilizado para ello resultó ser Google EarthEngine.

Este tipo de modelación permitió representar la interacción cauce – valle de inundación y cuantificar los caudales, velocidades y anchos de inundación en el tramo, para situación actual y considerando alternativas de intervención que mejoren la descarga del sistema.

Se realizaron simulaciones para tres escenarios:

- Escenario 1: Analizar el funcionamiento del tramo, en situación actual del sistema, considerando como caudal de ingreso el generado por un evento que provocó importantes anegamientos (Noviembre de 2018).
- Escenario 2: Analizar el funcionamiento del tramo, en situación actual del sistema, considerando como caudal de ingreso el generado para un evento de 100 años de recurrencia.
- Escenario 3: Analizar el impacto de una de las alternativas de obras simuladas con la modelación hidráulica 1D (en proceso).

Resultados

El MDT generado a partir del VANT junto a la información topobatómica del cauce, se consolidó en un único modelo, tal y como se ilustra a continuación.

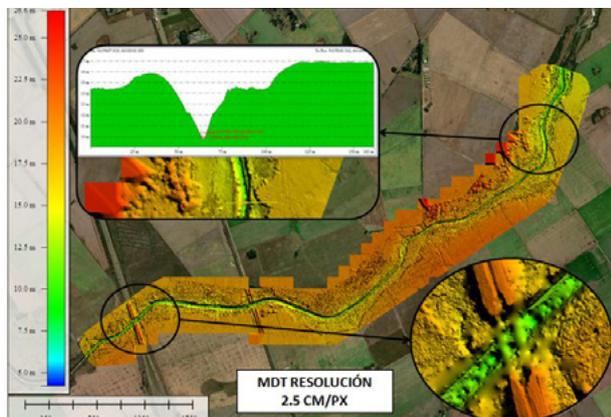


Figura 3.-MDT del área relevada

Este MDT se introdujo como insumo en el modelo hidrodinámico HEC RAS. Los resultados obtenidos para el

primer escenario de simulación resultó el siguiente:

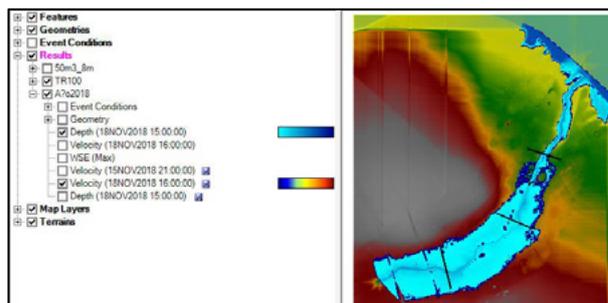


Figura 4.-Resultados preliminares modelación hidráulica HEC RAS

De la combinación de bandas de la imagen satelital Sentinel 2, obtenida para el día 18 de noviembre de 2018, se la introdujo en el modelo HEC RAS y se compararon los desbordes producidos en la zona simulada, para el Escenario 1:

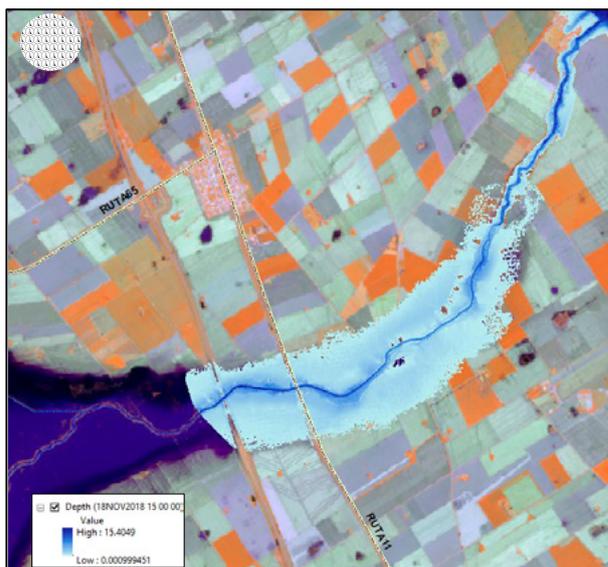


Figura 5.-Calibración de desbordes simulados

Con los resultados del Escenario 1 (calibración del modelo) se simuló el Escenario 2 y se encuentra en proceso el Escenario 3.

Conclusiones

En este trabajo se utilizó información topográfica obtenida a través de un VANT a fines de mejorar la representatividad del comportamiento hidráulico de un tramo del Arroyo Monje.

Se determinó un MDT de la zona cercana a la desembocadura del cauce y se lo complementó con información topobatómica medida con una sonda hidrométrica a fines de generar un único modelo digital de terreno que pueda ser utilizado para la realización de una modelación hidráulica bidimensional.

De la modelación llevada a cabo se concluye que para el primer escenario, los caudales simulados y observados resultaron semejantes (diferencias inferiores a los 20 m³/s). La mancha de inundación se ajustó perfectamente a la detectada con información satelital, con anchos anegados del orden de los 1500 m. La simulación del Escenario 2 arrojó valores de anchos de inundación apenas inferior al primer escenario con lo cual, se concluye que, el evento ocurrido en Noviembre de 2018 puede asimilarse a la de una crecida de TR 100 años. El tercer escenario se encuentra en desarrollo.

Estos resultados no se hubiesen logrado – representar adecuadamente el funcionamiento hidráulico en este tramo – sin la ayuda de una buena base topográfica.

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITES PARA LA CALIBRACIÓN Y APLICACIÓN DE VARIABLES EN MODELOS HIDROLÓGICOS

Agustina Spais⁽¹⁾, Adolfo Villanueva⁽¹⁾ y Gerardo Riccardi⁽²⁾⁽³⁾

⁽¹⁾Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional Litoral (INA.SCRL Santa Fe)

⁽²⁾Departamento de Hidráulica. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario (UNR. FCEIA. DH)

⁽³⁾ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (CIUNR).
E-mail: spaisagustina@gmail.com, aonvilla@gmail.com, gariccardi@gmail.com.

Introducción

La teledetección basada en satélites puede proporcionar una contribución valiosa para las simulaciones hidrológicas debido a su amplia cobertura espacial. La estimación de variables del ciclo hidrológico mediante el uso de datos de sensores remotos ha experimentado notorios avances en los últimos años. Hoy en día es posible acceder libremente a estimaciones de lluvia, humedad del suelo, altimetría, entre otras. Esto ha impactado en el ámbito de la modelación hidrológica, debido a que permite sortear las dificultades e incertidumbres antes mencionadas (Giordano, 2019).

Con las variables antes mencionadas captadas por sensores remotos, es posible mitigar la habitual escasez de información en tiempo y espacio. Una de las cuales resulta de especial interés para este trabajo es la humedad de suelo, como variable de estado.

En este trabajo se estudiará el uso de la humedad de suelo estimada a partir de imágenes de satélite y su combinación con diversos índices espectrales. La humedad de suelo será utilizada como variable auxiliar en el proceso de calibración, representando el estado de la cuenca. De los índices espectrales, el de mayor relevancia será el MNDWI, para representar el comportamiento espacial y temporal de los cuerpos de agua y algunas zonas con humedad. El área piloto de aplicación es la cuenca Las Encadenadas, ubicada al sur de la provincia de Santa Fe, Argentina.

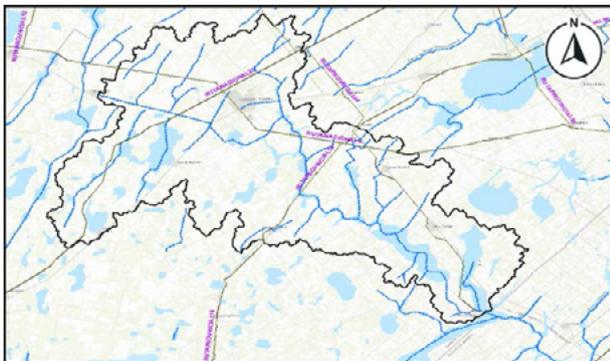


Figura 1.- Cuenca Las Encadenadas

Objetivo

Evaluar el potencial aporte de las imágenes satelitales como generadoras de variables auxiliares en la modelación matemática del proceso de transformación lluvia-escorrentía, en modelos hidrológicos, particularmente en la etapa de calibración.

Metodología

Inicialmente, se realizó un análisis de la humedad de suelo en puntos estratégicos de la cuenca, donde se contó con información de nodos de medición de la variable en campo.

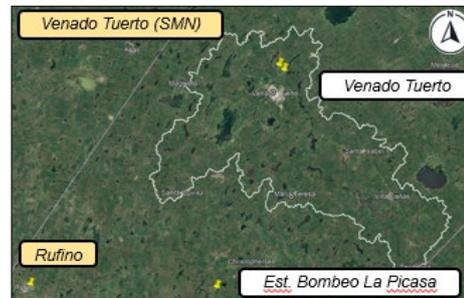


Figura 2.- Nodos de medición en campo de humedad de suelo

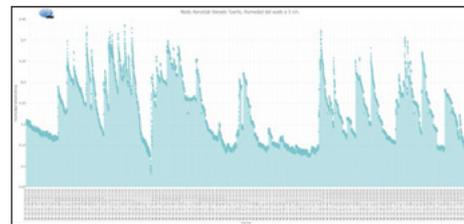


Figura 3.- Serie 2012-2020 Humedad volumétrica del suelo (venado Tuerto SMN)

Esta información se contrastó con la humedad de suelo medida por el satélite SAOCOM.

Los satélites SAOCOM 1A y 1B de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) llevan al espacio una compleja tecnología de observación de la Tierra: Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de atravesar las nubes, la vegetación y parcialmente el suelo. En lo que refiere a humedad, permite obtener información de agua en el perfil de suelo promediado hasta 50cm de profundidad.

De forma complementaria a este contraste, se realizó un análisis de la evolución espacio-temporal de los principales cuerpos de agua que componen la cuenca y de algunos sectores con humedad relevante, a partir del procesamiento de imágenes de Misiones Landsat y Sentinel y se determinaron índices espectrales (NDVI, NDWI, EVI y MNDWI) para detectar zonas de humedad alta, baja y presencia de agua en superficie. Un caso particular resultó el de utilizar el MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) para analizar el comportamiento espacial y temporal de las lagunas con el utilitario de cálculo de Google Earth Engine. El MNDWI es un índice que surgió como respuesta a la incapacidad del índice de diferencia de agua normalizado (NDWI) para separar territorios cubiertos de agua. Por este motivo Xu (2006) propuso modificar el NDWI reemplazando la banda del Infrarrojo Cercano (NIR) por la banda del Infrarrojo Medio (SWIR). Los valores de este índice varían entre -1 y 1, donde los valores superiores a cero corresponden a cuerpos de agua. La ecuación para estimarlo resulta:

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad [1]$$

Este índice se determinó considerando eventos donde los cuerpos de agua estuvieron con niveles bajos, medios y altos. A continuación, se detallan las fechas seleccionadas para el

análisis, las misiones utilizadas y sus respectivas bandas para la conformación del índice.

Tabla 1. – Fechas seleccionadas para el cálculo del MNDWI

Fecha	Condición	Misión	GREEN	SWIR
27 Enero 2017	Alta	Sentinel 2	B3	B11
18 Abril 2007	Alta	Landsat 5	B2	B5
09 Diciembre 2017	Media	Landsat 8	B3	B6
07 Noviembre 2020	Baja	Sentinel 2	B3	B11

Los niveles de agua de estos cuerpos son útiles para la calibración en modelos hidrológicos.

Valores de MNDWI entre 0 y 1 (cuerpos de agua) se enmascararon en una imagen y mediante técnicas de SIG se transformaron de formato ráster a vectorial (polígonos), a fines de determinar para cada escenario el área cubierta por las lagunas. El análisis se focalizó sobre dos cuerpos de agua de importancia donde se conocen sus características topográficas mediante un relevamiento batimétrico. Las mismas se denominan La Grigera y Las Encadenadas. A cada polígono de agua generado a partir de información satelital, se los asoció a una cota de terreno natural.



Figura 4.- Procedimiento para extracción de máscaras de agua

Resultados

De la comparación entre humedad de suelo captada por SAOCOM y la medida en campo, se obtuvieron los siguientes resultados:

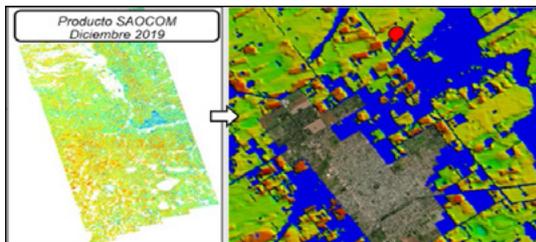


Figura 5.- Humedad de suelo SAOCOM – diciembre 2019

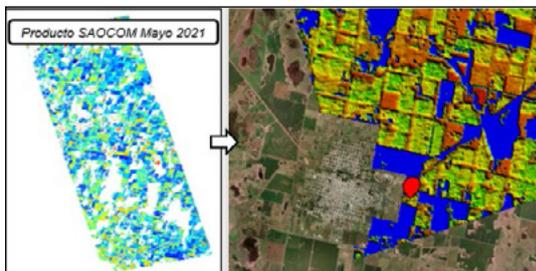


Figura 6.- Humedad de suelo SAOCOM – mayo 2021

Tabla 2. –Comparación valores de Humedad de Suelo

Fecha	Humedad Sensada	Humedad Volumétrica Campo
	[%]	[%]
05 Diciembre 2019	17.50	19.20
03 Mayo 2021	18.43	19.94

En lo que refiere a la evolución espacio temporal de los cuerpos de agua, utilizando el índice MNDWI, se obtuvieron los siguientes resultados:

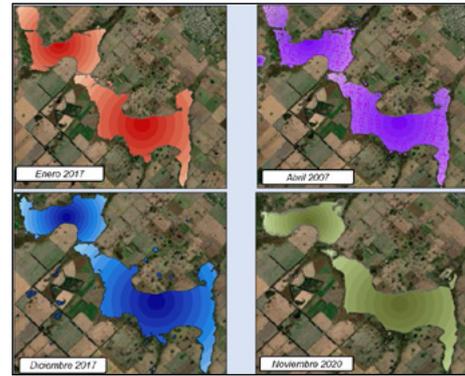


Figura 7.- Máscaras de MNDWI para condición de aguas altas, medias y bajas.

Tabla 3. –Evaluación de máscaras de MNDWI: Laguna La Grigera

Fecha	Área	Cota Pelo de Agua
	[ha]	[m]
27 Enero 2017	703.00	92.20
18 Abril 2007	567.00	91.55
09 Diciembre 2017	484.00	91.10
07 Noviembre 2020	378.00	90.50

Tabla 4. –Evaluación de máscaras de MNDWI: Laguna Las Encadenadas

Fecha	Área	Cota Pelo de Agua
	[ha]	[m]
27 Enero 2017	1210.00	91.20
18 Abril 2007	1085.00	90.90
09 Diciembre 2017	965.00	90.50
07 Noviembre 2020	935.00	90.40

Conclusiones

En este trabajo se utilizó información satelital para comparar la información de humedad de suelo medida con tecnología satelital de la misión SAOCOM con aquella relevada in situ. Los resultados indicaron que existe una buena correlación entre ambas metodologías, con diferencias inferiores al 2%, lo que sugiere que los datos satelitales pueden ser utilizados como variables auxiliares de calibración en la modelación hidrológica.

De la evaluación espacio temporal de los principales cuerpos de agua se deduce que el índice espectral (MNDWI) resultó útil para la visualización de la evolución. Los resultados serán utilizados para la elaboración de curvas altura – área en la simulación de almacenamientos en modelos hidrológicos.

Bibliografía

Giordano, L. (2019). “Uso del Índice Normalizado de Agua MODIS para monitoreo, modelación y pronóstico hidrológico en un gran sistema de llanura con morfología fluvial típica”, *Tesis Doctoral Universidad Nacional de Luján, Argentina*.

Xu, H. (2006). “Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 14, January 2006, pp. 3025-3033.

MODIFICACIONES DE MAPAS DE AMENAZA EN EL CANAL URBANO PUEBLO ESTHER DEBIDO A LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE RECANALIZACIÓN

Hernán Stenta⁽¹⁾, Carlos Scuderi⁽¹⁾, Gerardo Riccardi^{(1),(2)}, Pedro Basile⁽¹⁾ y Marina García⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (DH-CURIHAM, FCEIA, UNR). Argentina.

⁽²⁾ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (CIUNR). Argentina.

e_mail: hstenta@fceia.unr.edu.ar, cscuderi@fceia.unr.edu.ar, riccardi@fceia.unr.edu.ar, pbasile@fceia.unr.edu.ar, mgarcia@fceia.unr.edu.ar

Introducción

La representación de la dinámica del escurrimiento superficial en cuencas de llanura mediante modelación matemática resulta de importancia para sus diversas aplicaciones tales como estudios de zonas de amenaza y de impactos de medidas estructurales y no estructurales orientadas al saneamiento hídrico.

Sobre la base de un estudio integral en una cuenca hidrográfica; resulta de suma importancia, por ende, el conocimiento del comportamiento de las variables hidráulicas como ser caudal, velocidades y alturas de flujo en el tiempo y espacio con la finalidad de cuantificar los efectos de las diferentes acciones que se desarrollan en el interior del sistema hídrico.

El 15 de enero de 2017 ocurrió un evento lluvioso extraordinario afectando (entre otras) a la localidad de Pueblo Esther (sur de Santa Fe, Argentina). Ocurrió el desborde al A° Frías y del canal Urbano Pueblo Esther (CUPE). Este canal atraviesa un sector urbano de la localidad y en dicho evento varias familias han sido afectadas. Posteriormente, la autoridad hídrica provincial realizó una serie de obras (recanalización y obras de arte) para mejorar la seguridad hídrica del sector.

Este estudio aborda la cuantificación de las modificaciones de estas obras en términos de reducción de áreas de inundación y de niveles de agua para eventos de recurrencia de 10, 100 y 500 años y para el evento de enero de 2017 entre la situación previa y posterior a la ejecución de obras.

Objetivos

El objetivo general del trabajo es la cuantificación del impacto de las obras de reacondicionamiento (recanalización y obras de arte) en el comportamiento hidráulico del CUPE, mediante modelación matemática distribuida cuasi 2-D del escurrimiento superficial.

Materiales y Métodos

La cuenca del canal CUPE (Figura 1) tiene un área de aporte superficial de aproximadamente 13 km², con su zona alta en cercanías de la Autopista Ros.-Bs.As. con cota 31.25 m IGN y descarga en el río Paraná con cota de terreno natural cercana a los 17 m IGN. El sector alto de la cuenca es preponderantemente rural, pero el sector medio y bajo se encuentra urbanizado con diferentes grados de consolidación. Se identifican en el área de la cuenca las trazas del FFCC, la ruta RP16 y la RP21. La longitud máxima del escurrimiento se puede cuantificar en 6 km con una pendiente media de 2.3 ‰. El canal CUPE tiene la particularidad de que su traza se encuentra ejecutada por zonas bajas naturales (muy marcado aguas abajo de la RP16). En cambio, aguas arriba de la RP16 la traza se encuentra ejecutada por cunetas y espacios públicos que no son la parte baja natural de la zona de escurrimientos superficiales, por lo que existe en estas zonas un tránsito asociado al propio canal y un tránsito asociado a las zonas bajas naturales según lo constatado por medio de las curvas de nivel del IGN.

Se mencionan como trabajos antecedentes principales en la temática estudios realizados por SyD (2017); Stenta et al. (2022) y Scuderi et al. (2022).

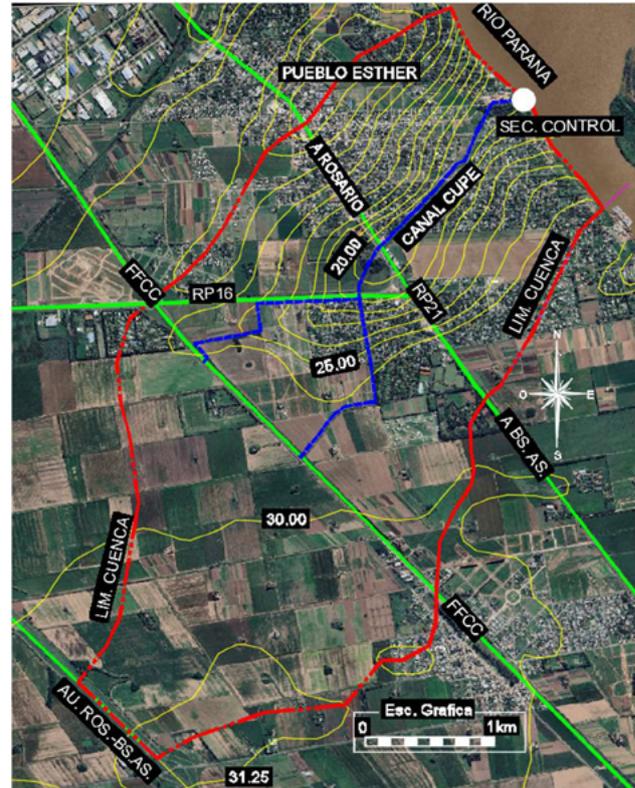


Figura 1.- Cuenca hidrográfica del Canal urbano Pueblo Esther (CUPE)

Como información de base se contó relevamientos topográficos de la zona del canal CUPE, cartas topográficas del IGN; recorridas de campo que permitieron cuantificar las dimensiones del canal y obras de arte una vez ejecutadas las obras posteriores a la inundación del año 2017 y definición de eventos extremos de recurrencias 10, 100 y 500 años y 5 días de duración, originalmente planteados debido a otro evento extraordinario ocurrido entre los días 25 y 30 de abril de 2007 (DH-CURIHAM, 2008)

Para la modelación matemática distribuida se utilizó el sistema de modelación matemático hidrológico-hidráulico, físicamente basado y espacialmente distribuido cuasi-bidimensional, basado en un esquema de celdas interconectadas; denominado VMMHH 1.0 (Riccardi et al., 2013).

El modelo se constituyó incluyendo las características altimétricas; de almacenamiento y de tránsito en celdas tipo valle y río, terraplenes carreteros y ferroviarios y las obras de arte (puentes y alcantarillas); condiciones de alturas de agua iniciales, condiciones de borde agua abajo en la descarga del río Paraná y los eventos de lluvia estudiados indicados.

El modelo se constituyó finalmente con 5300 elementos de 50 m de lado (5142 tipo valle y 158 tipo río); 211 vinculaciones tipo terraplén (FFCC, RP21 y RP16) y 12 vinculaciones tipo alcantarilla/puente.

Evaluación de Resultados

A partir de la explotación del modelo matemático, se obtienen las variables de flujo en términos de caudales; alturas de agua y

velocidades para todo tiempo en todo el dominio espacial; para ambas situaciones (previa y posterior) y para los 4 escenarios considerados.

A los fines de este trabajo, se centró la evaluación de resultados en términos de cotas de pelos de agua con la finalidad de determinar las zonas de inundación para ambas situaciones y los diferentes escenarios de lluvia.

Los mapas de altura de agua permitieron elaborar las zonas de inundación en la traza del canal CUPE desde aguas arriba en el FFCC hasta su descarga en el río Paraná. También se elaboraron los perfiles longitudinales (fondo, terreno natural y línea piezométrica) sobre la traza del canal.

A modo de ejemplo, en la Figura 2 se muestra la zona de inundación para R = 10 años entre la situación previa y la situación posterior a obras.

En forma general, los resultados indican que se obtiene una reducción del área de inundación del 28% para R = 10 años; del 14% para R = 50 años; del 8% para R = 500 años y del 15% para el evento de enero de 2017. El detalle de las áreas afectadas para los diferentes escenarios se muestra en la Tabla 1.



Figura 2.- Manchas de inundación. Recurrencia 10 años. Situación Previa y Posterior a Obras.

Tabla 1.- Áreas de inundación y porcentaje de reducción. Comparación Situación previa y posterior a obras.

	Área de afectación [ha]		Reducción [%]
	Sit. Previa	Sit. Posterior	
R=10 años	93	63	28
R=100 años	124	106	14
R=500 años	143	131	8
Enero/2017	123	105	15

En términos de niveles de agua considerando en promedio los valores a la largo de la traza se obtiene una reducción de 0.25 m para R = 10 años; de 0.18 m para R = 50 años; de 0.15 m para R = 500 años y de 0.17 m para el evento de enero de 2017.

Los resultados indican que las mayores reducciones se alcanzan para las recurrencias menores, es decir, a medida que se incrementa la recurrencia se achica el porcentaje de reducción del área anegada y la reducción de los niveles de agua.

Desagregando los resultados y considerando como limite la RP16 se evidencia que se obtienen mayores porcentajes de reducción del área inundada hacia aguas abajo de la RP16.

Conclusiones

Se estudió el impacto de las obras de recanalización y ejecución de obras de arte en el canal CUPE (Pueblo Esther, Santa Fe) en términos de áreas de inundación y niveles de agua considerando la situación previa y posterior al evento de enero de 2017 y otros escenarios hipotéticos.

Se obtienen porcentajes de reducción entre un 28% para R = 10 años hasta un 8 % para R = 500 años y reducciones de niveles de agua de 0.25 m para R = 10 años hasta 0.15 m para R = 500 años

Se evidencia la utilidad de modelación matemática distribuida cuasi-2-D en estudios vinculados a la zonificación de áreas de afectación.

La metodología utilizada puede ser aplicada en cuencas de la región con el objeto de enmarcar las posibles zonas de amenaza en sectores urbanos del sur de la provincia de Santa Fe.

El trabajo resulta de utilidad para ampliar el conocimiento en: i) la definición de zonas de riesgo, ii) la propuesta de medidas estructurales y no estructurales para reducir la amenaza; iii) promover un plan de ordenamiento territorial en base a la definición de las zonas de riesgo; iv) elaborar planes de contingencia; v) elaborar un sistema de alerta temprana contra inundaciones.

Futuras investigaciones pretenden ampliar este estudio realizando: i) la elaboración de mapas de vulnerabilidad y riesgo y ii) la comparación entre las zonas de inundación elaboradas por el ECOM (2017) y por INCOCIV (2013), este último, en el marco de la aplicación de la ley 11730 de la provincia de Santa Fe.

Agradecimientos: a los Proyectos 80020190300002UR y 80020190300073UR y al personal técnico de la Municipalidad de Pueblo Esther.

Referencias Bibliográficas

- DH-CURIHAM** (2008). "Rehidrología y modelo de simulación a tiempo real en sistema de alerta hidrológico en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo". Informe de Avance 1. Departamento de Hidráulica y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, FCEIA, UNR. Convenio entre MASPyMA y FCEIA-UNR. 158 págs.
- ECOM** (2017) "Pueblo Esther 2030: Plan urbano local". *Ente de Coordinación Metropolitana*. 1ª ed. Rosario: ECOM. 114 p. ISBN 978-987-45382-6-0.
- INCOCIV** (2013) "Implementación de la ley provincial N° 11.730. Zonificación y regulación del uso del suelo en áreas inundables en sistemas hídricos de la provincia de Santa Fe" Informe final mapa de áreas afectadas por inundaciones 3360-20-2 - Villa Gobernador Gálvez. Provincia de Santa Fe. Proyecto de prevención de inundaciones y drenaje urbano (PIDU). Subsecretaría de proyectos de inversión y financiamiento externo (SPIFE)
- Riccardi, G., Stenta, H., Scuderi, C., Basile, P., Zimmermann, E., Trivisonno, F.** (2013). "Aplicación de un modelo hidrológico-hidráulico para el pronóstico de niveles de agua en tiempo real", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. IV, núm. 1, pp. 83-105.
- Scuderi, C.; Comini, G.; Stenta, H. y Riccardi, G.** (2022) "Vulnerabilidad social ante inundaciones en el sector urbano de la localidad de Pueblo Esther". *Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación. Libro de Resúmenes*. ISBN 978-987-702-605-4
- Stenta, H.; Scuderi, C.; Riccardi, G. y Basile, P.** (2022) "Estudio del impacto de las obras de reacondicionamiento del canal urbano Pueblo Esther, Provincia de Santa Fe". *Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación. Libro de Resúmenes*. ISBN 978-987-702-605-4
- SyD** (2017) Proyecto: Reacondicionamiento canal interno. Comuna de Pueblo Esther. SyD Ingenieros Asociados.

SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA APRHI CÓRDOBA

César Suaya¹ - Horacio Herrero¹ - Erica Díaz¹ - Tomás Agustín Moyano Reartes² - Victoria Chiodi¹
- Alejandro Aleksinkó¹ - Agustín Cánovas² - Marcelo Loza² - Gino Mosconi²

¹ Administración Provincial de Recursos Hídricos APRHI.
Humberto 1° 607, Córdoba, CP 5000, Provincia de Córdoba
Tel. 0351-4321200
cesarsuaya@gmail.com
alejandro.aleksinko@cba.gov.ar
ingvictoriachiodi@gmail.com

² Ciampagna.
Pasaje Santo Tomás 341, Córdoba, CP 5000, Provincia de Córdoba
Tel. 0351-4259096
tomas.moyano@ciampagna.com
agustin.canovas@ciampagna.com
marcelo.loza@ciampagna.com
gino.mosconi@ciampagna.com

Introducción

La Administración Provincial de los Recursos Hídricos (APRHI) de la provincia de Córdoba es un organismo encargado de la gestión y administración del agua en la región. Sus funciones principales incluyen el control y la regulación de este recurso, el monitoreo de los cursos y cuerpos de agua, así como la promoción de la participación ciudadana en su gestión. La APRHI trabaja en estrecha colaboración con otras instituciones y actores relevantes a nivel provincial y nacional, con el objetivo de promover una gestión integrada de los recursos hídricos.

Uno de los pilares en lo que se apoya esta gestión integrada de los recursos hídricos, es el manejo de los datos y la información que proporciona la red de medición que se encuentra instalada en gran parte del territorio provincial. Esta red instalada nos permite conocer los aspectos de cantidad y calidad del recurso hídrico de la provincia, y caracterizar al mismo.

Es así que, el Sistema de Información Hidrometeorológica (SIHM) surge con la finalidad de integrar y difundir la información proveniente de sensores hidrometeorológicos pertenecientes a diversas instituciones en la provincia de Córdoba.

Descripción del Servicio

El SIHM se trata de un Sistema de Información Geográfica que recopila, analiza y gestiona datos hidrometeorológicos de la región, generando información que es utilizada para diversos fines, tales como la planificación y la toma de decisiones. Además, permite la representación de los datos a través de mapas y visualizadores, lo que facilita el acceso y la comprensión de la información para los usuarios y el público en general.

El servicio concentra el resultado de más de 25 años de trabajo con datos meteorológicos de la provincia de Córdoba. La gestión y la instalación de las estaciones meteorológicas se tecnificaron fuertemente a partir del año 2017 con la puesta en funcionamiento de la Administración Provincial de Recursos Hídrico (APRHI), y luego, en 2019, con el lanzamiento del Portal de Información Hídrica de Córdoba (PIHC).

Por un lado, el SIHM cuenta con una versión pública que presenta los datos procesados de las estaciones hidrometeorológicas, en visualizadores, mapas y gráficos. Por otro lado, cuenta con una versión interna que, además, permite monitorear el estado de las estaciones en tiempo real.



Sistema de información que permite consultar los diferentes elementos climáticos y sus valores en tiempo real e histórico.



Figura 1.- Portada del SIHM.

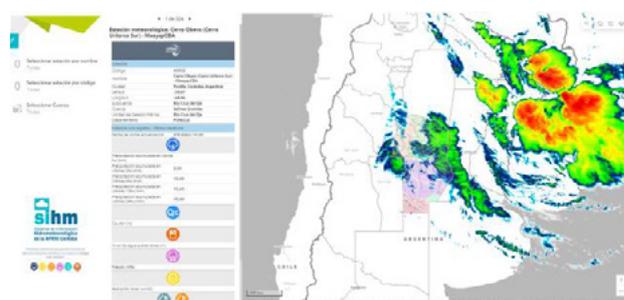


Figura 2.- SIHM en su versión pública.

Actualmente en el SIHM se puede consultar información actualizada de diferentes variables hidrometeorológicas (Precipitación, Temperatura, Radiación solar, Viento, Presión, Nivel de embalses y Nivel freático), con datos casi en tiempo real y una frecuencia de 10 minutos. Estos valores provienen de una red conformada por 313 estaciones automáticas. Las estaciones que integran este sistema pertenecen al Ministerio de Servicios

Públicos, APRHI, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Municipios de la provincia, Red Si.NA.Ra.Me. y la Empresa Provincial de Energía de Córdoba.



Figura 3.- Módulo interno del SIHM que permite monitorear el estado de las estaciones.

A la vez, el SIHM posibilita a través de un módulo específico, la descarga de datos meteorológicos de las variables Precipitaciones y Temperatura para el público en general a fin de facilitar la apertura de datos meteorológicos históricos en distintos recortes temporales, para usos académicos u otros fines.

Conjuntamente, el SIHM es alimentado por valores que surgen de campañas de mediciones manuales (aforos de caudales y niveles), que se realizan periódicamente desde la APRHI, y que se complementan con la información provista por las estaciones meteorológicas.

Como resultado, la información generada, y su vinculación permanente con otros sistemas, permite mejorar la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos, con el objetivo específico de garantizar la seguridad hídrica de la provincia.

Discusión

A través del desarrollo e implementación del Sistema de Información Hidrometeorológica (SIHM) y sus herramientas, utilizando la inteligencia geográfica para optimizar la gestión de datos, provenientes tanto de la red de estaciones meteorológicas instaladas en el territorio provincial como de campañas de mediciones, se logra mejorar significativamente la toma de decisiones. Esto a su vez permite una colaboración efectiva en la implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), al incorporar procesos de manejo sistematizado de información a través de aplicaciones web, móviles y tableros de control.

Link: <https://sihm-aprhi.opendata.arcgis.com/>

SISTEMATIZACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN LA REGIÓN NORESTE DE GENERAL PICO – LA PAMPA

María Florencia Terré, Gustavo Francisco Peuser, Franco Leonel Gimenez, Dayana Brizuela, Germán Briñon y Osvaldo Guillermo Mena

Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
florenciaterre@hotmail.com, peuserg@outlook.com, gimenez.fl@outlook.com, dayanajbrizuela@mi.unc.edu.ar, germanbrinon@gmail.com, guillermena@gmail.com

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Asistencia a Municipios, con el objetivo de elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de Macro Drenaje Urbano. En este trabajo se presentan el estudio realizado sobre la ciudad de General Pico.

En primer lugar, se presenta una descripción de la situación actual y de la problemática. Posteriormente, una descripción de la zona de estudio, las propuestas de solución, la modelación hidrológica e hidráulica realizada de la situación actual y con las obras propuestas para mitigar los problemas de anegamientos y, finalmente, se exponen los principales resultados obtenidos.

Descripción general y problemática

General Pico se encuentra emplazada al norte de la provincia de La Pampa, se localiza en una zona de escasas pendientes, siendo las mismas del orden de 0,05%, motivo por el cual el escurrimiento generalmente no se encuentra encauzado, escurriendo a mantos hasta las depresiones naturales del terreno.

La problemática a tratar se relaciona con las inundaciones acontecidas en General Pico, en dicha localidad se producen anegamientos frecuentes en diferentes sectores, quedando algunas zonas urbanas con permanencia de agua y tirantes que superan el cordón cuneta. Esto se debe a que la red existente, conformada por alcantarillas y canales, posee escasa capacidad y muy bajas pendientes por lo cual las velocidades son bajas y los tirantes altos.

La ciudad puede dividirse en tres cuencas urbanas principales de las cuales el presente estudio analizará la Cuenca Norte donde se destacan dos sectores con problemáticas a resolver (Figura 1).

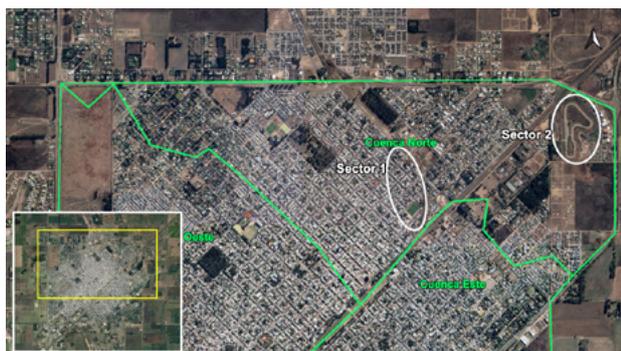


Figura 1.- Identificación de los dos sectores a intervenir

El sector 1 se encuentra al oeste de las vías del ferrocarril, los escurrimientos de esta zona se ven limitados por la barrera física que conforma el terraplén de dicha obra.

En el sector 2 existe un proyecto de urbanización que contempla la ejecución de un lago artificial el cual tiene, dentro de sus objetivos, captar aguas pluviales de la zona urbanizada.

Caracterización hidrológica de cuencas y sub-cuencas

La ciudad se encuentra en la región denominada Pampa húmeda, rodeada de cuerpos de agua subterráneos.

Con respecto a la dinámica hídrica superficial, la zona de estudio no presenta una red de drenaje jerarquizada el escurrimiento es de tipo mantiforme con desagüe en depresiones que conforman cuerpos lagunares temporarios con orientación general SSW-NNE.

Desde la Geología y geomorfología se puede mencionar que desde el límite norte de la provincia de La Pampa hasta la línea aproximada que une las localidades de General Pico y Trebolares se advierte un relieve plano a suavemente ondulado con médanos bien definidos.

Propuestas de solución

Como medidas de mitigación ante inundaciones se plantea utilizar la red de drenaje pluvial como se encuentra actualmente en la ciudad y se le adicionarán a la misma dos reservorios para contener los picos de caudales de producidos por tormentas de mayores recurrencias, además se busca laminar los hidrogramas y disminuir el tiempo de permanencia de los altos niveles de agua que actualmente acontecen en la ciudad. Las ubicaciones de los reservorios se presentan en la Figura 2.



Figura 2.- Ubicación de los dos reservorios propuestos

El reservorio 1 tiene como obra reguladora a la salida una alcantarilla situada en el terraplén de las vías del ferrocarril (Alc-01), y el reservorio 2 está conformado por dos cuerpos de aguas, uno principal y otro menor denominado en el proyecto de Parque Urbano como “lago rebalse”, tendrá un vertedero con dos umbrales, la cota del primer umbral será igual a la cota del espejo de agua permanente, definida en el proyecto urbanístico, y la cota del segundo umbral será 20 cm superior a la del primer umbral, de esta forma se permite almacenar un volumen aproximado de 12.000m³ y una vez superada la segunda cota el excedente hídrico ingresa por completo a la obra de recepción aguas abajo (en este caso la alcantarilla situada en la avenida de circunvalación). En la Figura 3 se presenta un detalle del reservorio 2.



Figura 3.- Detalle de obra en Reservoirio 2.

Modelación hidrológica e hidráulica

Para el diseño de los reservorios y la verificación hidráulica de los canales pluviales existentes en la localidad de General Pico se empleó el modelo de gestión de aguas pluviales EPA SWMM (Storm Water Management Model) de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (USEPA, U.S. Environmental Protection Agency), es un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico - hidráulico de un sistema de drenaje urbano.

SWMM utiliza un modelo de embalse no lineal para estimar la escorrentía superficial producida por las precipitaciones en una subcuenca, conceptualizando a cada una como una superficie rectangular que tiene una pendiente uniforme S y una anchura W que drena a un único canal de salida.

Para la modelación se subdividió la cuenca en siete subcuencas. Los principales parámetros geométricos que caracterizan a cada subcuenca son: el área de escurrimiento (A), el perímetro (P) y la longitud media del flujo (L), los mismos fueron medidos de forma directa a partir de la planimetría e imágenes satelitales. Los anchos de escurrimiento (W) fueron obtenidos como la relación entre el área y la longitud media del flujo para cada subcuenca:

$$W = A/L \quad [1]$$

La duración de la tormenta de diseño debe superar el tiempo de concentración de la cuenca, se define entonces una duración igual a dos horas y se aplica el método de bloque alterno con pico en el segundo sextil. Debido a la magnitud de las obras se utilizarán recurrencias de 5 años y 10 años.

El sistema hidráulico modelado se encuentra constituido por los canales y conducto existentes en la localidad y para considerar el aporte de las cuencas urbanas al oeste se modelaron las últimas calles antes de desembocar en el canal.

Se simularon dos escenarios, el primero que representa la situación actual del sistema de desagües de general pico y el segundo una simulación con las obras proyectadas, donde se adicionaron dos reservorios y se realizaron los ajustes correspondientes en relación a las conexiones aguas arriba y debajo de los mismos.

En la Figura 4 se presenta una imagen de la modelación en la interfaz gráfica de SWMM.



Figura 4.- Esquema topológico del sistema pluvial con las obras propuestas.

Resultados y conclusiones

Uno de los puntos de control que se consideró en el análisis de los resultados es la intersección de las calles Quinquela Martín y calle 15, ya que en este punto los vecinos testimoniaron que el nivel de agua sube por encima de cordón vereda y permanece un tiempo prolongado. En las modelaciones se identifica como un nodo denominado N-27. Para poder validar el modelo se realizó una estimación de la altura alcanzada en eventos extremos, a partir de los testimonios e información relevada en campo.



Figura 5.- Niveles en intersección de calle Quinquela Martín y calle 15.

En las calles el cordón cuneta tiene una altura de aproximadamente 30cm, en el escenario sin obras dicha altura se supera mientras que con las obras propuestas el nivel máximo de inundación es inferior y el tiempo de permanencia también.

Por otro lado, para comprender la repercusión de este conjunto de medidas estructurales se realiza un gráfico de los hidrogramas, para una tormenta de diseño de recurrencia de 10 años, donde se compara en la salida del reservorio 2 (alcantarilla 10) los resultados de la modelación sin obras y con las obras propuestas.



Figura 6.- Hidrograma de salida en Reservoirio 2 para tiempo de recurrencia de 10 años (TR10)

Como se puede observar en la figura anterior se produce una laminación en el reservorio, con una reducción del caudal pico de aproximadamente del 30% para el evento de 10 años de recurrencia.

Referencias Bibliográficas

EPA SWMM (2005). "Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 VE. Manual de usuario". Traducción al Español por GMMF.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1994). "Hidrología Aplicada". McGraw – Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia.

CHOW, V. T.; (1958). "Hidráulica de canales abiertos". Mc Graw-Hill.

TUCCI, C. E. M. (Organizador), (1993), "Hidrología Ciência e Aplicação", Editora da Universidade, Brasil.

BALANCE HIDROLÓGICO DE CUENCA DE JESÚS MARÍA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Tini Gisella^{1,2}, Zgrablich Andrés^{1,2}, Guida Juan Pablo^{1,2}, Sánchez Juan^{1,2}, Paredes Lucia^{1,2}, Rodríguez Andrés^{1,2}

¹Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)
²Observatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC)

gisella.tini@mi.unc.edu.ar; saz@agro.unc.edu.ar; juanpabloguida@mi.unc.edu.ar; juan.sanchez@mi.unc.edu.ar;
lparedes@mi.unc.edu.ar; andres.rodriguez@unc.edu.ar

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo la cuantificación de la disponibilidad de agua en la cuenca integrada de los ríos Jesús María y Pinto, de la Provincia de Córdoba, Argentina. Adicionalmente se busca mejorar el conocimiento disponible sobre el sistema hidrológico e hidrogeológico, estimar el peso relativo de cada componente del balance hídrico y contribuir al desarrollo de un modelo de pronóstico hidrológico para la misma.

El sector productivo agropecuario en Argentina requiere de la disponibilidad de recursos hídricos para obtener resultados económicos favorables, ya sea a través del aprovechamiento del agua de lluvia, de los escurrimientos superficiales o subterráneos, los cuales son aprovechables por los sistemas de riego.

La variabilidad climática estacional condiciona la oferta hídrica, siendo fundamental la tarea de comprender el comportamiento del sistema hidrometeorológico para brindar respuestas a corto y mediano plazo (Gavilán et al, 2019). Existen en la actualidad diversas tecnologías vinculadas al monitoreo hídrico regional, como los sensores remotos (satélites, radares, estaciones meteorológicas automáticas, entre otros). Es posible cuantificar la precipitación puntual mediante estaciones meteorológicas convencionales provistas de pluviómetros. Asimismo, los sensores de nivel permiten determinar el caudal de un curso de agua superficial en una sección dada, mientras que los pozos con frentímetros cuantifican el agua subterránea.

En la actualidad, el uso de modelos de Predicción Numérica del Tiempo (PNT) para la generación de pronósticos meteorológicos regionales se está volviendo cada vez más frecuente. Esta aplicación conjunta de herramientas predictivas y sistemas de medición, junto con un estudio exhaustivo de la cuenca, ofrece la posibilidad de gestionar de manera localizada los recursos hídricos, lo cual resulta de gran utilidad para el sector productivo agropecuario (Rodríguez, 2022). Para ello, es necesario el monitoreo e integración detallada de distintas variables meteorológicas mediante la instalación de sensores remotos emplazados en puntos específicos dentro de este dominio que permitan obtener información cuantitativa acerca de precipitación, infiltración, evapotranspiración, escurrimientos superficiales y recarga de agua subterránea, entre otros (Montamat 2018).

Existe una vinculación científico-técnica de la Sociedad Rural de Jesús María (SRJM), la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRH), el Laboratorio Hidrometeorológico de la Universidad Nacional de Córdoba (LHM) y Observatorio Hidrometeorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC) responsables de la obtención, desarrollo y análisis de los resultados que obtienen los productores agropecuarios para la toma de decisiones futuras.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es mejorar el conocimiento del sistema hidrológico e hidrogeológico de la cuenca, desarrollar un modelo de pronóstico preciso y promover la adopción de tecnologías de predicción hidrometeorológicas en la producción agropecuaria. Estos objetivos buscan optimizar la gestión de los recursos hídricos, contribuir a la toma de decisiones y a la sustentabilidad del sistema de producción primaria, reduciendo los riesgos en la actividad agropecuaria asociados a la variabilidad climática.

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en los Departamentos Colón, Río Primero, Totoral, Ischilín, y Tulumba, pertenecientes a la Provincia de Córdoba, Argentina. La cuenca se sitúa en el sector centro-norte de la Provincia de Córdoba, Argentina, con una superficie aproximada de 3.000 Km². (Figura 1.)

Tiene su nacimiento hacia el Oeste en las Sierras Chicas y se desarrolla hacia el Este en sentido meridional, teniendo su nivel de base en los bañados de la Laguna Mar Chiquita.

En cuanto a la cuenca bajo estudio, está compuesta por dos ríos principales, el Río Pinto (Norte) y Jesús María (Sur).

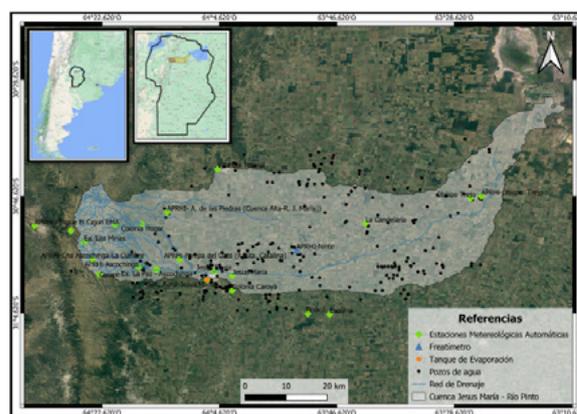


Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio.

Materiales y Métodos

El proyecto cuenta con las siguientes herramientas:

1) Sensores Remotos y modelos de pronóstico meteorológico:

a) *WRF (Weather Research and Forecasting)*: modelo numérico atmosférico de pronóstico del tiempo de alta resolución, que se ejecuta en el LHM de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), en el marco del OHMC.

b) **Radar meteorológico RMAI**: instalado en el año 2015 en el predio de Ciudad Universitaria de la UNC. Está equipado con tecnología Doppler, de banda C con doble polarización simultánea y tiene un alcance de 480km en modo vigilancia, 240km en modo intensidad y 120km en modo Doppler.

c) **SAOCOM**: El Satélite Argentino de Observación con Microondas Saocom 1A con instrumentos SAR en banda-L que estima contenidos de agua acumulados en los primeros 50cm de suelo. Fue desarrollado y fabricado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) junto con empresas y organismos como INVAP, VENG y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) permite estimar la humedad del suelo en la región pampeana a una escala de resolución de 100 metros.

2) **Estaciones meteorológicas automáticas (EMAs)**: Actualmente se encuentran operativas un total de 19 (diecinueve) estaciones pertenecientes a organismos como la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHi), Instituto Nacional del Agua (INA-Cirsa) y a la BCCBA (Bolsa y Cámara de Cereales de Córdoba) y Ministerio de Agricultura.

3) **Estaciones de nivel**: En la cuenca alta existen tres estaciones de nivel con dependencia pública: dos pertenecientes a la Red Hidrológica Nacional y una al Instituto Nacional del Agua.

4) **Freatímetros**: Son instrumentos diseñados para la medición de la altura y variación del nivel superior del agua en un acuífero, denominado nivel freático o capa freática, asimismo son utilizados para la medición de los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea.

Se evalúa el estado actual de cada instrumento de monitoreo, su ubicación exacta, si requieren mantenimiento, la cantidad y calidad de la información que brindan, la ventana temporal de los datos disponibles y la posibilidad de instalar nuevos instrumentos mejorar el monitoreo de la cuenca y así brindar mayor exactitud a los resultados obtenidos a través de sensores remotos.

Productos derivados

Con las herramientas mencionadas, se obtiene para la cuenca el mapa de precipitación acumulada en un periodo de 10 días y su efecto en la reserva de agua en el suelo a 50cm de profundidad al final de dicho periodo (**Figura 2**).

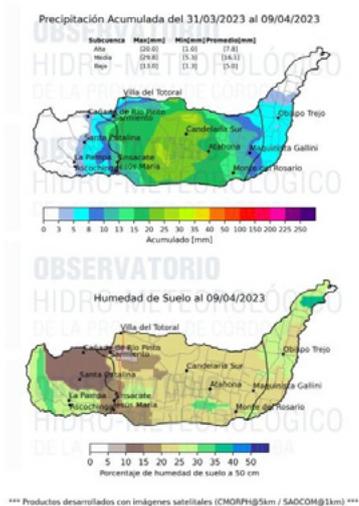


Figura 2.- Mapa de precipitación acumulada y reserva de agua en suelo. Cuenca integrada de Jesús María Río Pinto.

Además, se encuentra en fase de investigación la aplicación de un modelo hidrológico distribuido llamado WRF-hydro capaz de modelar diversos eventos de lluvia y poder pronosticar la cantidad de agua escurrida e infiltrada en dichos eventos.

Conclusiones

Mediante la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo, se ha logrado obtener un producto altamente beneficioso para la gestión agrícola, que proporciona un balance hídrico a corto plazo (10 días) y ofrece una visión global del contenido de humedad del suelo a 50 cm de profundidad. La disponibilidad de esta información es crucial para el productor, ya que le permite tomar decisiones más eficientes en el manejo de recursos, al mismo tiempo que reduce los riesgos agrícolas vinculados a la variabilidad climática.

Sin embargo, para mejorar la calidad y precisión de la información en el balance hídrico, es necesario incorporar un mayor instrumental de monitoreo y tecnologías más precisas. Así, se podrán obtener datos más fiables y detallados sobre las variables involucradas en el balance hídrico.

Este enfoque es relevante en el contexto de la cuenca, donde mejorar el conocimiento de los recursos hídricos contribuye significativamente a una mayor sustentabilidad del sistema de producción primaria. Al permitir una gestión más detallada y consciente de los recursos, se promueve la optimización de su uso y la conservación de los mismos, lo que a su vez impulsa un desarrollo agrícola más sostenible y resiliente en el tiempo. En consecuencia, la incorporación de tecnologías avanzadas de monitoreo representa una herramienta fundamental para la toma de decisiones basadas en evidencia científica y para el fortalecimiento de la producción agrícola en armonía con el entorno natural.

Referencias Bibliográficas

- Catalini C., Rico A., Barbeito O. (2017). "Estudio Hidrológico del Río Guanusacate en su paso por el área urbana de Jesús María". Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semiárida.
- Gavilán, S. (2019). "Modelado del Balance Hídrico a partir de datos satelitales y meteorológicos para el análisis de los flujos superficiales del ciclo hidrológico". Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata (UNLP).
- Giacosa, R. H. y Paoli, C. (2001). *Balance hídrico y su relación con la evolución de niveles freáticos en un área de llanura de la República Argentina*. En Medina y Carrera (eds) *Las caras del agua subterránea*, 2: 233-240. España.
- Guillén N., Eder M. et al (2017). "Ordenamiento de los escurrimientos hídricos de las cuencas de los ríos Carnero, Guanusacate, Pinto, Los Místicos y otros". Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba.
- Montamat, I., Saffe, J., Martina, A., Poffo, D., Rodríguez Glez., S., Castelló, E. y López, F. (2018). "Integración de Datos de Sensores para Monitoreo y Alerta Hidrometeorológico y Ambiental en el Observatorio Hidro-Meteorológico de Córdoba (OMHMCA)", IV Congreso Argentino de Ingeniería – X Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería 19 al 21 de septiembre de 2018 – Córdoba, (paper 304).
- Rodríguez, A., Herrero, H., Lighezzolo, A., García C.M, Catalini C, López F, Castelló E, Díaz E y Guillén N. (2018). "Nuevas capacidades para Monitoreo, Seguimiento, Pronóstico y Análisis de Eventos Hidrometeorológicos en el OMH Córdoba", VI Taller sobre Eventos Hidrometeorológicos Extremos, Mendoza. ISBN 978-987-45194-8-1.
- Rodríguez, A., Pagot, M., Hillman, G., Pozzi, C., Plencovich, G., Caamaño N, G., Curto, E. y Bucher, E. (2006). "Modelo de Simulación Hidrológica, Capítulo 4 del libro Bañados del Río Dulce y Laguna de Mar Chiquita (Córdoba, Argentina)" (E. Bucher, Ed), Academia Nacional de Ciencias, (Córdoba, Arg.), pgs. 57-77. ISBN: 987-98313-6-5.

EFFECTO COMBINADO DE TEMPERATURAS Y RIEGO DEFICITARIO INVERNAL SOBRE LA PRODUCCIÓN EN EL OLIVAR (*OLEA EUROPAEA L.*)

Martín Tivani^{1*}, Mariela Torres¹, María Pía Gomez¹, Valerio Mastio¹, Luciana Gentili, Cibeles Contreras¹, Damián Maestri², Pierluigi Pierantozzi¹.

¹Estación Experimental Agropecuaria San Juan, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), San Juan, Argentina.

²Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

*tivani.martin@inta.gob.ar

Introducción

Algunas de las principales zonas olivícolas de producción de nuestro país, como San Juan, La Rioja y Catamarca, presentan condiciones ambientales diferentes a las zonas de origen del cultivo. Uno de los problemas más relevantes es la insuficiencia de la oferta de frío invernal, lo cual conlleva a una floración deficiente. Algunos autores han observado, que tanto el frío invernal como el estrés hídrico producen efectos similares en el olivo (Rallo y Martín, 1991; Pavel y Fereres, 1998; Malik y Bradford, 2006; Contreras y Fichet Lagos, 2012; Pierantozzi et al., 2013).

Objetivo

Este trabajo se propone evaluar el efecto combinado de un riego deficitario controlado y tres niveles de temperaturas nocturnas durante el periodo invernal, como estrategia de manejo para suplir la falta de horas de frío en el olivar.

Materiales y métodos

Se utilizaron plantas de olivo de 7 años del cv. Arbequina, dispuestas en macetas, bajo condiciones controladas en invernáculo. Las mismas se sometieron a diferentes combinaciones de tratamientos de temperaturas y riego controlado, hasta inicio de formación floral visible. Los tratamientos de temperatura (nocturna) fueron: **Alta**: superior a 12°C, **Media**: superior a 9°C e inferior a 12°C, **Baja**: inferior a 9°C y **Exterior**: Temperatura ambiente (control). Para todos los tratamientos, la temperatura diurna se mantuvo por debajo de 24°C (Malik y Pérez, 2011).

Los tratamientos de riego fueron: **Riego normal**: Aporte de la totalidad del requerimiento hídrico, y **Riego deficitario**: aporte del 50% del requerimiento hídrico. Estos se calcularon según la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). La acumulación de horas dentro de los rangos de temperatura establecidos, la lámina de agua aplicada a cada combinación de tratamientos y la cantidad de días desde inicio de tratamiento hasta formación floral visible se aprecia en la tabla 1. En cosecha, se evaluó la productividad, y la proporción de frutos partenocárpicos y normales.

Tabla 1. Riego aplicado y días transcurridos para cada tratamiento.

Combinación de tratamientos		Riego aplicado (L)	Días de tratamiento de riego
Temp.	Riego		
Alta	Normal	16.61	-
	Déficit	8.31	54
Media	Normal	15.5	-
	Déficit	7.75	64
Baja	Normal	18.57	-
	Déficit	8.57	71
Exterior	Normal	64.30	-
	Déficit	32.15	99

Resultados

Se observó que las combinaciones de temperaturas y déficit hídrico afectaron significativamente la producción por planta ($p=0,008$). Respecto a la combinación de tratamientos **Exterior-Riego normal**, se obtuvo la mayor producción por planta, mientras que en la combinación **Alta-Riego deficitario** se obtuvo el valor más bajo, aunque sin diferenciarse de los demás tratamientos de Riego deficitario (Fig. 1).

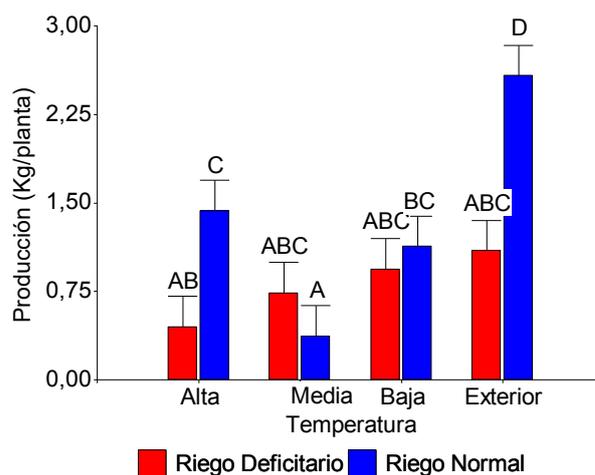


Figura 1: Producción en Kg/planta por cada combinación de tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Respecto a la proporción de frutos normales y partenocárpicos, se observó que fueron afectados significativamente solo por la temperatura ($p < 0,0001$) y no por el riego (Fig. 2).

Los tratamientos de temperatura Exterior tuvieron la menor proporción de frutos partenocárpicos, con un valor del 2% bajo riego deficitario y ningún fruto partenocárpico en los tratamientos bajo riego. Se observó que los tratamientos de temperatura Media mostraron proporciones de frutos partenocárpicos más alta.

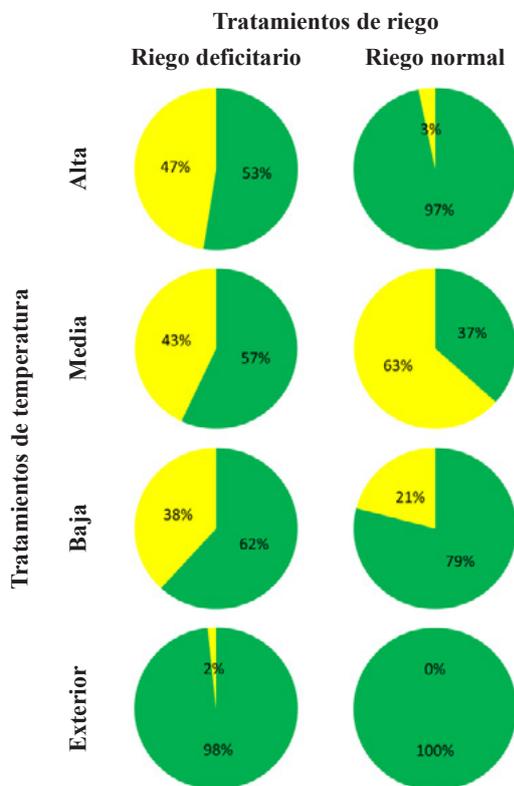


Figura 2: Proporción de frutos normales ■, y frutos partenocárpicos ■, para cada combinación de tratamientos.

Conclusiones

En términos generales, se observa que las temperaturas nocturnas más altas disminuyeron significativamente la producción, favoreciendo también la presencia de frutos partenocárpicos. Ante condiciones de temperaturas nocturnas invernales elevadas, el olivo no logra compensar la falta de frío con la aplicación de un riego deficitario. Para una comprensión más completa de estos efectos, se sugiere realizar análisis de metabolitos y expresión de genes relacionados con la floración, lo que proporcionaría evidencia adicional para respaldar estos resultados.

Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- Contreras, A., Fichet Lagos, T. (2012). "Effect of abscisic acid on the maturation of olive trees cv. Arbequina". *IDESIA* 30: 35-43.
- Malik, N.S.A., Pérez, J.L. (2011). "The effect of high temperature interruptions during inductive period on the extent of flowering and on metabolic responses in olives (*Olea europaea* L.)". *Scientia Horticulturae* 129: 207-212.

Pavel, E.W., Fereres, E. (1998). "Low soil temperatures induce water deficit in olive (*Olea europaea*) trees". *Physiologia Plantarum* 104: 525-532.

Pierantozzi, P., Torres, M., Bodoira, R., Maestri, D.M. (2013). "Water relations, biochemical-physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period". *Agricultural Water Management* 125: 13-25.

Rallo, L., Martín, G.C. (1991). "The role of chilling in releasing olive floral buds from dormancy". *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116 (6): 1058-1062.

SISTEMATIZACIÓN DE PERFORACIONES REGISTRADAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Geol. Toledo Pablo, Geol. Molina Adriana, Charras Yanina

Administración Provincial de Recursos Hídricos, Calle Humberto Primo N° 607 B° Centro Ciudad de Córdoba. Provincia de Córdoba. Argentina. Tel 3516338062. pablodtoledo@gmail.com

Introducción

El recurso agua subterránea constituye una de las principales fuentes de agua de la Provincia de Córdoba, siendo para muchas regiones la única fuente de abastecimiento para consumo humano, uso agrícola, ganadera, industrial, entre otros.

Con el objetivo de lograr una gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos de la Provincia, garantizando el acceso sostenible del agua a la población y de ampliar el conocimiento de los acuíferos en cuanto a su distribución, grado de explotación y calidad, la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) comenzó a partir del año 2019, con un proceso de digitalización y sistematización de la información correspondiente a las perforaciones registradas por todos los organismos antecesores a cargo de la gestión de los recursos hídricos.

Para ello, APRHI desarrolló un sistema web bajo el siguiente dominio <https://portal-aprhi.opendata.arcgis.com/> Portal de información Hídrica de Córdoba (PIHC), el cual, tiene el propósito de brindar aplicaciones e información específica relacionada a los recursos hídricos de la Provincia de Córdoba.

Mediante una aplicación desarrollada con la colaboración de profesionales del Área de Explotación del Recurso de la mencionada Administración, el portal cuenta en la actualidad con más de 7.000 perforaciones registradas.

Proceso de carga

La información ha sido sistematizada teniendo en cuenta los aspectos legales que rigen en la Provincia de Córdoba, entre ellos, el Código de Aguas Ley N° 5589/73, Resolución N° 54/22, Resolución N° 428/16: Normas para el alumbramiento, uso y manejo de agua subterránea estableciendo esta última, en su Art 70, que una vez que ha sido autorizada la ejecución de una perforación por parte del organismo regulador, el Director Técnico autorizado por la repartición deberá presentar un Registro Gráfico Integral (Figura 1) bajo un formato estándar único en el que se simplifica la información de la misma.

El mismo estará visado por el Colegio Profesional de Geólogos de la Provincia de Córdoba y consta de la siguiente información técnica:

- 1) Coordenadas y Ubicación
- 2) Profundidad
- 3) Formación geológica.
- 4) Descripción de Muestra (recortes de perforación).
- 5) Litología.
- 6) Perfilaje eléctrico.
- 7) Acuíferos y niveles.
- 8) Perforación y entubación.
- 9) Aforo de captación.
- 10) Determinaciones físico- químicas (análisis completo) según detalle de registro gráfico.
- 11) Tipo de Acuífero.

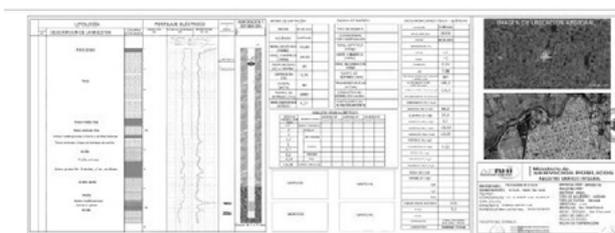


Figura 1.- Modelo de registro gráfico integral.

El registro de las perforaciones en la aplicación desarrollada ha sido realizado a partir de la información presentada en registros gráficos integrales, recopilados en formato papel durante años y siendo digitalizados en la actualidad.

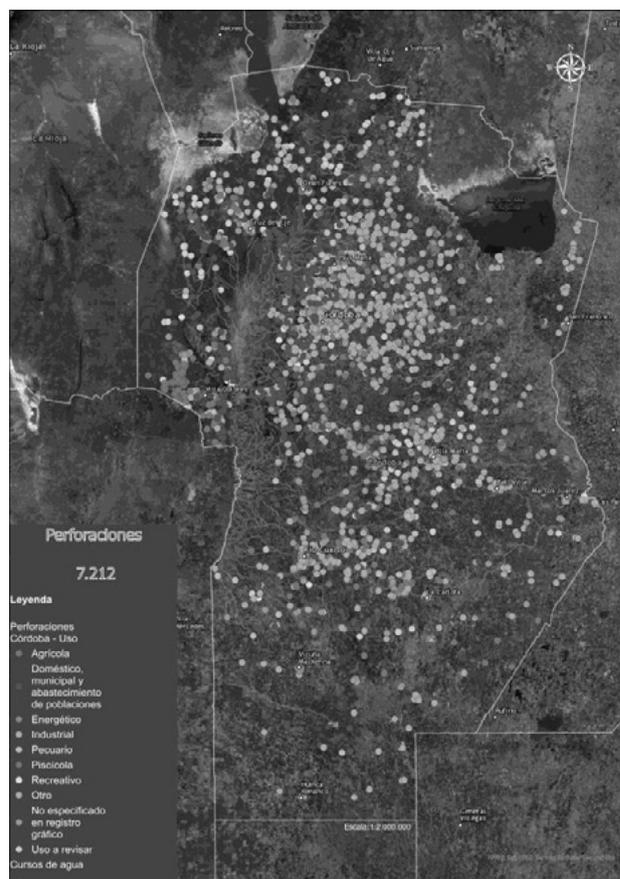


Figura 2.- Perforaciones en la Provincia de Córdoba.

Mediante un usuario autorizado, el sistema ArcGIS asigna automáticamente un código de identificación único a cada perforación y permite visualizarla como un punto de color que guarda relación directa con su uso (Figura 2). A su vez, en cada perforación cargada, el sistema permite adjuntar su registro gráfico integral correspondiente como respaldo de la información.

LA IMPORTANCIA DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Torres Zaira Jael⁽¹⁾, Machado Ariel Nicolas⁽¹⁾, Venencio Maria del Valle^(1,2), Sosa, Dora Cecilia⁽¹⁾

⁽¹⁾Instituto Nacional del Agua, Subgerencia Centro Regional Litoral, Argentina.

⁽²⁾Universidad Nacional del Litoral, Fac. de Ing. y Ciencias Hídricas, Argentina.

ztorres@ina.gov.ar; amachado@ina.gov.ar; mvenencio@ina.gov.ar; sosa.dora@gmail.com

Introducción

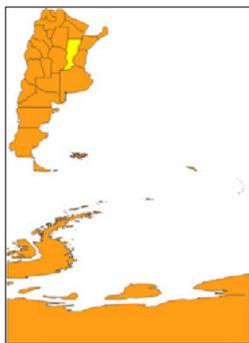
En el abordaje de los recursos hídricos, el subterráneo considerando su cantidad y calidad, adquiere relevancia por su rol en las economías locales y regionales. Contribuir a su conocimiento para diferentes usos, es un aporte para que los planificadores y gestores puedan disponer de herramientas para la gobernanza del agua.

En lo referente a la “búsqueda y recopilación de datos hidrogeológicos” es relevante su valoración dado que frecuentemente a la hora de procesarlos para la generación de diferentes productos, los mismos en muchos casos presentan datos erróneos, faltantes, redundantes y/o confusos. Cuando esto ocurre los datos pierden calidad y confiabilidad siendo necesaria la eliminación de toda o parte de la información, que es difícil y costosa de obtener y generar.

Se refuerza la premisa, donde se destaca que una buena evaluación y correcta manipulación de datos, disminuye tiempos de trabajo, elimina incertidumbres, mejora la calidad de los productos finales, y optimiza los recursos. Ello basado en la experiencia de un proyecto recientemente terminado (INA, 2023), donde se recopilaron, analizaron y valoraron información y datos de diferentes fuentes que permitieron delimitar la potencialidad de los acuíferos principales de la región litoral

Área de estudio

Para este caso particular el área de estudio es la provincia de Santa Fe (Figura 1). Con una superficie aproximada de 133.390 km², ubicada en el centro Este de la Argentina, limita al Norte con Chaco, al Oeste con Córdoba y Santiago del Estero, al Sur con Buenos Aires y al Este con Entre Ríos y Corrientes. No obstante, el procedimiento empleado puede utilizarse en cualquier región de interés.



FUENTE: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 1.- Área de estudio. Provincia de Santa Fe.

Objetivos

El objetivo principal del trabajo es hacer énfasis en la importancia de sistematizar información para que sirva de base a un Sistema de Información Geográfico de aguas subterráneas, sustentados en datos valorados y ajustados a una escala de

trabajo con el fin de obtener diferentes productos de relaciones espaciales según las metas del proyecto.

Datos y Método

La metodología empleada constó de las siguientes tareas:

Recopilación y análisis de información antecedente, Valoración de información y Elaboración del formato de la información.

Recopilación y análisis de información antecedente

Este trabajo se realizó con datos recopilados y/o generados por el Instituto Nacional del Agua (SCRL-INA).

Se recopiló, analizó y discriminó información sedimentológica, hidrogeológica, hidráulica, hidrodinámica, hidroquímica, y otras de interés, provenientes de diversos estudios y/o investigaciones de la provincia.

En información de vieja data, es común encontrar que dos o más perforaciones compartan una misma coordenada (posiblemente porque se le haya asignado a una misma perforación la coordenada oficial de la localidad, en lugar de especificar la verdadera). En tales casos se optó por elegir el dato que aporta mayor información (una vez verificado).

Además se recopilaron mapas sobre ambientes geomorfológicos e hidrogeológicos de la provincia y se digitalizaron mapas temáticos específicos.

Cuando no se conocía el dato de la perforación respecto a las profundidades (totalmente o parcialmente penetrantes), ubicación de filtros, y otros parámetros de diseño, el criterio adoptado -cuando se contrastó con datos aledaños- fue tomar la profundidad total de la perforación como profundidad de extracción de agua (algo que no siempre preciso).

Como así también, pero no menor, se destaca que la mayoría de datos recopilados con información hidroquímica poseía para cada parámetro valores puntuales en el tiempo. Tanto la densidad como la sincronización en la toma de los datos son fundamentales para el trazado de las isoclinas, por lo tanto no permite su trazado. No obstante aún un dato aislado es una referencia que se tuvo en cuenta para la recopilación de esta información.

Toda la información proveniente de perforaciones, se discretizó en tres tablas (una por cada Formación), donde se alojan los acuíferos de interés para el objetivo del trabajo. Las mismas pertenecen al Cuaternario llamada Formación Pampeano, una al Plio-pleistoceno llamada Formación Arenas Puelches y una al Mioceno denominada Formación Paraná. En estas tablas se respetó el mismo número ID (identificación de la perforación) para las tres formaciones.

Valoración de información

Para la valoración de la información se compararon datos de perforaciones con otras aledañas, informes técnicos específicos y mapas con información geológica, geomorfológica, hidrogeológica e hidroquímica antecedentes, para verificar la coherencia y correspondencia entre datos y descripciones.

Elaboración del formato de la información

Para cumplir con el objetivo, se utilizó una tabla para optimizar el procesamiento y uso que se le dará a la información. En el caso de estudio se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de la base de datos (Figura 2), por lo tanto se distribuyó la información de forma tal que el software pueda procesarla y obtener de él diferentes productos. Cabe destacar que si bien aquí se utilizó un SIG, puede aplicarse para varios software de diseño tales como Surfer, AutoCAD, Global Mapper, otros.

La tabla se organizó de la siguiente manera, primero los datos respecto a su ubicación (ID, ubicación, y coordenadas), seguido por detalles de la perforación propiamente dicha (cota y profundidad total), luego información referida a la formación acuífera (caracterización litológica, nombre de acuífero, espesores de formación y acuífero), datos de ensayo (caudales de bombeo, característico, niveles estáticos y dinámicos, descensos), parámetros hidrogeológicos (transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento), datos hidroquímicos (conductividad eléctrica y residuo seco principalmente) y finalmente información sobre fecha de ensayo/perforación, observaciones, información complementaria y la fuente del dato.

Para que los productos generados por el SIG sean coherentes, el criterio definido para unificar unidades de los datos, fue convertir los mismos de la siguiente forma: (para coordenadas se eligió el sistema de referencia WGS84, lo que implicó en muchos casos convertir coordenadas planas Gauss Kruger a geográficas, profundidades a metro, caudales a litros/hora, (ver otras unidades en la Figura 2).

A continuación se muestra el **encabezado de la tabla** generada, cuyos datos están ordenados según el criterio expuesto anteriormente. En la Figura 2 se observa la tabla seccionada, está recortada por una cuestión de espacio visual, pero todo el encabezado es continuo en una misma fila.

ID	Ubic.	Lat (gg. gg)	Long (gg. gg)	Cota NT (msnm)	Prof. Total de la perforación (m)
Caracterización	Nombre de acuífero	Esp. Fm. (m)	Esp. Acuífero (m)		
Q bomb. (l/h)	NE (m)	ND (m)	Descenso (m)	Q carac. (l/h/m)	T (m ² /día) K (m/d) S
CE (uS/cm)	Res. Seco (mg/l)	Fecha	Info. complementaria	Observaciones	Fuente

Figura 2.- Encabezado de la tabla de datos.

Resultados

Aplicando la metodología antes expuesta, se detectó una gran cantidad de datos incompletos y dudosos, que generó un trabajo de depuración, como por ejemplo, buscar ubicaciones y completar coordenadas, cotas, otros datos menores. En algunos casos estos datos fueron aproximados, como por ejemplo perforaciones sin coordenadas donde se la aproximó a la localidad y otros que no pudieron ser recuperados debieron descartarse, perdiendo un volumen considerable de información.

Finalmente, al cargar la tabla en el SIG, se pudieron generar diferentes productos cartográficos en función del objetivo de interés. Por ejemplo, en la Figura 3 (a), se muestra como de una totalidad de datos de perforaciones (100%) a medida que se especifica el producto a generar se reducen los datos y se obtiene para Perforaciones parcialmente penetrantes- Fm. Arenas Puelches” (Figura 3 b, se reduce a un 70%). Mientras que para Perforaciones totalmente penetrantes-Fm. Arenas Puelches” se reduce a un 35% respecto del total, (Figura 3c).

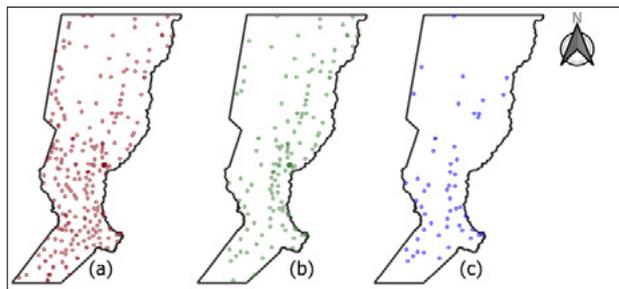


Figura 3 (a, b c).- Reducción de datos al momento de especificar criterio de búsqueda.

Conclusiones

Es sumamente importante generar un sistema unificado de información para eliminar errores (redundancia, error de unidades, otros) que se traduzca en mala o nula utilización de información que puede resultar valiosa. Se destaca la importancia de sumar datos confiables y completos, ya que permite generar una mayor cantidad de productos a diferentes escalas

La tabla generada con datos recopilados, seleccionados, interpretados y validados, permitió ordenar datos provenientes de diferentes fuentes de las Fm. acuíferas y especificar sus características.

Recomendaciones

La sistematización de la información, debe realizarse en función del objetivo del trabajo, ya que si los datos son recopilados sin objetivo claro, es improductivo. Por lo tanto es importante generar información confiable, bien ordenada y completa, pensando en el futuro uso que se le dará a la misma. Se puede tener un gran volumen de datos y al mismo tiempo poca información.

Se recomienda que las personas encargadas de ingresar, valorar, ordenar y transcribir información estén capacitadas en la temática tratada, ya que esto reduce errores futuros.

Se debe discriminar la información con su correspondiente identificador (ID), coordenadas y unidades de medida, ya que se ha notado que en varios casos no se contaba con estos datos, lo que concluyó en información que no pudo utilizarse.

Tener en cuenta la escala de trabajo, ya que la escala del objetivo determinará la información a utilizar.

Referencias Bibliográficas

INA (2023). Proyecto ID 2-Convenio INA-SIyPH (MOP). Evaluación de la Disponibilidad Hídrica Subterránea en las Provincias del Litoral.

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE RIEGO Y MEJORAS DE GESTIÓN HÍDRICA PARCELARIA EN LAS CUENCAS DEL RÍO TUNUYÁN Y MENDOZA

Tozzi, Fabián¹; Mateo, Daiana¹; Puertas Carlos¹; Lavanderos, Débora²; Ferrari, Florencia³; Croatto, Nicolás⁴; Estrella, Maria Giuliana²; Angulo, Carlos³; Agüero, José¹

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Junín
2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria La Consulta
3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Mendoza
4 Corporación Vitivinícola Argentina (COVIAR)

E-mail: tozzi.fabián@inta.gob.ar

Introducción

La agricultura se enfrenta a un escenario de menor disponibilidad de agua y mayor competencia por su uso. Particularmente en la provincia de Mendoza, se está atravesando un periodo de crisis hídrica sostenida desde hace más de 10 años. Sumado a esto, se ha observado a nivel intra-finca un manejo inadecuado del recurso que no concuerda con la situación de escasez. Por tal motivo, es importante realizar un diagnóstico del manejo del riego para desarrollar estrategias que permitan sobrellevar los futuros escenarios de disponibilidad del agua. En este sentido, las evaluaciones de riego a campo constituyen un requisito para lograr la optimización de los mismos (Schilardi et al., 2010). Las consecuencias de regar con una eficiencia baja, implican además de un derroche del recurso en sí mismo, un mayor consumo energético en los sistemas presurizados y gravitacionales dependientes de perforaciones, y por lo tanto mayores costos. El objetivo de este trabajo fue obtener parámetros de desempeño de riego en las zonas evaluadas, realizar propuestas de optimización del mismo y luego transmitir la experiencia de mejora a otros productores de la zona donde se realizaron dichas evaluaciones. Si bien cada caso se analiza en forma particular los productores presentan similitudes en algunos aspectos del manejo del riego y se comparte la metodología de abordaje de la problemática.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó durante el 2019 hasta 2022, en la cuenca del río Mendoza, Tunuyán Inferior y Tunuyán Superior, pertenecientes a la provincia de Mendoza. En la cuenca del río Mendoza se centró el trabajo en la 4^o, 5^o y 6^o zona de riego, zona irrigada que pertenece a los departamentos de Lavalle y San Martín. La cuenca del Tunuyán superior abarca departamentos de



Figura 1.-A Anillos de infiltración. -B Medición de caudal ingresado (aforo) con molinete.

San Carlos, Tunuyán y Tupungato, y la cuenca del Tunuyán inferior abarca los departamentos de San Martín, Junín, Rivadavia, Santa Rosa y La Paz. Se relevaron variables para caracterizar el desempeño del riego en 40 parcelas ubicadas en propiedades de productores. Se construyó una base de datos con las siguientes variables de desempeño, necesarias para realizar el cálculo de las eficiencias de riego y posterior optimización del mismo:

1. Aforo
2. Ensayos de infiltración
3. Medición del tiempo de avance y receso del frente de agua
4. Dimensiones de la unidad de riego
5. Número de melgas o surcos regados simultáneamente
6. Tiempo de aplicación del agua
7. Humedad de suelo antes y después del riego
8. Textura de suelo

Se calculó la eficiencia de aplicación (EAP), de almacenaje (EAL), y de distribución (EDI) (Burt et al., 1997). Posteriormente se utilizó un modelo Winsfr 5.1.1 (Bautista et al., 2007) (USDA-ARS, 2012) simulando diferentes condiciones de manejo hídrico parcelario, para lograr la optimización del riego. Estas modificaciones simuladas fueron específicas en cada sitio y consistieron en ajustar los tiempos de riego, pendiente, caudal, retoque de niveles, entre otros (Figura 2). Finalmente, se indicó al productor los cambios sugeridos por el modelo para la mejora del aprovechamiento del recurso hídrico. Luego, en cada cuenca, se seleccionaron tres propiedades representativas, que fueron una herramienta para facilitar el intercambio de conocimientos, experiencias y capacitaciones a regantes y demás actores en el manejo adecuado del riego.

Resultados y Discusión

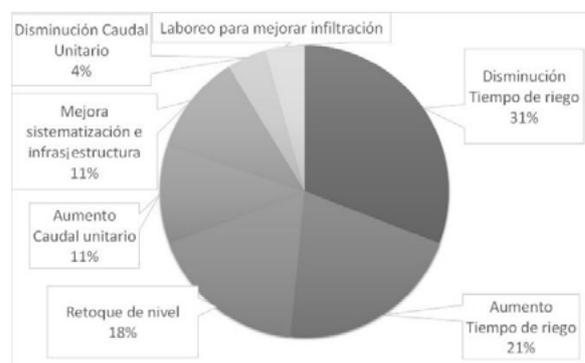


Figura 2.- Distribución de mejoras de riego propuestas y porcentajes en la muestra analizada (n=40)

En la figura 2, se muestran las recomendaciones entregadas a los productores de manejo hídrico. El 31% de las devoluciones consistió en la “disminución del tiempo de aplicación de riego”, es decir, en la mayoría de las fincas se estaba regando en exceso. Por otro lado, al 21% de los productores se sugirió “aumentar el tiempo de riego”, es decir, estaban regando en déficit. Estos resultados contrapuestos ponen en evidencia, que se han utilizado escasos criterios técnicos para definir la cantidad de agua aplicar en un determinado riego, ya que el problema más recurrente detectado fue el ajuste del tiempo de riego (52%). Luego se mencionan otras recomendaciones: retoque de nivel (18%), aumento de caudal por surco o melga (11%), mejoras en sistematización (conducción e infraestructura de manejo del agua) (11%), disminución del caudal por surco (4%) y laboreos para favorecer infiltración (4%).

En la Tabla 1 se presentan las láminas utilizadas para el cálculo de las eficiencias de riego. En términos generales, en la Cuenca del Tunuyán superior es más frecuente el riego con desagüe al pie (79%) que sin desagüe (21%) (Schilardi et al., 2010) y también se encuentran suelos de textura más fina (Peso específico aparente. – PEA promedio: 1.47 g.cm⁻³), que en las cuencas del río Tunuyán Inferior y Mendoza (PEA promedio: 1,42 g.cm⁻³). Esta es la razón de la diferencia entre lámina escurrida en Tunuyán superior respecto de las otras dos cuencas. En la Cuenca de Tunuyán inferior se observó una lámina escurrida muy chica (1,6 mm), esto es debido a escurrimiento involuntario o accidental, pero no al método de riego aplicado.

Tabla 1. Resumen de láminas aplicadas en promedio y en cada Cuenca de evaluación. Se presentan los valores de lámina de reposición de acuerdo a necesidades de riego (dr), lámina bruta aplicada (db), lámina infiltrada (dinf), lámina escurrida (desc), lámina almacenada en el suelo (dal) y lámina percolada (dper). Se muestran los valores de desviación estándar (DE)

Lámina (mm)	Media	DE	Tun inf	DE	Mendoza	DE	Tun Sup.	DE
Dr	83,4	48	111,4	52	82,8	45	58,0	33
Db	109,5	72	122,9	59	155,8	68	57,4	58
Dinf	108,6	74	121,2	60	156,1	68	56,3	62
Desc	7,9	24	1,6	5	0,0	-	21,8	39
Dal	66,8	37	77,7	35	79,8	40	45,0	28
Dper	45,7	52	46,9	54	76,4	54	16,4	29

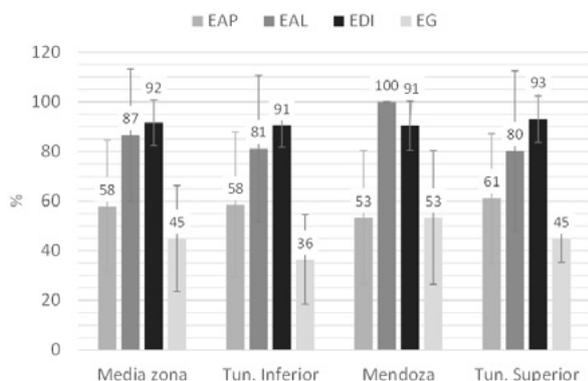


Figura 3.- Porcentaje de eficiencia de aplicación (EAP), de almacenaje (EAL), de distribución (EDI) y eficiencia general (EG) promedio en cada cuenca de estudio y la Media de la zona.

Se observó una EAP promedio del 58 %, EAL: 87% y EDI: 92%, en coincidencia con los resultados de las recomendaciones predominantes: disminución de tiempos de riego. EAP, indica el porcentaje de agua que queda disponible para la planta una vez realizado el riego. Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados en la zona. Morábito et al. (2007) encontraron en la cuenca del río Mendoza resultados similares, siendo EAP: 59%, EAL: 81% y EDI: 87%. Schilardi et al., (2010) encontraron en la cuenca del Tunuyán superior EAP 43%, EAL 99% y EDI: 91%.

En este estudio no se consideró el balance salino. En la cuenca del Tunuyán inferior y Mendoza se utiliza agua para riego con una conductividad eléctrica de 1,65 dS.m⁻¹ y 1,18 dS.m⁻¹. De acuerdo al análisis realizado, estudiando en cada caso particular, aplicando la modificación del manejo hídrico para la optimización del riego se podría lograr en promedio una EAP 82%, EAL 94%, EDI 91% y EG 78%. Es decir que existe una brecha entre los valores reales (EG 45%) y potenciales (EG 78%) de un 33% en promedio. Esto es, considerando variaciones de manejo que no implican un elevado costo de inversión (Figura 2), se podría mejorar la eficiencia del uso del agua, reducir costos, disminuir pérdidas de rendimiento por estrés y mejorar la rentabilidad del sector agrícola en el área evaluada.



Figura 4.- Implementación de manga de riego como mejora de manejo de agua en cabecera. Ejemplo de mejora de sistematización del riego.

Bibliografía

- Bautista, E.; Schlegel, J.L.; Strelkoff, T.; Clemmens, A.J.** (2007) “Simulation, design and evaluation of surface irrigation systems with winsrfr”. Meeting Proceedings. p. 395-408. United States Department of Agriculture.
- Bautista, E., Schlegel, J.L., and Strelkoff, T.S.** (2012) WinSRFR 4.1 - User Manual. USDA-ARS Arid Land Agricultural Research Center. 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ, USA.
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, L. A., y Eisenhauer, D. E.** (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 123(6), 423-442.
- Chambouleyron J.; Menenti M.; Fornero L.; Morábito J. y Stefanini L** (1982) “Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego”. INCYTH – IILA, Roma.
- Chambouleyron J. y Morábito J.** (1982) “Evaluación del riego en fincas”. INCYTH-CRA, Mendoza. Cuesta, T.; Neira, X.; Alvarez, C.; Cancela, J. (2004) “Evaluation of water-use in traditional irrigation. An application to the Lemos Valley irrigation district, northwest of Spain”. *Agricultural water Management* 73 (2005) 223-245.
- Morabito, J.** (2003) “Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y Potencial”. Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis de Maestría
- Morabito, J. A., Mirabile, C., & Salatino, S.** (2007). Eficiencia del riego superficial, actual y potencial, en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). *Ingeniería del agua*, 14(3), 199-214.
- Schilardi, C., Morábito, J. A., & Vallone, R. C.** (2010). Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la Cuenca del Río Tunuyán Superior, Mendoza, Argentina. In XXI Congreso Nacional del Agua (pp. 14-16).

SIMULACIÓN ACOPLADA DE PROCESOS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEOS Y USOS DEL SUELO: CUENCA DEL CARCARAÑÁ

Franco Trivisonno^{1,2}, Martín Romagnoli^{1,2}, Javier Heredia³ y Margarita Portapila^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (FCEIA-UNR)
Riobamba 245 Bis, S2000EKE Rosario, Argentina – Tel. (0341) 480-8541

²Centro Internacional Franco Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS-CONICET-UNR)
Bv. 27 de Febrero 210 bis, S2000EYP Rosario, Argentina – Tel. (0341) 481-5569

³Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), C. de los Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, España – Tel. +34 913 495 700

E-mail: francont@fceia.unr.edu.ar (F.T.); romagnoli@cifasis-conicet.gov.ar (M.R.); j.heredia@igme.es (J.H.); portapila@cifasis-conicet.gov.ar (M.P.)

Introducción

La cuenca baja del río Carcarañá (CBRC), sur de Santa Fe en la región pampeana, integra la zona agrícola más importante de Argentina. Una combinación de suelos francos, precipitación adecuada y napa freática accesible brinda condiciones excepcionales para la agricultura (Solbrig, 1997, en Romagnoli et al., 2017). En esta llanura, la baja energía morfológica explica el predominio de los procesos de transporte vertical, y de almacenamiento en sus tres niveles, sobre el movimiento horizontal del agua (Kovacs, 1983). Por otra parte, el ascenso y descenso de la napa tiene efectos directos en el desarrollo de los cultivos, debido a su proximidad con la superficie. Entonces, tanto para predecir la productividad agrícola en diversos escenarios de usos de suelo, como para abordar nuevas estrategias de optimización de recursos naturales, resulta esencial disponer de una herramienta que contemple los procesos de interacción entre flujos superficiales y subterráneos (Trivisonno et al., 2018).

Materiales y métodos

La CBRC abarca 3.400 km² en superficie, incluyendo 140 km del río Carcarañá hasta su desembocadura en el Coronda. La pendiente media de la cuenca es inferior al 1%, y su amplitud de elevación: 130-20 m s. n. m. El 99% del terreno se dedica al cultivo de soja, trigo y maíz y el 1% es superficie urbanizada.

Los procesos superficiales en la cuenca se simularon con SWAT, a paso de tiempo diario. Se incorporaron mejoras a las aplicaciones previas de este modelo agro-hidrológico semidistribuido (Romagnoli et al., 2017, Maydana et al., 2020), en cuanto a la representación de los usos del suelo. Con 6.713 unidades de respuesta hidrológica (HRUs) en 27 subcuencas, el modelo fue recalibrado (período 1998-2015). Se ajustaron caudal, recarga, rendimientos por cultivo y evapotranspiración, con 79 parámetros agro-hidrológicos. Esta recarga puede servir de entrada al módulo subterráneo de un sistema acoplado, para representar niveles piezométricos en la CBRC. Así, la calidad de tal simulación quedará subordinada a la cuantificación de los parámetros hidrogeológicos permeabilidad y almacenamiento.

Las formaciones geológicas Pampeano, Puelches y Paraná, en este orden descendente desde la superficie, conforman una secuencia estratigráfica que se mantiene invariable a nivel regional. En la base del paquete sedimentario cuaternario (Fm. Pampeano) se extiende una capa de arcilla, de muy baja permeabilidad y espesor variable, que minimiza el flujo vertical entre las formaciones Pampeano y Puelches: puede considerarse la unidad hidrogeológica compuesta exclusivamente por la Fm. Pampeano, alojando al acuífero freático del mismo nombre (Venencio, 2007). El medio poroso del Pampeano está constituido por limo, con escasas proporciones de arcilla o arena muy fina en distintos sectores (Kröhling, 1999). En función de lo inferido por esta granulometría y a resultados de ensayos de bombeo en la zona (DPOH-INA, 2002, Filí & Tujchneider, 1977, Pérez et al., 2000, en Polare, 2018), se estiman rangos de permeabilidad (K) y porosidad eficaz (S_y; en un acuífero libre equivale al almacenamiento): K = 1 a 11 m/d; S_y menor a 20%.

Para la representación del flujo subterráneo en la CBRC se utilizó el código de diferencias finitas MODFLOW. Delimitado a la Fm. Pampeano (cuya base se consideró impermeable), se generó un modelo bidimensional de capa única y grilla regular de 500 m de resolución. A partir de una experiencia inicial (Trivisonno et al., 2018) se redefinieron las condiciones de borde (fig. 1), extendiendo el dominio subterráneo a 5.300 km² (21.025 celdas activas). Se propuso la zonificación de dicho dominio a partir del mapa de unidades geomorfológicas (UU.GG.) elaborado por Kröhling (1999). Las seis zonas de la fig. 1 se agruparon en cuatro (ABC, D, E y F), para asociarlas a pozos de observación con registros simultáneos (tabla 1).

En este trabajo se plantea que K y S_y pueden variar en función de la geomorfología de la cuenca. Se admite la zonificación de tales parámetros para ajustar la simulación del flujo subterráneo.

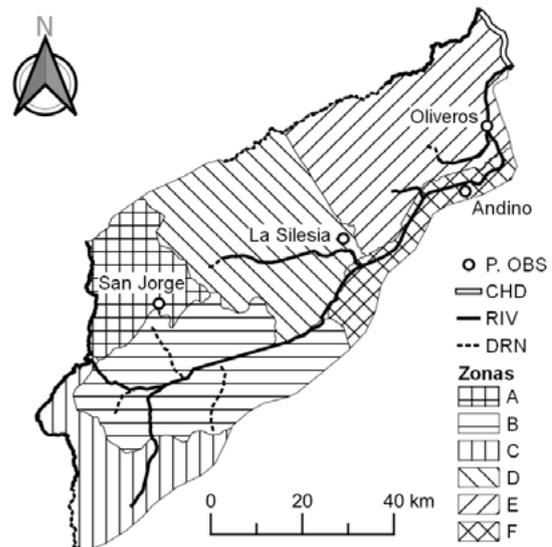


Figura 1.- Zonificación del dominio subterráneo de la CBRC según unidades geomorfológicas. San Jorge, La Silesia, Andino y Oliveros son pozos de observación (P. OBS) con registros simultáneos de descensos freáticos durante el período 2000-04. Condiciones de contorno: nivel fijo en tramo del río Coronda (CHD); condición mixta en el Carcarañá y otros cursos permanentes (RIV), y transitorios (DRN); flujo nulo en la base del acuífero, y a través del contorno del dominio en ausencia de otras condiciones de borde.

Tabla 1.- Cota del terreno natural (CTN), descenso freático observado al inicio del período 2000-04 (s₀), promedio temporal de los descensos freáticos observados durante el período 2000-04 (S_{prom}) y zona característica (Zona) de cada pozo de observación (P. OBS).

P. OBS	CTN [m IGN]	s ₀ (1/1/00) [m]	S _{prom} (00-04) [m]	Zona
San Jorge	+113,81	-6,97	-5,71	ABC
La Silesia	+61,56	-7,56	-7,05	D
Andino	+35,20	-10,67	-7,82	E
Oliveros	+28,56	-11,44	-9,94	F

Se realizaron análisis de sensibilidad de K (fig. 1) y S_y (fig. 2), para evaluar los efectos de sus variaciones en la calidad del ajuste entre piezometrías simuladas y observadas.

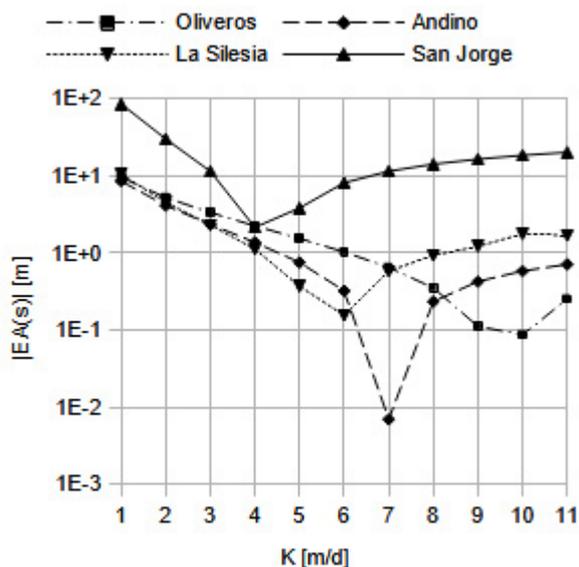


Figura 2.- Variación del valor absoluto del error absoluto ($|EA(s)|$) de los descensos freáticos al inicio del periodo 2000-04 (s_0) para distintos valores de conductividad hidráulica (K), por cada pozo de observación.

En primer lugar, se ejecutó el modelo subterráneo en régimen pseudo-estacionario. Se obtuvieron once piezometrías para el 1/1/2000. En cada simulación se consideró un valor de permeabilidad único en todo el dominio ($K = 1, 2, \dots, 11$ m/d). Del modelo superficial calibrado, se utilizó la recarga del año 1999 como dato de entrada (perturbación constante durante 500 años, con un intervalo de cálculo de 1 año). En el régimen estacionario no hay variación del almacenamiento, por lo cual el valor de S_y considerado (10%) no influye en los niveles freáticos obtenidos al final del periodo de simulación. El ajuste entre piezometrías se evaluó como el valor absoluto del error absoluto (EA) entre el descenso freático simulado (s_0') y el registrado (s_0), para cada pozo de observación (ec. 1).

$$|EA(s)| = |s_0' - s_0| \quad [1]$$

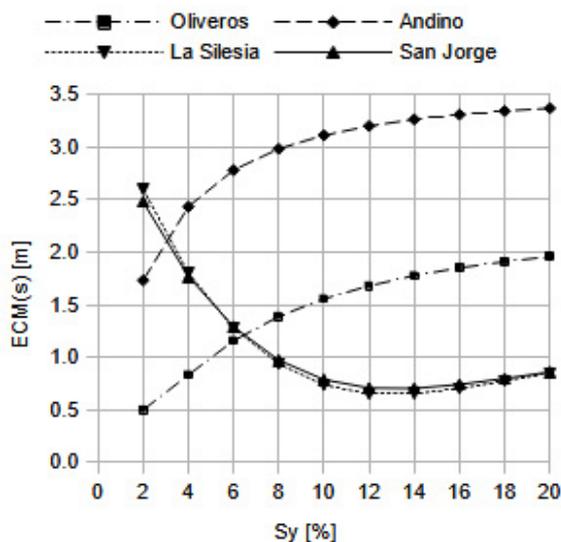


Figura 3.- Variación del error cuadrático medio ($ECM(s)$) de los descensos freáticos durante el periodo 2000-04 (s_i) para distintos valores de porosidad eficaz (S_y), por cada pozo de observación.

Finalmente, se avanzó hacia el acople SWAT-MODFLOW (Bailey et al., 2016). Se simuló diez piezometrías en régimen transitorio (periodo 2000-04, paso de tiempo diario). En cada simulación se consideró un valor de S_y único en todo el dominio (2, 4, ..., 20%). En cuanto a K, en todas las simulaciones se adoptó una zonificación única de acuerdo a los mejores ajustes por pozo (fig. 2) y en correspondencia con las zonas asociadas (zona, K [m/d]: ABC, 4; D, 6; E, 7; F, 10). El ajuste se evaluó como el error cuadrático medio (ECM) entre descensos freáticos simulados (s_i') y registrados (s_i), para cada pozo (ec. 2).

$$ECM(s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i' - s_i)^2 \quad [2]$$

Resultados y discusión

Los resultados de la simulación pseudo-estacionaria (fig. 2) sugieren que el rango $K = 1$ a 11 m/d para la permeabilidad puede acotarse a 3-11 m/d, con un ajuste en piezometrías del orden de 10 m. Incluso puede considerarse $K = 4$ m/d para todo el dominio, disminuyendo el error a 1 m. El análisis del régimen transitorio (fig. 3) evidencia la ventaja de adoptar la propuesta de zonificar los parámetros según la geomorfología de la cuenca: variando K entre 4 y 10 m/d a través del dominio, los errores se mantienen en 3 m para el rango completo de porosidad eficaz. En un avance para ajustar la simulación del flujo subterráneo, se pueden proponer (zonas, S_y [%]): ABC-D, 4-12; E-F, 0-2. Todos los valores se ajustan al problema físico.

Conclusiones

Con la implementación de SWAT-MODFLOW se avanzó en la representación de los procesos de interacción entre flujos superficiales, subterráneos y usos de suelo en la CBRC. Los principales parámetros del acuífero freático fueron sometidos a análisis de sensibilidad, para evaluar los efectos de sus variaciones en la calidad del ajuste entre piezometrías simuladas y observadas. Se propuso una zonificación de estos parámetros según la geomorfología de la cuenca, que permitió reproducir satisfactoriamente el flujo subterráneo. Se dio un primer paso en la calibración del flujo subterráneo en el modelo acoplado.

Referencias

- Bailey, R. T., Wible, T. C., Arabi, M., Records, R. M. & J. Ditty (2016). "Assessing regional-scale spatio-temporal patterns of groundwater-surface water interactions using a coupled SWAT-MODFLOW model". *Hydrol. Process.*, 30 (23), 4420-4433.
- Kovacs, G. (1983). "General Principles of Flatlands Hydrology". *Coloquio de Hidrología de Grandes Llanuras*, Olavarría, Argentina, 297-357.
- Kröhlhng, D.M. (1999) "Upper Quaternary geology of the lower Carcarañá Basin, North Pampa, Argentina". *Quaternary International*, 57-58, 135-148.
- Maydana, G., Romagnoli, M., Cunha, M. & M. Portapila (2020). "Integrated valuation of alternative land use scenarios in the agricultural ecosystem of a watershed with limited available data, in the Pampas region of Argentina". *Sci. Total Environ.*, 714(2020), 136430.
- Polare, M. H. (2019). "Comportamiento del sistema acuífero en la cuenca inferior del río Carcarañá. Provincias de Santa Fe y Córdoba, República Argentina". Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Romagnoli, M., Portapila, M., Rigalli, A., Maydana, G., Burgués, M. & C. M. García. (2017). "Assessment of the SWAT model to simulate a watershed with limited available data in the Pampas region, Argentina". *Sci. Total Environ.*, 596-597(2017), 437-450.
- Trivisonno, F., Portapila, M., Romagnoli, M., Caruso, N. & J. Heredia (2018). "Resultados preliminares de la modelación del flujo de agua subterránea en la cuenca del río Carcarañá en la provincia de Santa Fe". *IFRH 2018 (4º Encuentro)*, Ezeiza, Argentina.
- Venencio, M. del V. (2007). "La recarga natural al acuífero libre y su vinculación con la variabilidad climática regional". Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LAS SEQUÍAS. CASO: CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ

Leticia Vicario^{1,2}

¹Instituto Nacional del Agua. Argentina

²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
lvicario@ina.gov.ar / lvicario@unc.edu.ar

Introducción

El fenómeno de la sequía es una amenaza natural compleja de caracterizar ya que involucra distintas variables, disciplinas y no es sencillo delimitarla tanto espacial como temporalmente, esto dificulta también, su predicción.

En la actualidad el concepto de Vulnerabilidad a la sequía se considera relevante ya que manifiesta la condición de susceptibilidad de un sistema que acentuaría los efectos de este fenómeno sobre una comunidad y su entorno. Su cuantificación es importante por lo que aplicar indicadores, sobre todo si es posible clasificarlos como sociales, económicos, ambientales y globales, es de gran utilidad. Además, sobre esta condición es posible realizar gestiones por parte de los tomadores de decisiones para prevenir y mitigar las consecuencias adversas de los distintos tipos de sequías

El Instituto Nacional del Agua, a través del Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), como parte del Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (PHI-UNESCO), formó parte de los organismos invitados para llevar a cabo la aplicación de una metodología para la determinación de distintos escenarios de Vulnerabilidad a las sequías. Este trabajo constó de distintas etapas además de intercambios y reuniones virtuales periódicas. A continuación, se muestra una breve síntesis del desarrollo realizado en el plazo de cuatro meses, como aporte a la temática de la Vulnerabilidad a las sequías a nivel regional.

Metodología

En primera instancia, cada organismo relacionado a los Recursos Hídricos de los países de Latinoamérica participantes en el proyecto, debió seleccionar un área de estudio en base a los conocimientos previos e interés. En el caso del INA se consideró que la Región Centro de la Argentina constituye un área de gran importancia socio-económica en el país y con mayor disponibilidad de información a corto plazo. Dentro de esta región se optó por la cuenca río Carcarañá ubicada en el centro-sudeste de la provincia de Córdoba y que atraviesa el sur la provincia de Santa Fe para desembocar en el río Paraná.

El río Carcarañá, drena un área de alrededor de 50000 km² (Figura 1). El tamaño de la misma implicó un desafío adicional ya que está constituida por la totalidad o parte de 17 departamentos (entre las dos provincias), lo que demandó una búsqueda exhaustiva de datos e información que fueran comunes a todos, además de ser útiles a los fines de aplicar la metodología propuesta.

Luego, se procedió a la búsqueda de información en organismos oficiales para la determinación de indicadores pertinentes en función del tipo de vulnerabilidad. Se analizaron, procesaron y se seleccionaron los datos detallados en la Tabla 1.

A partir de estos datos se aplicaron los pasos sucesivos, correspondientes a la metodología previamente definida por el organizador del proyecto; según las indicaciones planteadas en las reuniones de trabajo, las cuales se mencionan a continuación:

- Normalización de valores de indicadores
- Asignación de peso a los indicadores
- Cálculo de los índices de vulnerabilidad

- Ajuste de índices a distribución beta
- Clasificación de los índices de vulnerabilidad según escala numérica y de colores (Tabla 2)
- Mapeo de índices de Vulnerabilidad a las sequías

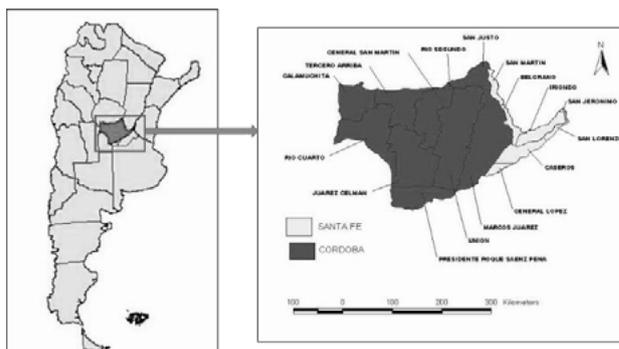


Figura 1.- Ubicación relativa de la cuenca hidrográfica del río Carcarañá y departamentos por provincia.
(Fuente: Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación)

Tabla 1.- Indicadores seleccionados y fuente de información.
(Al pie: sus referencias)

Tipo de vulnerabilidad	Indicador	Fuente de datos
Económica	Densidad de población (hab/km ²)	INDEC
	Población económicamente activa (PEA) desempleada	INDEC
	Superficie agrícola cosechada	MAGyP
	Rendimiento de superficie cosecha	MAGyP
	Superficie con riego	CNA - INDEC
Social	Población sin obra social (%)	INDEC
	Población analfabeta (%)	INDEC
	Viviendas con acceso a red pública de agua (%)	INDEC
	Viviendas con acceso al agua por perforación (%)	INDEC
	Viviendas con acceso a agua por sistemas naturales (%)	INDEC
	Viviendas con conexión a cloacas (%)	INDEC
	Viviendas con acceso a red pública de energía eléctrica (%)	INDEC
Ambiental	Cobertura vegetal	IDECOR
	Áreas naturales protegidas (% ha)	IDECOR

INDEC: Instituto

Nacional de Estadísticas y Censos. Censo 2010.

MAGyP: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

CNA-INDEC: Censo Nacional Agropecuario 2018. INDEC

IDECOR: Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba

Tabla 2.- Escala numérica y de colores de grados de vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Rango de percentil
Muy baja	0 < IV _i ≤ 20
Baja	20 < IV _i ≤ 40
Moderada	40 < IV _i ≤ 60
Alta	60 < IV _i ≤ 80
Muy alta	80 < IV _i ≤ 100

Resultados

Finalmente, se llevó a cabo la clasificación de los índices de vulnerabilidad por departamento mostrados en la Tabla 3, lo que

permitió la realización de los mapas de Vulnerabilidad Económica, Social, Ambiental y Global, que se muestran en las Figuras 2 a 5, respectivamente.

Tabla 3.- Clasificación de grados de Vulnerabilidad por departamento en la cuenca del río Carcarañá. Argentina

Provincia	Departamento	* Vuln. Econ	* Vuln. Social	* Vuln. Amb	* Vuln. Global
Córdoba	Ctalamochita	Moderada	Alta	Muy Baja	Muy Baja
	Tercero Arriba	Moderada	Baja	Muy alta	Baja
	General San Martín	Alta	Baja	Alta	Alta
	Río Cuarto	Muy alta	Muy Baja	Moderada	Alta
	Juarez Celman	Alta	Baja	Alta	Baja
	Río Segundo	Muy Baja	Moderada	Muy alta	Baja
	San Justo	Alta	Moderada	Baja	Baja
	Unión	Muy alta	Moderada	Moderada	Muy alta
	Presidente R. S. Peña	Moderada	Muy alta	Alta	Muy alta
	Marcos Juárez	Muy alta	Moderada	Alta	Muy alta
Santa Fe	San Martín	Baja	Alta		Moderada
	Belgrano	Muy Baja	Moderada		Muy Baja
	General Lopez	Baja	Alta		Alta
	Caseros	Moderada	Moderada		Alta
	San Lorenzo	Baja	Moderada		Moderada
	San Jerónimo	Muy Baja	Moderada		Baja
	Iriondo	Muy Baja	Baja		Muy Baja

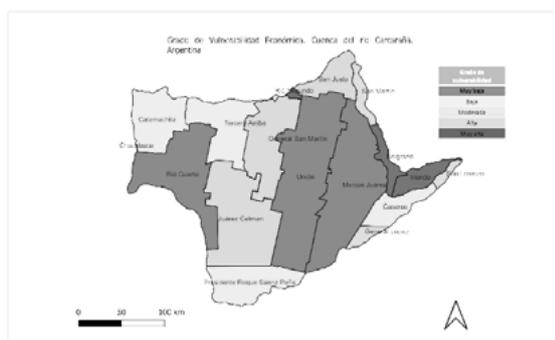


Figura 2.- Mapa de Vulnerabilidad Económica. Cuenca del río Carcarañá. Argentina (Fuente propia)

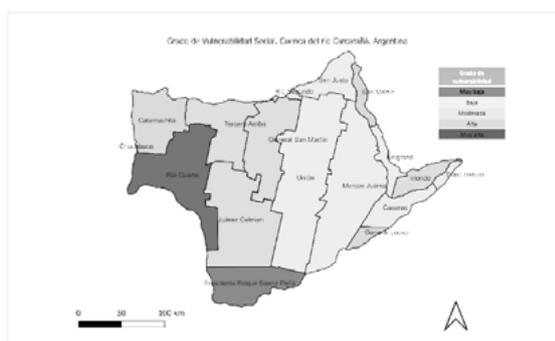


Figura 3.- Mapa de Vulnerabilidad Social. Cuenca del río Carcarañá. Argentina (Fuente propia)

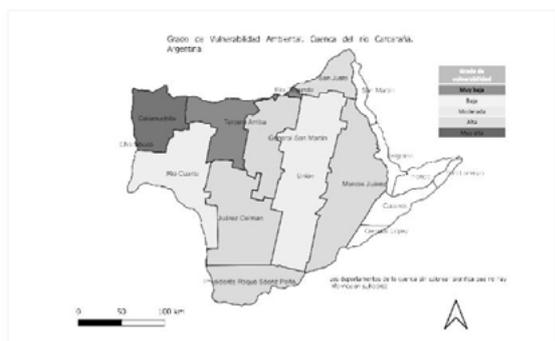


Figura 4.- Mapa de Vulnerabilidad Ambiental. Cuenca del río Carcarañá. Argentina (Fuente propia)

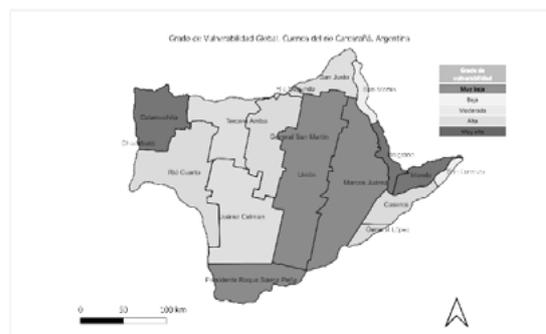


Figura 5.- Mapa de Vulnerabilidad Global. Cuenca del río Carcarañá. Argentina (Fuente propia)

Conclusiones

Fue factible desarrollar cada una de las etapas propuestas por el CAZALAC para este proyecto. De tal manera que se aplicó la metodología para la determinación de los grados de Vulnerabilidad a las sequías en el área seleccionada en Argentina; siendo un trabajo innovador dentro de esta temática, en el país.

Aunque los resultados presentados tienen carácter de preliminares, de manera general, se observa que la Vulnerabilidad Económica es más elevada en los departamentos de la provincia de Córdoba y la Vulnerabilidad Social es predominantemente moderada a baja en la cuenca. Respecto de la Vulnerabilidad Ambiental, además de mencionar que fue la que mayor dificultad presentó al momento de contar con información suficiente para definir indicadores representativos en el área seleccionada, se optaron por indicadores que, aunque no presentaban datos suficientes en los departamentos de la provincia de Santa Fe, permitían tener resultados en la mayor parte de la cuenca (provincia de Córdoba), observando que en este caso es mayormente moderada a alta. A través de los grados de Vulnerabilidad Global es posible observar que la cuenca del río Carcarañá posee distintos niveles, los que asociados a escenarios diversos de sequías podrían afectar aspectos socioeconómicos de la comunidad y su ambiente.

Cabe destacar que se cuentan con antecedentes sobre identificación y caracterización de sequías en la cuenca de estudio (ej. Vicario, 2017) y a partir de la definición de los distintos grados de vulnerabilidad en el presente trabajo, sería factible continuar con un enfoque integral, para obtener nuevos avances en la temática del Riesgo hidrológico que implican estos fenómenos extremos. También, sería factible aplicar los conocimientos adquiridos en otras cuencas o regiones de interés.

Referencias

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Sitio web: www.indec.gov.ar/ (Consulta: mayo 2022)
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Censo Nacional Agropecuario (2018). Sitio web: www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87
- Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR). Sitio web: www.idecor.gov.ar/(Consulta: mayo 2022)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). Sitio web: <https://www.argentina.gov.ar/agricultura>
- Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Sitio web: <https://www.argentina.gov.ar/obras-publicas/infraestructura-y-politica-hidrica>
- Vicario, Leticia. (2017). *Identificación y evaluación de sequías en cuencas seleccionadas de la Región Centro de Argentina*. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencia de la Ingeniería. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Acceso en sitio web: <http://hdl.handle.net/11086/6291>.

SEQUIAS EN EL CENTRO-OESTE ARGENTINO

Alberto I. J. Vich¹, Patricia M. López², Emilce Vaccarino¹, Carolina Lauro¹

1: Instituto Argentino de Glaciología, Nivología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), Mendoza, Argentina
aijvich@mendoza-conicet.gob.ar

2: Instituto Nacional del Agua (INA), Mendoza, Argentina

Introducción

La sequía es un fenómeno natural que se manifiesta por la disminución temporal de la disponibilidad de agua, que afecta a la población y sus actividades productivas. Se trata de un fenómeno complejo, ya que no solo dependen de las condiciones atmosféricas sino también de los procesos hidrológicos que alimentan de humedad a la atmósfera. Las sequías se caracterizan por poseer inicio y fin difíciles de determinar, sus impactos se incrementan lentamente en forma acumulativa en un periodo de tiempo considerable y pueden persistir por años después de finalizado el evento.

Desde 2010, los responsables de la administración del recurso hídrico, se enfrentan a una severa crisis hídrica, debido a la sensible disminución de la oferta de agua en los ríos de la región cuyana. Esta situación es más crítica, ya que la población se concentra en oasis irrigados que ocupan aproximadamente el 3 % del territorio y concentran más del 90 % de la actividad socioeconómica.

Con el propósito de investigar la magnitud de la disminución del recurso, en el presente trabajo se estudian las deficiencias ocurridas en las cuencas de los ríos San Juan (SJ1), Mendoza (MEG), Tunuyán (TVU), Diamante (DLJ), Atuel (ALA), Grande (GLG), Barrancas (BAB) y Colorado (CBR) y se realiza una caracterización de los episodios de sequía hidrológica, tales como: duración, severidad y cantidad de eventos.

Materiales y Métodos

La zona bajo estudio, se corresponde con las cuencas que se localizan sobre la vertiente oriental de los Andes centrales. La precipitación presenta un máximo en invierno en la parte alta de Los Andes, debido a la interacción entre los flujos de humedad provenientes de las latitudes medias del Pacífico Sur, la a altitud de la cordillera y el paso de frentes fríos (Seluchi y otros, 2006). Al este, la precipitación está determinada por masas de aire continental que contribuyen a los totales de precipitación de verano (Compagnucci y otros, 2002). La mayor parte del territorio de las cuencas, presenta un clima seco desértico y estepario en el llano (Norte y otros, 1988) y climas polares fríos de altura, de tundra y de hielos eternos, en las áreas cordilleranas por encima de los 3000 metros.

Se analizaron los datos de caudal diario medio de la Red Hidrológica Nacional (Sistema Nacional de Información Hídrica) de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica del Ministerio de Obras Públicas de la Nación, de los ríos: San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Grande, Barrancas y Colorado, con una longitud de registro variable, desde sus inicios hasta el año hidrológico 2021-2022. Sus cuencas poseen un gradiente altitudinal de oeste a este y de norte a sur, alcanzando alturas que van desde los 900 msnm a más de 6000 msnm. La variación estacional del caudal es función de las variaciones estacionales de la precipitación y la temperatura.

Los episodios de sequía hidrológicas se identifican como una anomalía negativa entre el caudal diario y un caudal umbral (Yevjevich, 1967; Tallaksen y Van Lanen, 2004; Fleig y otros, 2006) y debajo del umbral preestablecido, se considera que el caudal está en un déficit o sequía, conocida como temporada o

época de caudal bajo. De esta forma, Cuando el caudal cae por debajo del valor umbral comienza un evento de sequía y cuando el caudal se incrementa sobre el umbral finaliza el mismo y se pueden establecer su duración y el volumen de déficit o severidad.

Normalmente la selección del caudal umbral se realiza a partir de cuantiles de excedencia de la curva de duración de caudales, tales como Q_{70} , Q_{80} , y Q_{90} , empleando un nivel umbral variable diario (Stahl, 2001). Para cada día del año hidrológico se determinan las distintas probabilidades de excedencia de curvas de frecuencia con datos que incluyen caudales anteriores y posteriores al día considerado, en un intervalo $[d_{i-14} \dots d_i \dots d_{i+14}]$, con una amplitud de 29 días. En general, el caudal correspondiente a un 70% de excedencia (Q_{70}) está relacionado con deficiencias en los usos consuntivos; Q_{90} , es un valor usado como caudal ambiental para la preservación de los ecosistemas.

Si el periodo entre dos episodios de sequía es menor a 10 días, éstos son agrupados y se recalcula su duración y severidad como la suma de ambos déficits.

Resultados

La medida de la gravedad del fenómeno sequía es caracterizada por medio del porcentaje de días al año con déficit hídrico; la escala es: < 25 % de los días, leve; entre 25 y 50 %, moderada; entre 50 y 75 %, severa; y > 75 %, muy severa.

Analizando el periodo común de observaciones 1971-72 al 2021-22, se distinguen varios periodos de déficit. El primero de dos años de duración, 1956 (1975-76 al 1976-77), en las cuencas de los ríos San Juan, Mendoza y Tunuyán se observan déficits superiores al 50% de los días del año, siendo muy severos en el año 1976-77 y extendiéndose hasta la cuenca del río Diamante.

Sobreviene un tiempo prolongado de abundancia hídrica, pero en los años 1989-90 al 1990-91 aparece un periodo de déficit moderado a severo en la cuenca del Colorado. En el 1996-97, la carencia de agua es muy severa en el norte y moderada en el sur, revirtiéndose esta situación en el año 1998-99.

Sigue un periodo de cerca de 10 años de abundancia y el déficit reaparece con toda su intensidad, desde 2010-11 hasta el 2021-22 y hasta la actualidad, con un alivio en año 2015-16, excepto en las cuencas del Tunuyán y Colorado. En la parte más moderna del ciclo, en promedio, la sequía es muy severa en todas las cuencas, en tanto que en el periodo anterior es el déficit es menos intenso pero severo.

El análisis de las series históricas muestra un déficit moderado a severo en el Atuel entre 1936-37 y 1939-40, se vuelve muy severo del orden del 79% de los días con una duración de dos años que se inicia en 1946-47 y también se manifiesta en el Colorado; el año 1952-53 muestra un déficit severo del 59%. En 1955-57 se inicia un ciclo de sequía de características severas, de tres años de duración en las cuencas de los ríos Tunuyán, Atuel y Colorado (Figura 1.). En 1962-63 el déficit hídrico es severo en Mendoza, Atuel y Colorado y muy severo en el río Barrancas, afluente del Colorado. La mayor sequía, con un gran impacto sobre las actividades socioeconómicas tuvo una duración de 5 años y se inició en 1967-68 y fue muy severa en

toda la región, particularmente en San Juan, y moderada en la cuenca del Tunuyán y severa en el Colorado.

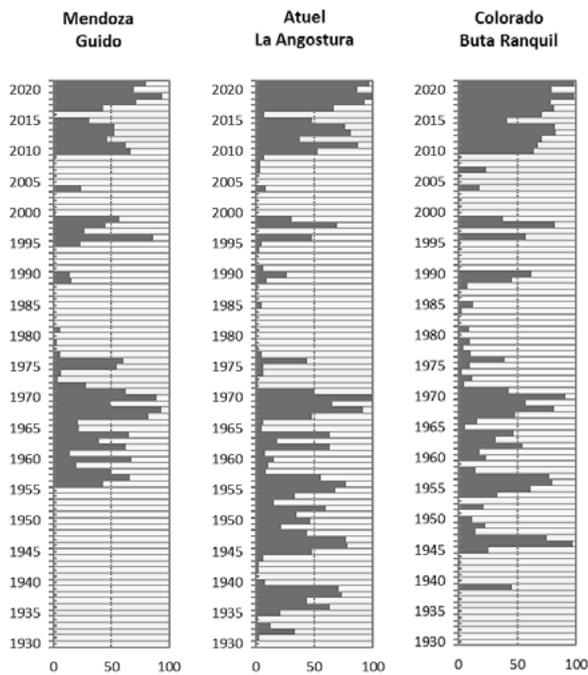


Figura 1.- Porcentaje de días al año con déficit hídrico

Los episodios deficitarios presentan altas frecuencias para duraciones menores o iguales a 30 días (70%-80%) y volumen de 10 hm³ (60%-86%). Desde 2017 ocurrieron los episodios más severos, con duraciones de entre 1.3 a 4.6 años y volúmenes entre 300 y 1800 hm³. Los eventos más extremos se presentaron en los ríos San Juan y Tunuyán y los ríos menos afectados son el Barrancas y Mendoza, con la salvedad que, en este último junto con el Tunuyán, abastecen al oasis más poblado de la región. En la mayoría de las cuencas, los episodios extremos se inician en verano de 2019. Las principales características de los episodios secos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. – Características de los episodios de sequía

Cca	Long. [años]	Derrame [hm ³]	No. eventos	Duración [días]		Severidad [hm ³]	
				Max.	Prom.	Max.	Prom.
SJI	51	1811.1	64	1233	87	1565.5	68.0
MEG	66	1381.9	163	475	44	286.5	20.4
TVU	78	838.0	211	1561	40	1798.0	18.1
DLJ	52	982.1	94	1686	60	934.4	22.8
ALA	91	1052.1	276	1005	36	529.9	13.2
GLG	51	3180.6	98	641	57	1268.8	71.8
BAB	62	1094.1	111	638	50	473.6	24.7
CBR	83	4416.9	172	628	52	1546.2	98.0

Conclusiones

El procedimiento de nivel umbral variable diario resulta útil para identificar días con déficit hídrico durante el año hidrológico. Las deficiencias estimadas no se relacionan con la

demanda propiamente dicha, sino con el estado del sistema hídrico, teniendo en cuenta que el caudal transportado por la corriente presenta distintos orígenes (superficial, subsuperficial y subterráneo). Según la clasificación utilizada para el análisis del porcentaje de días con déficit al año, en todas las cuencas predominan las deficiencias moderadas a muy severas y a partir de la década del 70 a la actualidad, 6 ciclos de sequía, siendo el último de mayor duración e intensidad, alcanza en algunas cuencas valores del 100% o cercanos al número de días con déficit en el año. Históricamente el ciclo de fines de la década del 60, es muy similar al actual, pero de menor duración.

La disminución del volumen disponible de agua causa dificultades para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas de la población. Plantea un problema complejo y multidimensional, por lo tanto, debería considerarse al recurso hídrico en forma integral, analizar si su gestión es la adecuada y si existe un exceso de la demanda consuntiva o rápido crecimiento de ella.

Referencias

- Compagnucci, R.H. y E. A. Agosta (2008). “La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanual el Niño/oscilación sur (ENOS) e interdecádico “tipo” ENOS”. *GEOACTA* Vol. 33, pp. 97-103.
- Norte, F.; N. Heredia; S. Simonelli (1998). “Impacto del fenómeno ENOS en el régimen hidrometeorológico de Mendoza, Argentina”. *Bulletin de l’Institut Français d’Études Andines*. Vol. 27, No. 3, pp. 761-770.
- Seluchi, M.; R. Garreaud; F. Norte y C. Saulo (2006). “Influence of the subtropical Andes on baroclinic disturbances: A coldfront case study”. *Monthly Weather Review*, Vol. 134, No.1.
- Stahl, K. (2001). *Hydrological Drought. A study across Europe*. Doctoral dissertation, Geowissenschaftlichen Fakultät, Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Freiburg, Germany.
- Sistema Nacional de Información Hídrica. (s.f.). <https://snih.hidricosargentina.gob.ar/Filtros.aspx>.
- Tallaksen, L. M., and H. A. J. van Lanen (2004). *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Yevjevich, V. (1967). *An Objective Approach to Definitions and Investigations to Continental Hydrologic Droughts*. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

AMPLIACIÓN DEL SAT-AZUL, TRAMO PARISH-CACHARÍ

Ignacio Villanueva, Crysthian Sánchez y Georgina Cazenave

Afiliaciones: Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Jorge E. Usunoff", Azul, Argentina.
E-mail: ivillanueva@ihlla.org.ar, manytho@gmail.com, cazenave@ihlla.org.ar

Resumen

Dentro de las actividades de ampliación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del término municipal de Azul, provincia de Buenos Aires, se muestra el trabajo de modelización hidrodinámica bidimensional del tramo de cuenca baja del arroyo del Azul: Parish-Cacharí. En particular se trabaja con dos modelos numéricos: HEC-RAS v. 6.3 de libre descarga y Lisflood-FP v. 8.2.0, open-source.

Introducción

Dentro del proyecto de actualización y ampliación de la red de alerta de inundaciones del Partido de Azul, que se encuentra operativa desde 2005, se pensó en incluir la zona norte del Partido, para evaluar los riesgos de inundación, particularmente el pronóstico de crecidas para la localidad de Cacharí.

En trabajos previos de investigación, véase Collazos et al (2018), y Sánchez (2023), se prestó atención exclusivamente al término municipal de Azul, y se modelizaron escenarios de inundación con las ecuaciones completas de Saint Venant en 2D, en particular los hidrogramas de las crecidas de Mayo y Agosto de 2012.

Centrados en el tramo Parish-Cacharí, tras revisar información de las capas de la JRC Global Surface Database, obtenida por el tratamiento de imágenes satelitales Landsat, Peckel et al (2016), no se encontró información relevante sobre la ocurrencia, recurrencia anual, o la extensión de la máxima crecida dentro del periodo 1984-2022, poniendo de manifiesto que las de mayor impacto (2012), no pudieron ser registradas por Landsat, debido a la presencia de nubes o porque los tiempos de revisita no coincidieron con los de inundación, de modo que se optó por la simulación numérica directa con apoyo de modelos digitales de elevaciones (MDE) del terreno.

Modelos digitales de elevaciones

Para esta ampliación, los modelos digitales de elevación de planicie elegidos fueron TanDEM (90x90 m) (Wessel, 2018) y FABDEM (30x30 m) (Hawker et al, 2022), y no se cuenta con batimetría de secciones transversales, no obstante se puede trabajar con una sección tipo extrapolada a un canal prismático para HEC-RAS y con la tipificación sub-grid channel (SGC) para Lisflood-FP.

Modelos de simulación

La ecuación hidrodinámica de conservación del momento, en aproximación de onda-difusiva se reduce en el eje cartesiano X a:

$$\frac{\delta h}{\delta x} - S_0 + S_f = 0 \quad [1]$$

Siendo h el tirante, S_0 la pendiente del lecho y S_f la pendiente de fricción. La ecuación se plantea análogamente en el eje Y, y se resuelve con la ley de fricción de Manning que liga S_f con el caudal intercelda Q . Sumando las dos componentes (X, Y) se calcula la conservación de la masa en una discretización en malla rectangular de espaciado (Δx , Δy) para Lisflood-FP y también para HEC-RAS:

$$\frac{\Delta h_{ij}}{\Delta t} = \frac{Q_{i-1/2,j} - Q_{i+1/2,j} + Q_{i,j-1/2} - Q_{i,j+1/2}}{\Delta x \Delta y} \quad [2]$$

Con sub-índices (i, j) para indexar cada celda en el plano, y con un paso de tiempo Δt que garantice estabilidad y conservación de la masa en todo el dominio de cálculo, considerando las condiciones de contorno, en este caso entrada de un hidrograma en el cauce y salida aguas abajo en régimen normal.

La modelización puede ser completamente bidimensional con celdas que cubren todo el dominio, o usar una geometría híbrida "canal 1D más planicie 2D", que en Lisflood-FP se configura a través del SGC, y en HEC-RAS con una transferencia 1D-2D. En la primera fase del proyecto se ha optado por el MDE de FABDEM y por los modelos Lisflood-FP SGC y HEC-RAS 2D, en este último el refinamiento sub-grid batimétrico no es relevante al usar pixeles de MDEs de 30 o 90 metros.

A falta de una imagen de referencia, la métrica de similitud entre dos simulaciones (S_1, S_2) es la del índice de Jaccard:

$$J(S_1, S_2) = \frac{S_1 \cap S_2}{S_1 \cup S_2} = \frac{S_1 \cap S_2}{S_1 + S_2 - S_1 \cap S_2} \quad [3]$$

También conocido como índice F^1 , o de intersección sobre unión, y variable entre $0 < J < 1$.

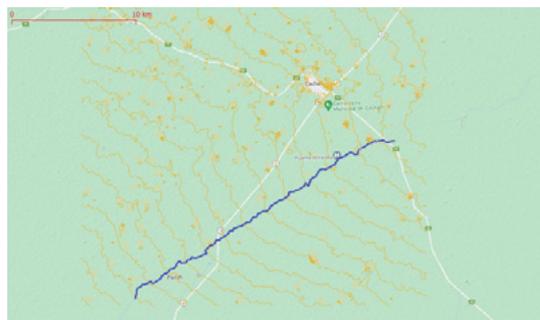


Figura 1.- Área de Interés, con curvas de nivel de elevación cada 2 metros y trazado del arroyo Azul a lo largo de 26 kms, la pendiente promedio es inferior a una milésima.

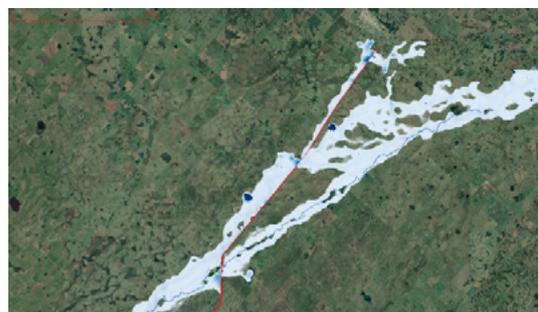


Figura 2.- Máxima extensión de inundación obtenida con el modelo Lisflood-FP SGC sobre el modelo digital de elevaciones FABDEM, en presencia del terraplén de ruta.

Resultados y conclusiones preliminares

Dentro de los objetivos más prácticos o aplicados del proyecto se pretende valorar la influencia de la ruta para ponderar su

efecto como dique de protección para Cacharí, y ello se consigue insertando la sobre-elevación del terraplén existente sobre la propia línea de la ruta en el modelo digital de elevaciones, y ejecutando diversas simulaciones hidrodinámicas con diferentes caudales de entrada, véase un resultado en la Figura 2.

En general los MDEs deben ser revisados previamente a realizar la modelización hidrodinámica, independientemente del tamaño de pixel, para verificar las cotas de estructuras relevantes o defensas que se interponen al flujo, Wood et al (2020) emplea técnicas de deep-learning, y también se debe verificar si la vegetación alta (árboles) ha sido removida o no, en función de los umbrales de altura media de copa y porcentaje de superficie ocupada que fueran elegidos en el procesado y filtrado de la superficie, Hawker et al (2022), prestando especial atención a los bancos del cauce principal. En el tramo de interés Parish-Cacharí, con FABDEM y TanDEM se necesitó de limpieza de vegetación extraordinaria.

Lisflood-FP es más apropiado en principio, para modelado a gran escala (Large-Scale) por su escalabilidad y posibilidad de ejecución en la nube en clusters dedicados o en máquinas virtuales, pero su configuración es en modo texto, no gráfica, y la explotación delega en sistemas de información geográfica (SIG), como QGIS. Además en ausencia de batimetrías, los cauces principales pueden ser diseñados rápidamente con secciones arbitrarias y ajustados por similitud de la plana de inundación resultante con la impronta o imagen aérea o satelital asociada. Pero en el tramo corto de estudio propuesto de Parish-Cacharí, donde los tiempos de computación resultan inferiores a diez minutos con ambos modelos en pc de sobremesa, y las improntas son muy similares en aproximación de onda difusiva, no hay una marcada preferencia.

En el futuro se espera poder analizar mayores superficies de inundación, particularmente las que se obtengan con satélites de

microondas como SAOCOM, y reproducir la dinámica o evolución de una inundación para las horas siguientes, en función de la imagen de extensión en tiempo real, caudales estimados de circulación, y el pronóstico de precipitación, usando modelos matemáticos como los descritos.

Referencias Bibliográficas

- Collazos, G., Villanueva, I., Briseño, N., Cazenave, G., Guevara, Cristian., y Blanco, M. (2018). "Modelo bidimensional de inundación urbana de la ciudad de Azul (Argentina) con herramientas de uso libre". *XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). "A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed". *Environmental Research Letters*, 17(2), 024016. DOI 10.1088/1748-9326/ac4d4f
- HEC-RAS USACE, <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- Lisflood-FP, School of Geographical Sciences, University of Bristol, <http://www.bris.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood/>
- Pekel, JF., Cottam, A., Gorelick, N. et al. (2016). "High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes". *Nature* 540, 418–422 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Sánchez, C. (2023). *Modelación hidrodinámica bidimensional bajo enfoques implícitos y explícitos para la gestión integral de inundaciones en áreas urbanas ubicadas en zonas de llanura a través de herramientas de uso libre y RPAS*. Tesis de Maestría, UNL-FICH, por entregar.
- Wessel, B. (2018). TanDEM-X DEM Product Specification. 3. <https://tandemx-science.dlr.de/>
- Wood, D.J., Brown, C.M.R., Doyle, L., Smith, H.L., Waller, S. and Weller, E.F., (2020). "Identification of River Defences from Digital Terrain Models using Deep Learning". *Proceedings of the FLOODrisk 2020 - 4th European Conference on Flood Risk Management*. <https://repositorium.omikk.bme.hu/handle/10890/15149>

HIDROLOGÍA NEURONAL APLICADA AL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DEL ARROYO AZUL

Ignacio Villanueva y Georgina Cazenave

Afiliaciones: Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Jorge E. Usunoff”, Azul, Argentina.
E-mail: ivillanueva@ihlla.org.ar, cazenave@ihlla.org.ar

Resumen

En este trabajo se expone la adaptación de la Base de Datos Hidrológicos (IHLLA/BDH, 2023) del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA), partido de Azul, provincia Buenos Aires, a un entorno de trabajo basado en hidrología neuronal (neural-hydrology, Nearing et al, 2021), de modo que se acondicionan los datos históricos de precipitación, presión atmosférica, temperatura del aire, niveles freáticos y caudales observados a formatos estándar de explotación para realizar hidrología de grandes muestreos (large-sampling).

Se trabaja con una librería de software en abierto que configura una LSTM (Long Short-Term Memory, Kratzert et al, 2019), que es una red neuronal recurrente (RNN) que posibilita conservar estados previos del sistema y transformarlos según las series temporales de entrada o forzado (típicamente datos hidrometeorológicos). Mediante la configuración de puertas (gates) con parámetros (pesos de aprendizaje de la NN), funciones sigmoideas y tangentes hiperbólicas, se puede optimizar el ajuste de la serie temporal de salida a una función observada (caudal) y calibrar todos los parámetros a través de un algoritmo de búsqueda por gradiente del tipo Adam.

Con dichas herramientas se inicia la calibración de las cuencas del Arroyo del Azul por medio de algoritmos ML (Machine-Learning), para crear un banco de entrenamiento de redes neuronales con los atributos hidrológicos básicos para cada cuenca y algoritmos que mapean series temporales de precipitación y temperatura con caudales observados, con 18 años de datos disponibles para el entrenamiento y posterior validación. De la evaluación se espera contrastar el peso de los criterios hidrológicos y parámetros físicos, frente al procesado “caja negra” o enfocado a los datos (data-driven) de las LSTM, y establecer un marco de trabajo estandarizado para el pronóstico en tiempo real, considerando la alimentación por diversos modelos de pronóstico de precipitación.

Hidrología data-driven

En el modelado hidrológico físicamente basado, se determina la respuesta de una cuenca en función de las entradas o forzados meteorológicos, los estados internos y los parámetros de modelización, es decir, la generación de escorrentía superficial se generaliza como:

$$q^n = F(i^n, S^{n-1}, \theta) \quad [1]$$

Con F como el sistema de ecuaciones y parámetros, que transfiere las entradas i a la cuenca, a los estados internos o niveles de tanque S , en base a los parámetros de modelización θ , para generar un caudal de salida q . El super-índice n es el de paso temporal de la serie, de modo que entre $n-1$ y n transcurre un paso de tiempo denotado como Δt , usualmente de 24 horas. Ejemplos de software clásico para los sistemas F son los modelos hidrológicos agregados HBV, HEC-HMS, HYSIM, NAM, Sacramento-SMA, o los distribuidos espacialmente MIKE-SHE, TETIS, etc., véase Beven (2012).

La modelización data-driven o enfocada en los datos no asume nada sobre la naturaleza del proceso físico interno,

simplemente realiza un mapeo entre las variables de entrada, en este caso series temporales meteorológicas y la de salida, serie temporal de caudal observado. Los parámetros se ajustan a través del entrenamiento de redes neuronales, debidamente configuradas como se explica en la sección “LSTM”.

Una vez entrenada la arquitectura, puede trabajar en modo pronóstico o validación, en tiempo real.

Otro concepto de interés que se aborda es el de preparación de formatos para la explotación masiva con series temporales meteorológicas, en inglés “large-sample”, siguiendo las directrices CAMELS de Addor et al (2017), y el soporte en la nube de CARAVAN, Kratzert et al (2022).

Base de datos hidrológicos del IHLLA

Para poder alimentar los modelos data-driven es necesario contar con una base de datos histórica como la IHLLA/BDH, que desde 2002 almacena la información hidrológica de la amplia red de monitoreo del IHLLA.

La IHLLA/BDH es un sistema soporte de gestión de la información hidrológica denominado Base de Datos Hidrológicos (www.azul.bdh.org.ar) que permite almacenar toda la información de la cuenca hidrográfica y ser consultada o ampliada de forma remota por medio de Internet, como una herramienta fundamental para uso de todos los organismos o personas involucradas en el estudio de los recursos hídricos o en la gestión sustentable del mismo (Vives et al., 2002; Abrile, 2003).

El arroyo del Azul, periódicamente, pone en riesgo de inundación a la ciudad homónima, por lo que en 2005 se implementó un sistema de alerta temprana de inundaciones. La red de estaciones automáticas de adquisición de datos hidrometeorológicos están conectadas a través de un sistema de radio UHF a dos centrales de recepción (una en el IHLLA y otra en el municipio). El programa administrador de la red telemétrica actualiza la base de datos local y envía esta actualización a la IHLLA/BDH, donde se publica la información actualizada de las últimas 48 horas y se van almacenando los datos anteriores (Cazenave y Vives, 2014).

Las estaciones hidrometeorológicas recolectan datos de precipitación, temperatura y humedad relativa del aire, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y nivel limnimétrico en distintas secciones del arroyo del Azul y afluentes en la cuenca alta del Azul. La frecuencia de consulta de datos es 10 minutal. Todo este paquete de datos se encuentra disponible en la IHLLA/BDH para el entrenamiento y validación de modelos tanto físicamente basados como de hidrología neuronal.

Machine-Learning con LSTM

Siguiendo la misma notación con super-índices para cada elemento de la secuencia de una serie temporal, en una celda LSTM actúan las puertas: i, f, o, g , sobre los estados c y h , véase la Figura 1 y las siguientes dependencias:

$$i^n = \sigma(W_i x^n + U_i h^{n-1} + b_i) \quad [2]$$

$$f^n = \sigma(W_f x^n + U_f h^{n-1} + b_f) \quad [3]$$

$$o^n = \sigma(W_o x^n + U_o h^{n-1} + b_o) \quad [4]$$

$$g^n = \tanh(W_g x^n + U_g h^{n-1} + b_g) \quad [5]$$

$$c^n = f^n \odot c^{n-1} + i^n \odot g^n \quad [6]$$

$$h^n = o^n \odot \tanh(c^n) \quad [7]$$

Siendo la serie temporal de entrada x^n , generalmente precipitación, temperatura, y atributos estáticos o poco variables de la cuenca, c^n representaría un estado interno, sin interpretación física directa, y h^n una salida-entrada recurrente. Las funciones moduladoras son la sigmoide (σ) y la tangente hiperbólica (\tanh).

Los parámetros de la red neuronal son la familia (W_x, U_x, b_x) y se determinan optimizando el error entre el caudal observado y el simulado a partir del estado h^n :

$$Error^2 = \sum_{n=1}^T (Q_{obs}^n - Q_{simu}(h^n))^2 \quad [8]$$

Y la optimización se calcula a través de un gradiente tipo Adam, para reducir los errores en sucesivas épocas, Figura 2.

Generalmente se trabaja a escala diaria con unidades de mm/día, tanto para la pluviometría por metro cuadrado, como para el caudal escurrido de cuenca por unidad de superficie.

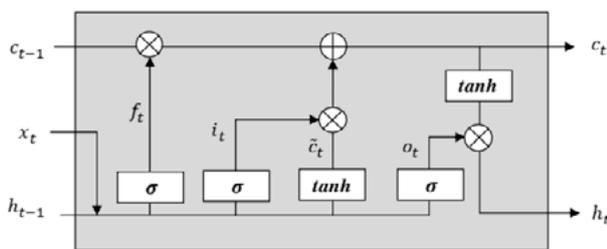


Figura 1.- Esquema básico de la estructura de una celda LSTM recurrente, con entradas y salidas para cada paso de tiempo del entrenamiento, instantes (t-1, t).

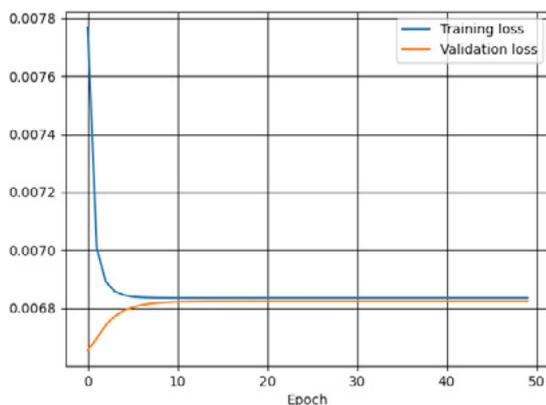


Figura 2.- Evolución ideal del error simulado-observado por épocas durante la fase de entrenamiento (azul) y de validación (naranja) de una celda LSTM.

Software abierto empleado

En la primera fase del proyecto se ha trabajado con las librerías Python que implementan LSTM dentro de Neural-Hydrology (2023), sobre computadores con CPU, sin necesidad de recurrir a unidades GPU.

Conclusiones preliminares

Dentro de los objetivos iniciales alcanzados en el proyecto se citan:

- Conversión de la IHLLA/BDH a un formato estándar para calibrar diferentes modelos hidrológicos y utilizarlos después en tiempo real.

- Verificación de consistencia y validación de los datos históricos, en lo relativo a escalas temporales y distribución espacial en la cuenca del Azul, para entrenar y validar redes neuronales LSTM, y hacer pronóstico de caudales.

En las siguientes fases se elegirán los periodos de entrenamiento particulares entre los 18 años disponibles para configurar diversas variantes de unidades LSTM.

Referencias Bibliográficas

Addor, N., Newman, A. J., Mizukami, N., & Clark, M. P. (2017). "The CAMELS data set: catchment attributes and meteorology for large-sample studies". *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(10), 5293-5313. <https://doi.org/10.5194/hess-21-5293-2017>

Abrile, P. (2003). *Sistema de Gestión de Recursos Ambientales a través de Internet*. Tesis de Final de carrera en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Beven, K.J., (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, 2nd Edition*. John Wiley Ed. ISBN: 978-0-470-71459-1

Cazenave, G. y Vives, L. (2014). "Predicción de inundaciones y sistemas de alerta: Avances usando datos a tiempo real en la cuenca del arroyo del Azul". *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* N° 33. Pp 83 – 91, Buenos Aires.

IHLLA/BDH (2023). Base de Datos Hidrológicos del Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff", Azul, Argentina. Accesible en: <http://www.azul.bdh.org.ar>

Kratzert, F., Klotz, D., Shalev, G., Klambauer, G., Hochreiter, S., and Nearing, G. (2019). "Towards learning universal, regional, and local hydrological behaviors via machine learning applied to large-sample datasets", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 5089–5110, <https://doi.org/10.5194/hess-23-5089-2019>.

Kratzert, F., Nearing, G., Addor, N., Erickson, T., Gauch, M., Gilon, O., Gudmundsson, L., Hassidim, A., Klotz, D., Nevo, S., Shalev, G., and Matias, Y., (2022). "Caravan - A global community dataset for large-sample hydrology" *EarthArxiv*, <https://doi.org/10.31223/X50S70>, in review.

Nearing, G. S., Kratzert, F., Sampson, A. K., Pelissier, C. S., Klotz, D., Frame, J. M., et al. (2021). "What role does hydrological science play in the age of machine learning?". *Water Resources Research*, 57, e2020WR028091. <https://doi.org/10.1029/2020WR028091>.

Neural-Hydrology, accedida Junio 2023. AI 4 Earth Sciences research group, Institute of Machine Learning, JKU Linz. <https://neuralhydrology.readthedocs.io>

Vives, L., Abrile, P., Bastan, N., Clause, A., Lorenzo, J., Usunoff, E., Varni, M., Vénere, M. and Fernández-Jáuregui, C. (2002). "Una metodología para la gestión de información hidrológica". *Mecánica Computacional Vol. XXI*, pp. 528-540. S.R. Idelsohn, V.E. Sonzogni and A. Cardona (Eds.). ISSN-1666-6070.

RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-RECURRENCIA PARA LA ARGENTINA EN BASE A DATOS DE PRECIPITACIÓN DERIVADOS DE SATÉLITE

Juan F. Weber, Santiago A. Drab

Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS). Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina - Teléfonos: (54 - 351) - 468-4215 / 4006 / 4317 - int. 119-5
E-mail: jweber@frc.utn.edu.ar

Introducción

En Argentina las mediciones subsidiarias de precipitación se realizan mediante el uso de estaciones pluviográficas. Como consecuencia, estas observaciones (de carácter puntual) frecuentemente no representan en forma apropiada la variabilidad espacio-temporal de los campos de precipitación; esto hace necesario la incorporación de otras fuentes de información que puedan mejorar estas limitaciones. Además, y como en muchos otros países de la región, resultan escasas las series pluviográficas de extensión y calidad suficientes que permitan la determinación de relaciones idT. Debido a ello, se han propuesto diversos procedimientos de regionalización de relaciones idT para el país o regiones de él (Devoto, 2002; Caamaño Nelli y Dasso, 2003; Zamanillo et al., 2008). Lamentablemente, estas investigaciones encuentran su mayor limitación en la significativa escasez (e irregularidad en su distribución espacial) de series pluviográficas de extensión suficiente para alcanzar representatividad estadística. Los campos interpolados de precipitaciones de diseño, obtenidos a partir de escasas estimaciones puntuales, pueden presentar limitaciones debido a la gran variabilidad del territorio nacional.

Objetivo

Implementar una metodología para la obtención de relaciones Intensidad-Duración-Recurrencia (idT) basada en el uso de Datos de Precipitación Derivados de Satélites (DPDS), en el territorio de la República Argentina, validando sus resultados con relaciones idT existentes.

Metodología

Materiales. Como información de campo, se utilizaron las relaciones idT publicadas por Rico et al. (2017) (de aquí en más denominadas *datos reales*). Estos autores recopilaron información pluviográfica o bien relaciones idT publicadas previamente, para ajustar los parámetros del denominado modelo DIT. En la Figura 1 se presenta la localización geográfica de las estaciones consideradas por Rico et al. (2017). Puede observarse la irregular distribución geográfica de estas estaciones, lo que limitará la validez geográfica de la metodología propuesta.



Figura 1.- Estaciones con disponibilidad de relaciones idT

Como datos de precipitación derivados de satélites (de aquí en más, *datos virtuales*), se optó por el producto PDIR-Now (Nguyen et al., 2020) ya que presenta una adecuada cobertura espacial (60°S – 60°N), la mayor resolución espacial (0,04° x 0,04°), una adecuada cobertura temporal (1 de marzo de 2000 al presente) y la mayor resolución temporal (1 hora), compatibles con el objetivo del trabajo. Se adquirieron los datos PDIR-Now entre el 01/03/2000 y el 01/11/2020 con una frecuencia de 1 hora, en correspondencia con cada una de las 27 estaciones consideradas (Figura 1).

Las series virtuales así adquiridas fueron analizadas, resultando que dos estaciones (Mendoza y Trelew) presentaron una gran cantidad de datos faltantes, por lo que no pudieron ser consideradas para el análisis.

Para la validación de los resultados, se recurrió a relaciones idT obtenidas a partir de los resultados publicados por Puricelli (2014) para la ciudad de Balcarce (Buenos Aires) y por Caamaño Nelli y Dasso (2003) para la ciudad de Villa María (Córdoba), estimada a partir del procedimiento propuesto por estos autores.

Métodos. Se desarrollaron e implementaron (en el lenguaje Python) algoritmos que permitieron: extraer los Intervalos de Máxima Anual (IMA), realizar un análisis de regresión lineal entre las series de intensidades máximas anuales reales y virtuales, y realizar la corrección por sesgo de estos datos virtuales. Las duraciones d consideradas para los IMA fueron: 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18 y 24 horas. Para la asignación de probabilidades empíricas de no excedencia, se recurrió a la difundida fórmula de Weibull:

$$T = \frac{N+1}{n} \quad [1]$$

donde: T es el periodo de retorno expresando en años, N es el número total de los valores de la muestra (20) y n la posición de un valor en la lista ordenada por magnitud descendente.

Para el análisis de correlación se asumió válida una regresión lineal forzada a pasar por cero entre las intensidades obtenidas a partir de las relaciones idT consideradas (intensidades reales i_r) y las calculadas a partir de los datos PDIR-Now (intensidades virtuales i_v):

$$i_v = r \cdot i_r \quad [2]$$

donde r es el coeficiente angular de la regresión, que puede interpretarse como la recíproca de un factor de corrección por sesgo. Para poder aplicar la ecuación (2) a otros sitios, fuera de las 25 estaciones efectivamente consideradas, se asumió que el factor de corrección por sesgo r es un campo continuo en el espacio: se utilizó una interpolación spline bilineal implementada a través de GRASS GIS. El dominio geográfico de dicha interpolación se restringió a los polígonos de Voronoi de las 25 estaciones efectivamente consideradas, en territorio nacional.

Resultados

En la Figura 2 se puede observar, para la estación Villa Dolores y a título de ejemplo, los gráficos de dispersión obtenidos para algunas duraciones de tormenta con sus correspondientes

factores de corrección por sesgo r (pendiente de la recta) y coeficientes de determinación R^2 . Con puntos se representan los distintos pares de intensidades Modelo DIT – PDIR-Now (datos reales versus datos virtuales), en línea continua la recta identidad y en línea de puntos la recta ajustada al conjunto de datos, según la expresión (2).

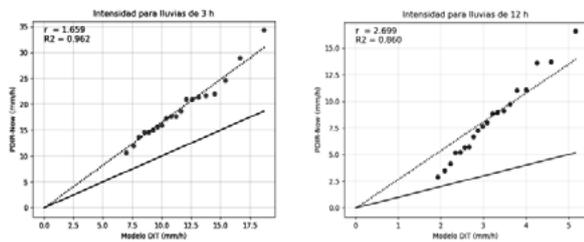


Figura 2.- Correlación entre intensidades reales (Modelo DIT) y virtuales (PDIR-Now) para duraciones 3 y 12 hs. Estación Villa Dolores.

Se observa (Figura 2) que el coeficiente de corrección por sesgo r de la ecuación (2) es función de la duración d considerada. Se graficó la variación de r en función de d , para cada estación. En la Figura 3 (izquierda) se presenta, a título de ejemplo, esta función para la estación Villa Dolores; mientras que en la misma figura, a la derecha, se presenta el gráfico de dispersión de intensidades reales versus virtuales, una vez realizada la corrección por sesgo (Ecuación 2), para todas las duraciones. Como puede observarse, se obtiene una significativa reducción de la dispersión.

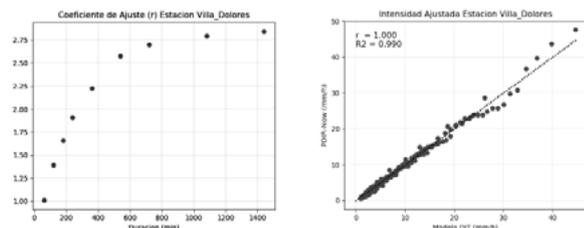


Figura 3.- Izquierda: factor de corrección por sesgo r en función de la duración. Derecha: Correlación entre intensidades reales (Modelo DIT) y virtuales (PDIR-Now) corregidas. Estación Villa Dolores.

Procedimiento. En base a los resultados presentados, se desarrolló una metodología para la obtención de relaciones idT para otros puntos del dominio geográfico considerado, según se detalla sintéticamente a continuación:

1. Adquisición, para una duración determinada, de la serie virtual de precipitaciones en el sitio escogido.
2. Definición del año hidrológico, extracción de la serie de intervalos de máxima anual (IMA) y determinación de las intensidades.
3. Asignación de periodos de retorno T a la serie ordenada de intensidades i : obtención de la función $i(T)$.
4. Determinación, a partir del campo interpolado correspondiente, del coeficiente de corrección por sesgo r , para la duración y el sitio considerados.
5. Corrección, mediante la ecuación (2), de la función $i(T)$.
6. El procedimiento anterior se repite para cada duración d a considerar, generando de esta forma la función idT correspondiente.

Validación. Se aplicó esta metodología a dos sitios de interés que no pertenecen al conjunto de estaciones consideradas: las ciudades de Villa María (Córdoba) y Balcarce (Buenos Aires). En el primer caso, Caamaño y Dasso (2003) presentan una estimación de la relación IDT a partir del modelo DIT antes mencionado; en el segundo caso, Puricelli (2014) obtiene una relación idT a partir de datos de una estación meteorológica del

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), junto con su intervalo de confianza. La Figura 4 (izquierda) muestra las relaciones idT para Villa María, calculadas a partir del modelo DIT, y estimadas por el presente trabajo, para cuatro periodos de retorno; mientras que la Figura 4 (derecha) muestra las relaciones idT para Balcarce presentadas por Puricelli (2014), junto con sus intervalos de confianza, y estimadas por el presente trabajo, para $T = 5$ años.

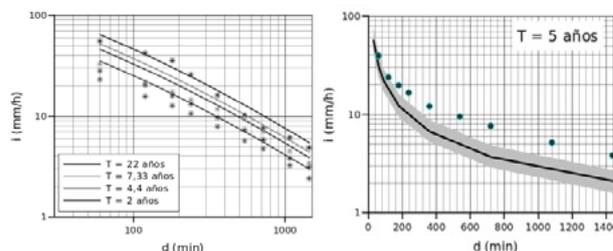


Figura 4.- Izquierda: relaciones idT para Villa María, Córdoba presentadas por Caamaño y Dasso (2003) (líneas) y estimadas por el presente estudio (puntos). Derecha: Relaciones idT para Balcarce (Buenos Aires), presentadas por Puricelli (2014) (líneas), para recurrencia de 5 años, y estimadas por el presente estudio (puntos)

Conclusiones

Ha sido posible establecer una metodología para generar relaciones idT en la zona norte del territorio argentino, mediante el uso de Datos de Precipitación Derivados de Satélite de paso temporal subsidiario, aplicando una corrección por sesgo en base a 25 relaciones idT disponibles. Dado que los campos continuos de DPDS surgen de la observación directa de los sensores remotos, y no de la aplicación de técnicas de interpolación espacial a partir de puntos aislados, se espera que estos resultados describan mejor la variabilidad espacial de las lluvias de diseño, en especial en una geografía tan extendida como la argentina. Sin embargo, la cobertura espacial queda limitada por la disponibilidad de relaciones idT para la corrección presentada, al sector norte del país. A pesar de las limitaciones indicadas, se considera que los DPDS permiten estimar relaciones Intensidad-Duración-Recurrencia (idT) comparables a las obtenibles a partir de información pluviográfica.

Referencias Bibliográficas

- Caamaño Nelli, G., y Dasso, C. (2003). *Lluvias de Diseño: conceptos, técnicas y experiencias*. Ed. Científica Universitaria, Córdoba.
- Devoto, G. A. (2002). "Regionalización de Lluvias Intensas en Argentina". *XIX Congreso Nacional del Agua*, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Nguyen, P., Ombadi, M., Gorooh, V.A., Shearer, E.J., Sadeghi, M., Sorooshian, S., Hsu, K., Bolvin, D. and Ralph, M. F. (2020). "PERSIANN Dynamic Infrared-Rain Rate (PDIR-Now): A Near-real time, Quasi-Global Satellite Precipitation Dataset". *Journal of Hydrometeorology*, 21(12), 2893–2906. doi: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0177.1>
- Puricelli, M. (2014). "Actualización y análisis de las curvas intensidad–duración–frecuencia para la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina". *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (32), 61-70.
- Rico, A., Dasso, C., García, C., y Caamaño Nelli, G. (2011). "Regionalización de los parámetros del modelo DIT para predicción de lluvias máximas en diseño hidrológico". *Cuadernos del CURIHAM*, 17, 15-24.
- Zamanillo, E., Larenze, G., Tito, M. J., Pérez, M. y Garat, M. E. (2008). *Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos*. Univ. Tecnológica Nacional, Buenos Aires. ISBN 978-950-42-0109-0.

PRECIPITACIONES DIARIAS DE DISEÑO PARA LA ARGENTINA OBTENIDAS A PARTIR DE DATOS DERIVADOS DE SATÉLITE

Juan Francisco Weber, Pablo Tomás Stehli, Gabriel Alejandro Bogino Castillo

Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS). Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina - Teléfonos: (54 - 351) - 468-4215 / 4006 / 4317 - int. 119-5
E-mail: jweber@frc.utm.edu.ar

Introducción

En la Ingeniería de los Recursos Hídricos, se denominan lluvias de diseño a eventos pluviales idealizados que reflejan las exigencias de origen hidrometeorológico a las que se verían sometidas las obras de infraestructura bajo un cierto nivel de riesgo (Caamaño y Dasso, 2003). Se caracterizan a través de tres componentes: su duración, su intensidad y su probabilidad de no excedencia, y surgen del análisis estadístico de series de valores extremos.

En Argentina como en otros países, las mediciones diarias de precipitación son llevadas a cabo mediante el empleo de estaciones pluviométricas de superficie. Como resultado, el conjunto de observaciones puntuales a veces no representa adecuadamente la variabilidad espacio-temporal de los sistemas precipitantes, lo cual hace necesario la incorporación de otras fuentes de medición que puedan mejorar este aspecto (Vidal et al., 2011).

Objetivos

Se establece evaluar la utilidad de Datos de Precipitación Derivados de Satélites (DPDS) en la generación de campos de lluvias diarias de diseño en la Argentina; y como consecuencia de ello, generar mapas de lluvias diarias de diseño para el país a partir del producto satelital considerado, que describan adecuadamente la variabilidad espacial de las precipitaciones considerando los efectos orográficos y climáticos en la amplia extensión territorial de la Argentina.

Materiales y métodos

Información pluviométrica: para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó la información provista por el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina (SMN) en 68 estaciones pluviométricas. Adicionalmente, para la validación de los resultados, se consideró un conjunto de 30 estaciones pluviométricas disponibles a través del Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH). En la Figura 1 puede observarse la distribución geográfica de dichas estaciones.

Datos de Precipitación Derivados de Satélites: Debido a la resolución espacial, frecuencia, y cobertura temporal disponible, se optó por trabajar con la información del producto CHIRPS (Funk et al., 2015). Este producto tiene una resolución temporal de 1 día (de 0 a 24 hs), con una disponibilidad continua desde el 1/1/1981, y una resolución espacial de 0,05° (aproximadamente, 5,4 km) con una cobertura espacial entre latitudes 50°S y 50°N.

Método de Devoto: Con fines comparativos, se digitalizó e implementó en QGIS el método presentado por Devoto (2002) para la regionalización de lluvias intensas, con duración de un día. Este autor desarrolló, en base a la información de 26 estaciones pluviográficas, un método para la estimación de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) en la República Argentina en localidades sin información, asumiendo válida la distribución de Gumbel y una relación de tipo hiperbólico entre intensidad y duración; permitiendo obtener relaciones sintéticas IDF para todo el territorio nacional.



Figura 1.- Estaciones pluviométricas consideradas

Metodología: La metodología desarrollada consistió de los siguientes pasos, y que se presentan en la Figura 2:

- Preprocesamiento de los Datos de Precipitaciones Derivados de Satélites (DPDS) (datos *virtuales*)
- Preprocesamiento de los datos pluviométricos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); extracción de las series de precipitación máxima diaria anual (pdMa) reales
- Extracción de las series de pdMa (*virtuales*) a partir de los mapas obtenidos de los DPDS
- Análisis de correlación lineal entre series de pdMa reales y *virtuales*
- Corrección de los mapas de pdMa (*virtual*)
- Análisis estadístico (pixel a pixel) de las series corregidas de pdMa
- Generación de los mapas de precipitaciones diarias de diseño - p(T)-, con periodos de retorno T entre 2 y 100 años.
- Extracción de las series de pdMa de las estaciones de validación (SNIH)
- Análisis estadístico de las series de pdMa de validación
- Validación de los resultados

Corrección por sesgo: a partir de las series ordenadas de pdMa reales (r) y *virtuales* (v), se estableció un modelo de corrección por sesgo (*bias*) de la forma:

$$pdMa_r = r \cdot pdMa_v \quad [1]$$

donde r puede interpretarse como un coeficiente de corrección de errores sistemáticos.

Análisis estadístico: se ajustaron las funciones de distribución de probabilidades Lognormal, Gumbel, GEV y Gamma, se calculó el coeficiente de determinación R² de cada ajuste y, a partir de esto, se obtuvo la distribución óptima, pixel a pixel.

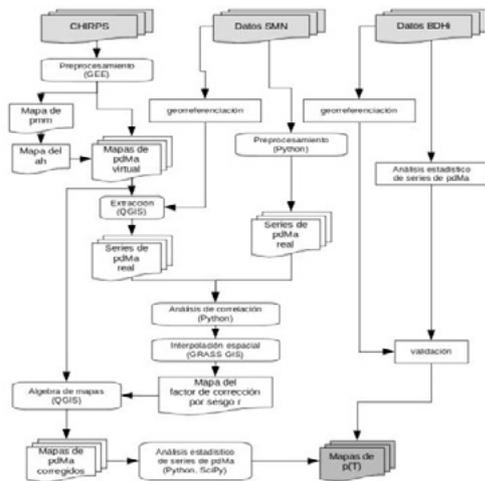


Figura 2.- Diagrama de flujo de la metodología aplicada

La extensión temporal considerada cubrió el periodo 1981 – 2017, con un total de 36 años hidrológicos considerados. De esta forma, se procesaron un total de 132296 series de precipitaciones virtuales de 13514 días de extensión, es decir un total de 1787848144 (~1.8 · 10⁹) datos pluviométricos virtuales. Los periodos de retorno considerados fueron: 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, ya que para periodos mayores la amplitud del intervalo de confianza resulta excesiva.

Resultados

En base a las distribuciones óptimas halladas (y sus parámetros), se estimaron las precipitaciones correspondientes a los periodos de retorno considerados, en correspondencia con cada uno de los píxeles. Con ello, se construyeron los mapas de precipitaciones de diseño correspondientes, los que fueron visualizados y posprocesados en el sistema de información geográfica QGIS. En la Figura 3 se presenta, a título de ejemplo, el mapa obtenido para T = 25 años.

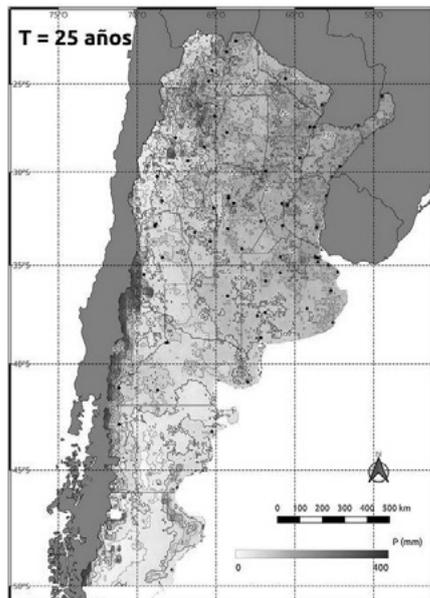


Figura 3.- Precipitaciones de diseño estimadas para un periodo de retorno de 25 años. Equidistancia: 25 mm

Validación

En la Figura 4 se presentan, a título de ejemplo, las precipitaciones reales (series pluviométricas) y virtuales (CHIRPS) de diseño, en función del periodo de retorno;

agregando a las precipitaciones de diseño reales el intervalo de confianza obtenido para un nivel del 90% de confianza, para cuatro de las 30 estaciones. Se agregan también las estimaciones de estas lluvias de diseño obtenidas a partir del método de Devoto.

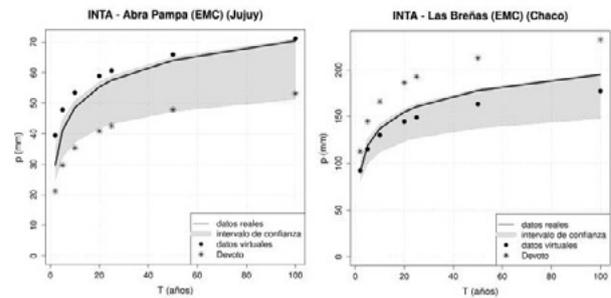


Figura 4.- Validación de precipitaciones de diseño. Estaciones Abra Pampa (Jujuy) y Las Breñas (Chaco)

Las lluvias diarias de diseño obtenidas acompañan la variabilidad climática y orográfica del país. En la Figura 5, como ejemplo, puede apreciarse lo anterior, para una transecta a través de las provincias de Catamarca y Tucumán, junto con las estimaciones dadas por el método de Devoto (2002).

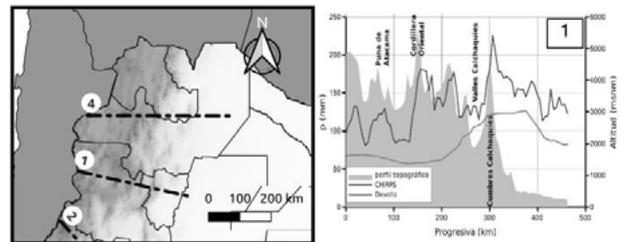


Figura 5.- Distribución espacial de las precipitaciones diarias de diseño (T = 25 años) para la transecta 1 (Catamarca – Tucumán)

Conclusiones

Fue posible generar mapas de Precipitaciones Diarias de diseño, en base al uso del conjunto de Datos de Precipitación Derivados de Satélites CHIRPS, para periodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años, para la mayor parte del territorio continental argentino. Los mapas generados, con una resolución espacial de 5 km, permiten describir la distribución espacial de esta variable en amplias regiones del país donde no se dispone de series pluviométricas de extensión y calidad suficientes para implementar un análisis de hidrología estadística clásico. Se considera que los DPDS, mediante una corrección pertinente, resultan útiles para la generación de campos de lluvias diarias de diseño en la Argentina. Los resultados de este trabajo están libremente disponibles a través del sitio web <https://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/hidraulica/>

Referencias Bibliográficas

- Caamaño Nelli, G. y Dasso, C. M. (2003). *Lluvias de diseño*. Universitat, Córdoba, Argentina.
- Devoto, G. (2002). "Regionalización de lluvias intensas en Argentina". *XIX Congreso Nacional del Agua*, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., and Michaelsen, J. (2015). "The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes". *Scientific Data*, Vol. 2, pp. 150066.
- Vidal, L., Salio, P., y Pappalardo, L. (2011). "Uso combinado de datos TRMM/PR y disdrómetro para corrección de reflectividad de radares meteorológicos en Argentina". *Primer Encuentro de Jóvenes Investigadores en Recursos Hídricos - IFRH 2012*. Ezeiza, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional del Agua.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ESTIMADA A PARTIR DE PRODUCTO SATELITAL MERGE Y MEDICIONES CONVENCIONALES EN LA CUENCA DE APORTE AL LAGO DE SALTO GRANDE

Federico Yoya¹, Juan Badagian², Gonzalo Sapriza², Andrés Graisaró¹, Guillermo Collazos¹.

Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, Argentina¹ - Uruguay²
yoyaf@saltogrande.org

1. Introducción

En hidrología, la precipitación es la variable de entrada más importante en los modelos matemáticos de estimación de la escorrentía. Por ello, la medición de la precipitación es un insumo fundamental. El principal método de medición es a partir de la utilización de pluviómetros, estos pueden ser convencionales o bien automáticos. En los últimos años, se ha extendido la estimación de precipitación a partir de teledetección, lo cual permite conocer la distribución espacial de la lluvia que afecta al área de interés y complementar las mediciones tradicionales.

En orden de analizar el desempeño del producto satelital de precipitación como insumo en el monitoreo hidrológico de las cuencas de aporte más próximas al lago de Salto Grande, es importante evaluar individualmente el producto de precipitación satelital con respecto al dato de precipitación de referencia, en este caso las estaciones que forman parte de la red de monitoreo de la cuenca del río Uruguay.

Este trabajo, expone el análisis comparativo de la estimación de la precipitación media areal en seis (6) cuencas con una extensión que oscilan entre los 2.000 y 17.300 km², tributarias al lago de Salto Grande, a partir de información recolectada por pluviómetros convencionales y productos satelitales.

2. Datos y metodología

2.1. Área de estudio

El río Uruguay posee un caudal medio a la altura de la represa de Salto Grande de 5,400 m³/s y es el segundo tributario más importante del río de La Plata. Tradicionalmente, la cuenca de aporte (243.970 km²) se divide en cuenca alta, cuenca media y la cuenca más próxima al lago de Salto Grande. El área de estudio comprende seis (6) sub-cuencas ubicadas en la cuenca de aportes más próxima al lago de Salto Grande. En la Figura 1 se presenta las cuencas de interés en este estudio: Arapey Chico (1) (2.123 km²), Arapey Grande (2) (2.168 km²), Arapey Grande R4 (3) (6.942 km²), Artigas (4) (4.571 km²), Paso de la Cruz (5) (8.628 km²) y Manuel de Viana (6) (17.278 km²). Siendo el río Ibicuy, Arapey y Cuareim las vías de principal aporte desde el territorio brasilero – uruguayo.

2.2. Conjunto de datos

La información usada en este estudio se divide en: 1) datos observados por la red de pluviómetros convencionales y automáticos, 2) datos del producto satelital MERGE, a continuación, se describen.

2.2.1 Datos observados

Los datos pluviométricos empleados pertenecen a la *red telemétrica de Salto Grande*, destacamentos policiales de Uruguay, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIA) y Agência Nacional de Aguas (ANA). Se utilizaron 40 estaciones pluviométricas (automáticas y convencionales) que fueron utilizadas en los cálculos de precipitación media.

La red telemétrica de Salto Grande se encuentra compuesta por 73 estaciones automáticas distribuidas en la cuenca de aporte al Lago de Salto Grande, ubicadas en territorio argentino y uruguayo. Todas las estaciones cuentan con pluviómetros

dispuestos en las estaciones de medición de lluvia poseen un volumen de medición de 1 mm por cada vuelco del cangilón y con transmisión cada 15 minutos. En la Figura 2 se presenta una estación pluviométrica estándar de la red telemétrica de Salto Grande.

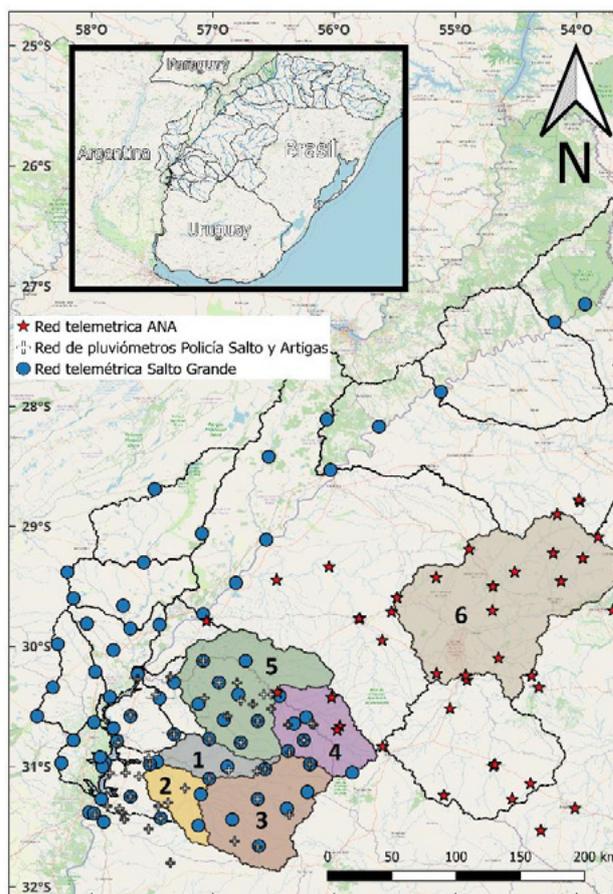


Figura 1.- Cuenca de aporte al lago de Salto Grande.



Figura 2.- Estación pluviométrica de la red telemétrica de Salto Grande con cerco perimetral de madera.

2.2.2 Producto satelital MERGE

MERGE es una técnica para minimizar las incertidumbres en

datos de información asociada a la interpolación sobre regiones con baja densidad de pluviómetros. Los datos observados son combinados con estimaciones satelitales de GPM – IMERGE - Early (Huffman y Otros 2015). El que TRMM-TMPA fue discontinuado en mayo de 2020 y reemplazado por GPM-IMERGE, del cual el producto MERGE viene siendo generado. El producto MERGE posee una resolución espacial de 0,1°.

2.2.3. Cálculo de precipitación media areal

Como la base de datos consiste de dos fuentes bien diferenciadas, por un lado, las series temporales de precipitación diaria areal son obtenidas a partir de pluviómetros automáticos y convencionales cuyos valores son interpolados por el método de polígonos de Thiessen, acumulando 24 horas a las 7:00 AM. Por otro lado, los datos de precipitación media areal derivada del producto Satelital MERGE se calculan utilizando los datos horarios disponibles en el FTP (<http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM>) del CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos). Las series temporales de precipitaciones areales para cada cuenca es calculada utilizando el shapefile de la correspondiente cuenca hidrográfica y realizando el promedio de la grilla de puntos que cae dentro de los límites de dicha cuenca.

3. Resultados

3.1 Comparación de estimaciones de precipitación

Luego de realizar diversas comparaciones a distintas escalas temporales (anual, mensual, quincenal, semanal y diaria) se entiende pertinente presentar los resultados a escala temporal de 7 días, es decir, la precipitación acumulada en una semana. Esto permite exponer el seguimiento de las estimaciones de la precipitación media areal en el período de análisis.

Entonces, con la serie de datos reagrupada, en las Figuras 3 y 4, se presentan los gráficos de dispersión de la precipitación observada versus la precipitación estimada por satélite para cada cuenca objeto de estudio. En la Tabla 1, se presentan los valores de R^2 , correspondientes a cada cuenca. Los valores de R^2 en las cuencas (4), (5) y (6) se encuentran en el orden de lo estimado por Rozante et al (2020).

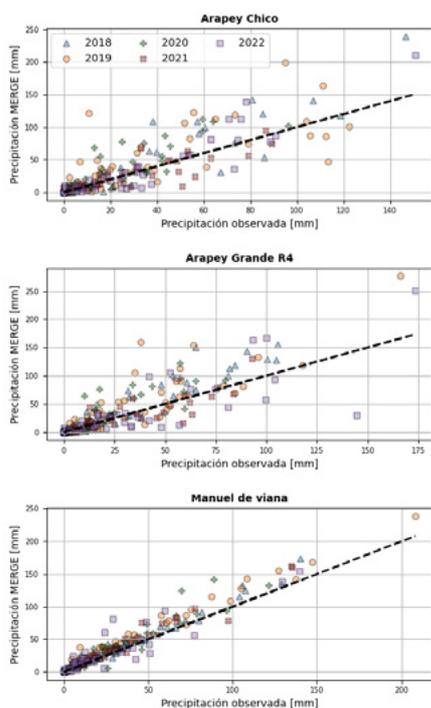


Figura 3.- Gráfico de dispersión de precipitación acumulada en 7 días, observadas con pluviómetros convencionales y estimadas (MERGE).

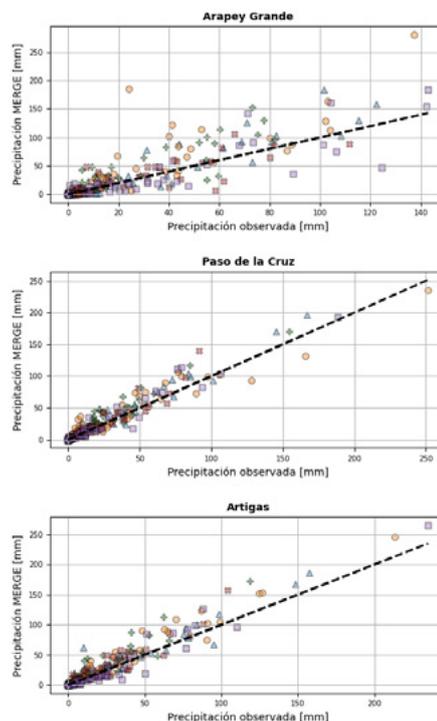


Figura 4.- Gráfico de dispersión de precipitación acumulada en 7 días, observadas con pluviómetros convencionales y estimadas (MERGE).

Tabla 1.- Coeficiente R^2 para las cuencas.

Cuenca	R^2
Arapey Chico	0.49
Arapey Grande	0.41
Arapey Grande R4	0.40
Paso de la Cruz	0.90
Manuel de Viana	0.87
Artigas	0.84

4. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, considerando el período de análisis 2018-2022, se muestra que en términos medios las estimaciones realizadas por el producto satelital MERGE presenta mejores aproximaciones para las cuencas (4), (5) y (6). Dado que tanto las estaciones de la red telemétrica como de los destacamentos policiales de Uruguay no son incorporadas en la calibración del producto MERGE, es de utilidad para convalidar la medición de precipitación en campo.

Luego, si bien para las cuencas (1), (2) y (3), la correlación entre lo observado y lo estimado es menor. Estos resultados permiten tener cierta sensibilidad sobre las estimaciones realizadas por el producto satelital MERGE en distintas áreas de la cuenca de aporte al lago de Salto Grande. En este sentido, la asimilación *ad-hoc* de datos de la red telemétrica de Salto Grande significaría una mejora en las estimaciones de la precipitación media a partir del producto satelital MERGE en las cuencas ubicada es territorio uruguayo.

5. Referencias

- Huffman G.J., Bolvin D.T., Braithwaite D., Hsu K., Joyce R., Xie P., Yoo S.-H (2015). "NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG)". Algorithm Theor. Basis Doc. Version 2015, 4, 30.
- Rozante J.R., Ramirez G. E., Almeida Fernandes A., Vila D.A. (2020). "Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and Surface observations". "International Journal of Remote Sensing", 41:19, 7585-7604.

AVANCES EN EL ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ANCESTRALES Y TRADICIONALES DE REGADÍO EN LA PROVINCIA DE GRANADA (ESPAÑA) Y EL NOROESTE DE ARGENTINA.

Juan Pablo Zamora Gómez ⁽¹⁾, Sergio Martos Rosillo ⁽²⁾ y José María Martín Civantos ⁽³⁾

(1) Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región NOA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (IPAF NOA – INTA); Cátedra de Planificación y Administración – Facultad de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Salta; Red de Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas / Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red SYCA/CYTED); Argentina. E-mail: zamoragomez.juan@inta.gob.ar

(2) Instituto Geológico Minero de España – Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IGME – CSIC); (Red SYCA/CYTED); España; e-mail: s.martos@igme.es

(3) Laboratorio de Arqueología Biocultural – Universidad de Granada (MEMOLab – UGR); (Red SYCA / CYTED); España; e-mail: civantos@go.ugr.es

Introducción

Los sistemas históricos de regadío cumplen una función muy importante para la producción de alimentos, la regulación de servicios hidrológicos, el sostenimiento de paisajes, entre otros. En la región sur de España, la antigüedad de estos sistemas se remonta a la Edad Media, y continúan siendo operados en la actualidad. Las acequias y los sistemas históricos de gestión de agua son un elemento fundamental en los paisajes de las provincias de Granada y Almería y han vertebrado una parte importante del territorio y de las comunidades humanas que en ellas han habitado desde época medieval (Martín Civantos et al., 2022). De igual manera, en la región andina de la Argentina existen muchos regadíos tradicionales asociados a oasis productivos en sectores de valles áridos, del altiplano y el dominio altoandino.

Sierra Nevada es el relieve montañoso más importante de la Cordillera Bética, que es una cadena de plegamientos de edad alpina, situada en el sur de la Península Ibérica. Su longitud supera los 90 km y su anchura, 35 km. Sierra Nevada tiene una estructura geológica de domo anticlinal de trazado E-W, parcialmente desmantelado por la erosión (Martín Martín et al., 2008). El macizo abarca tanto el territorio de la provincia de Granada, en su sector occidental, como de Almería, en su porción oriental.

Objetivos

El presente trabajo tiene por objeto mostrar los primeros avances en el conocimiento comparado de los sistemas ancestrales y tradicionales de regadío del macizo de Sierra Nevada (Andalucía, España) y el noroeste argentino. Esta iniciativa fue emprendida por el Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región NOA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (IPAF NOA – INTA) de la Argentina, el Laboratorio de Arqueología Biocultural (MEMOLab) de la Universidad de Granada, el Instituto Geológico Minero de España - Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Técnicas (IGME-CSIC) y la Red de Siembra y Cosecha de Agua en Áreas Protegidas de Iberoamérica (Red SyCA-CYTED).

Materiales y métodos

Se procedió a realizar una caracterización del ambiente físico e hidrogeológico, un relevamiento y mapeo de infraestructura hidráulica con representantes de organismos técnicos y funcionarios de las comunidades de regantes y ayuntamientos y municipios de las áreas de estudio (Figura 1). También se relevaron fuentes de agua en los sistemas de interés.

Se entrevistó a autoridades e integrantes de las comunidades y juntas de regantes, y se indagó sobre las técnicas y prácticas de riego en ambas regiones, particularmente aquellas relacionadas

con la Siembra y Cosecha de Agua (SyCA). Dentro de las SBN, las tecnologías relacionadas con Siembra y Cosecha de Agua (SyCA) cobran especial relevancia. SyCA es el proceso mediante el cual el ser humano recolecta e infiltra (siembra) el agua de lluvia, escorrentía superficial, hipodérmica y subterránea en el subsuelo para poder recuperarla (cosecharla) un cierto tiempo después. El concepto de SyCA es empleado fundamentalmente en América Latina, como una práctica que se nutre de los saberes ecológicos de las comunidades locales (Martos-Rosillo et al., 2020).

También se emplearon herramientas de teledetección para evaluar la influencia de las prácticas de irrigación en la dinámica de humedad del suelo en la región bajo estudio en la Quebrada de Humahuaca.



Figura 1.- Canal de riego en una cuenca tributaria al río Grande (Departamento Tilcara, Jujuy, Argentina). Fuente: Juan Pablo Zamora Gómez.

Resultados y discusión

Mediante un análisis espacial, se pudo determinar que las acequias de careo mejoran la disponibilidad de agua durante los estiajes en prácticamente un 70 % de los puntos de abastecimiento que se ubican sobre los materiales nevado filábrides (Zamora Gómez et al., 2021). Las acequias de careo consisten en canales excavados en el terreno que derivan el agua de deshielo de la cabecera de los ríos para infiltrarla en las partes altas de las laderas. Lamentablemente, muchas de estas

acequias han sido abandonadas. Las acequias de careo recargan los acuíferos formados por los sedimentos de origen glaciar y periglacial y la zona de alteración de las rocas metamórficas que afloran en estas cuencas (Martos Rosillo et al., 2020).

En relación con la región del NOA, se desarrollaron tareas de investigación en valles áridos de la provincia de Jujuy (Argentina). Se caracterizaron sistemas ancestrales y tradicionales de riego de esta región, describiéndose las técnicas de siembra y cosecha de agua aplicadas en los mismos.

Consideraciones finales

Los sistemas ancestrales y tradicionales de riego constituyen un elemento de suma importancia para implementar estrategias de gestión adaptativa del agua en territorios áridos y semiáridos de elevada vulnerabilidad frente al cambio climático, como el macizo de Sierra Nevada en Andalucía y la región andina del noreste argentino (Figura 2).



Figura 2.- Campaña de recuperación de acequias ancestrales en Sierra Nevada, coordinado por el MEMOLab-UGR. Fuente: Juan Pablo Zamora Gómez.

Se observa un interés creciente en el estudio de los sistemas ancestrales en ambas regiones. Por ejemplo, en la Quebrada de Humahuaca se está implementando un Proyecto en Temas Estratégicos para recuperar, poner en valor y rehabilitar las tecnologías prehispánicas para el manejo de agua, suelo y cultivos andinos, en forma conjunta entre equipos del sector científico-tecnológico (CONICET, INTA, Universidad Nacional de Jujuy e INA) y las comunidades participantes de la Quebrada de Humahuaca, aplicando diferentes técnicas y metodologías basadas en SBN y SyCA.

Estas iniciativas apuntan a cubrir la necesidad de mantener y poner en valor los sistemas ancestrales de riego y de recarga artificial como soluciones basadas en la naturaleza que prestan un apoyo fundamental para la consecución de objetivos de seguridad hídrica contemplados en instrumentos tales como la Agenda 2030. Relacionado con esto último, cobra mucha importancia la determinación de los cómo cuantificar los retornos de riego de las terrazas y los andenes y las parcelas ubicadas en las márgenes del río Grande.

Referencias

- Martín, J. M., Correa, E., Bonet, M. T., & Toscano, M. (2022). "Aprender a ser científic@s con el regadío histórico". UNES. Universidad, Escuela y Sociedad, 12 (1), pp. 87–100.
- Martos-Rosillo, S. et al. (2020). "La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica; un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza". Disponible en: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2020/02/la-siembra-y-cosecha-del-agua-en-iberoamerica-un-sistema-ancestral-de-gestion-del-agua-que-utiliza-soluciones-basadas-en-la-naturaleza/> (consulta 01 julio 2021).
- Zamora Gómez, J. P., Marín-Lechado, C.; Peinado-Parra, T. García-Martínez, J., Martos-Rosillo, S. 2021. Siembra y cosecha del agua en el espacio natural de Sierra Nevada: un sistema ancestral de manejo del agua que garantiza el abastecimiento a poblaciones rurales en áreas protegidas. CIAS2021 - Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas, Valencia, 197-200.
- Zamora Gómez, J. P. y Cianfagna, F. A. Siembra y cosecha de agua en sistemas de riego ancestrales y tradicionales de la Quebrada de Humahuaca (Provincia de Jujuy, Argentina). Capítulo de Libro. En: Martos-Rosillo, S. y Durán, J. J. (Eds.) 2022. Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), IGME-CSIC.

Agradecimientos

El presente trabajo se elaboró en el marco de la Red de Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red CYTED/SyCA). Además, este trabajo está enmarcado en el Proyecto "Estudio comparativo de los sistemas de riego histórico de las regiones de Sierra Nevada (Andalucía, España) y el Noroeste de la Argentina", que articulará al IPAF NOA – INTA, el Laboratorio de Arqueología Biocultural (MEMOLab) (Universidad de Granada) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) oficina Granada. Una parte de las actividades de este proyecto fueron financiadas por el programa BEC.AR, del Ministerio de Educación de Argentina. A su vez, se contó con el apoyo de los siguientes proyectos estructurales y plataformas de innovación de INTA: PE-E2-I041 "Aportes para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en cuencas de las regiones de Sistema Agroalimentario Argentino"; PE-E2-I505 del INTA "Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de riego"; PE-E3-I064 del INTA "Prevención y evaluación de la emergencia y desastre agropecuario"; PE-E2-I506 del INTA "Determinación y relevamiento de humedales. Producción y uso sostenible"; PE-E2-I043 del INTA "Acceso, uso, re-uso y manejo del agua con fines múltiples"; Plataforma de Innovación Territorial "Desarrollo de la Quebrada de Humahuaca y Valles Altura (Jujuy y Salta)".

Un eterno agradecimiento al Dr. Luciano Mateos Iñiguez, que nos dejó recientemente. Se desempeñó como investigador científico en el Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba (IAS-CSIC; España). A través de su inmensa y destacada labor en relación con la gestión de los riegos tradicionales a nivel internacional, propició los vínculos permanentes entre diferentes grupos de investigación de Iberoamérica.

INFLUENCIA DE LAS ESCASAS PRECIPITACIONES EN LOS NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Zanandrea, Juan Francisco^{1,2}; Herrera Niño, Felipe^{3,4}; Scarano, Sofia^{6,7}; Dell' Arciprete, Daiana^{3,4}; Fabiano, Maximiliano³; Gil, Joaquín^{3,4}; Laurencena, Patricia^{3,5}; Perdomo Santiago¹.

1 CITNOBA (UNNOBA-UNSAa-CONICET), Zapiola 237 2do Piso, S. A. de Areco, Argentina. E-mail: jfzanandrea@conicet.gov.ar.

2 Departamento de Ciencias Naturales y Exactas - Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSAa)

3 CEIDE-FCNyM-UNLP.

4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

5 Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina.

6 Municipalidad de S. A. de Areco

7 Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA).

Introducción

En la provincia de Buenos Aires, durante décadas, se han registrado relatos y documentos históricos sobre periodos cíclicos de excesos, déficits e intermedios de precipitaciones para posteriormente ser medidos sistemáticamente con instrumentos específicos. Estos periodos se han visto reflejados en diferentes episodios de inundaciones y sequías (Scarpati y Capriolo, 2013). Estos fenómenos meteorológicos extremos presentan un riesgo importante tanto para los ejidos urbanos como para el sector agrícola/ganadero.

El 2022 fue el tercer año consecutivo bajo condiciones de una fase fría del fenómeno ENOS- La Niña. Debido a la relación existente entre las fases del fenómeno y la precipitación en la región sur de la Cuenca del Plata y en la zona húmeda del país, La Niña favoreció las lluvias deficitarias observadas, lo que agravó las condiciones secas en el área ya afectada por la sequía (SMN, 2023).

La región noreste de la provincia de Buenos Aires donde se ubican las áreas de estudio presenta según la clasificación de Thornthwaite (1948), un clima "c2- r- b'2" subhúmedo-húmedo mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua. Según Köppen se clasifica "Cfa" "clima templado húmedo subtropical" (EASNE, 1973). La dinámica de los excesos hídricos presentes en las zonas a analizar, como en los ambientes de llanura en general, se caracterizan por un predominio de los movimientos verticales a través de procesos de infiltración y evapotranspiración, sobre los movimientos horizontales que conforman el escurrimiento superficial. (Kruse & Zimmermann, 2002).

Objetivo

El objetivo general de este trabajo es vincular las escasas precipitaciones durante el fenómeno climático ENOS- La Niña con la variación de niveles de agua subterránea en el noreste de la provincia de Buenos Aires.

Área de estudio

Los sitios de análisis se encuentran emplazados en el noreste de la provincia de Buenos Aires (**fig. 1**), específicamente en la Pampa Húmeda, dentro de la unidad geomorfológica Pampa Ondulada (Daus, 1946). Al noroeste se ubica la cuenca del Río Areco, que abarca una extensión rural significativa, mientras que al sureste se ubica la zona del Gran La Plata (GLP) la cual se encuentra en un ambiente predominantemente urbano y hortícola.

La cuenca del Río Areco ocupa un área de 3980,47 km² (MIySP, 2020) con una dirección suroeste- noreste. El río Areco es el colector principal con un escurrimiento en sentido noreste hacia el río Baradero para finalmente desembocar sobre el Río Paraná de Las Palmas. Geomorfológicamente se divide en tres zonas: la llanura alta, intermedia y baja según los cambios de pendiente (EASNE, 1973), con variaciones de altitud que van de un

máximo de 78 m.s.n.m en la cabecera de la cuenca a 1 m.s.n.m en la desembocadura.

La zona del Gran La Plata abarca un área de unos 900 km² y se encuentra definida por el conjunto de cuencas hidrográficas que drenan hacia el Río de la Plata en los municipios de Berisso, Ensenada, La Plata y Magdalena. En la zona se diferencian dos unidades geomorfológicas mayores: 1) Llanura alta, que incluye gran parte del partido de La Plata y Magdalena, abarcando las cuencas del arroyo Martín-Carnaval, Rodríguez, El Gato, Maldonado y del arroyo El Pescado y 2) Planicie costera, donde se asienta el partido de Berisso y Ensenada, caracterizada por una extensa área de bañados.

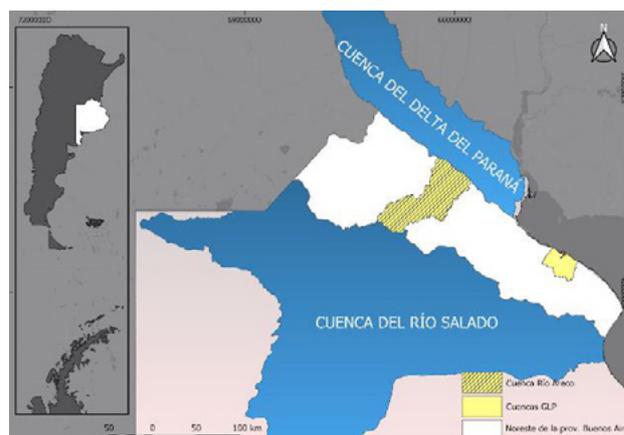


Figura 1.- Área de estudio y sitios de análisis.

Metodología

En ambos lugares de estudio se aplicó la misma metodología estadística y actividades de campo. Los datos meteorológicos para la cuenca del Río Areco fueron aportados por AER- INTA San Antonio de Areco y la EEA- INTA Pergamino. Para el área del Gran La Plata se obtuvo esta información a partir del Departamento de Sismología e Información Meteorológica (FCAG-UNLP). Se considera que estas estaciones son representativas para sus respectivas áreas de estudio debido a su ubicación.

Análisis de los datos pluviométricos

Se analizaron las series de precipitación mensual para el período 1982-2022. Se calcularon valores medios con los datos del período 1982-2017 y con estos las anomalías en los años comprendidos entre 2018 y 2022.

Para la caracterización de la sequía se utilizaron los deciles de precipitación, que dividen la distribución de precipitaciones acumuladas en 10 categorías con una probabilidad de ocurrencia aproximadamente igual (SISSA, 2023). En el cálculo se tomaron como referencia las precipitaciones mensuales para el período 1982-2017 y luego se asignó cada valor de precipitación mensual de la serie 2020-2022 al decil correspondiente.

Análisis del recurso hídrico subterráneo

En este caso, se llevaron a cabo múltiples balances hídricos. Con el fin de contextualizar el sector de estudio, se realizó uno de largo plazo con 40 años utilizando la metodología de Thornthwaite & Matter (1957). En este análisis se emplearon datos de medias aritméticas de precipitación y temperatura mensual. Además, se realizaron balances hídricos seriados de los últimos 5 años (2018 a 2022) utilizando el programa Balshort (Carrica, 1993). Estos balances se efectuaron con datos de precipitación diaria.

Con respecto a los niveles de agua subterránea se relevaron en campañas de medición de las redes de monitoreo pertenecientes a cada área. Contando con pozos al acuífero Pampeano (libre) y al acuífero Puelche (semiconfinado). Para la cuenca del río Areco esta se realizó en los años 2021- 2022 (Zanandrea, 2022) mientras que en la GLP en los años 2018 y 2023.

Resultados

Las precipitaciones anuales han ido en descenso desde el 2018 y las del 2022 resultaron ser las mínimas del registro para ambas estaciones. Las precipitaciones mensuales acumuladas por trimestres presentaron desde el 2019 hasta el 2022 sucesivas anomalías negativas.

Considerando las precipitaciones mensuales del periodo 2020-2022, el 50% de los meses quedaron caracterizados con algún nivel de sequía para ambos sitios de análisis (fig. 2). Este porcentaje aumenta al considerar las precipitaciones del año 2022 donde el 75% de los meses para el caso de la cuenca del Río Areco y el 67% de los meses para el caso de la región de GLP se clasifican como sequía.

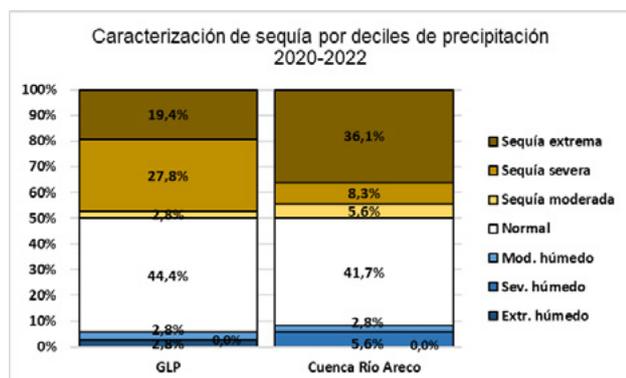


Figura 2.- Porcentaje de meses caracterizados por sequía según deciles de precipitación en región GLP y cuenca del Río Areco desde el año 2020 al 2022.

Los balances hídricos realizados para la cuenca del Río Areco y GLP (tabla 1) proporcionan los siguientes resultados. En el periodo de largo plazo, se registra una precipitación media de 1064 mm/año y un exceso de 243 mm/año, lo que representa el 22,84% de la precipitación. En el análisis del rango temporal 2018-2022, utilizando el método Balshort -que permite una mejora en la evaluación de los excesos- dio para el año 2018 una precipitación de 1532 mm/año y un exceso de 991,6 mm/año, representando el 64,73% de las precipitaciones. En los años siguientes, estas disminuyeron considerablemente, lo que resulta en una reducción del exceso hídrico. Finalmente, en el año 2022 se registran niveles bajos de exceso de tan solo 28,3 mm/año, lo que representa el 6,46% de la precipitación. Los balances hídricos de la región de GLP presentan similitudes en el comportamiento de los excesos, siendo en 2018 de 753, 8 mm/año que corresponde a un 54, 98 % de las precipitaciones mientras que en el año 2022 el exceso fue de 30,6 mm/año equivalente a un 5,35 %. Con respecto a las aguas subterráneas, la profundidad de los niveles para el área del Río Areco

descendió 0,70 m en ambos acuíferos mientras que en GLP fueron en promedio de 2,88 m para el acuífero Pampeano y 5 m para el acuífero Puelche.

Tabla 1.- Balances hídricos de las áreas de estudio. PP.: precipitación; Evt. real: Evapotranspiración real

Año	Cuenca del Río Areco	PP.	Evt. real	Excesos	Región Gran La Plata	PP.	Evt. real	Excesos
		[mm/año]				[mm/año]		
1982-2022		1064	821	243		1098	806	292
2018		1532	565,4	991,6		1371	623,5	753,8
2019		868	555,9	353,7		1147	612,8	540,6
2020		806	524,9	286,6		856	597,7	299,6
2021		657	510	158,3		803	571,6	241,8
2022		438	405,3	28,3		572	525,9	30,6

Conclusiones

Las precipitaciones acumuladas del periodo 2020-2022 fueron las más deficitarias del registro para ambos sitios de análisis, coincidiendo con el periodo de desarrollo del fenómeno de La Niña.

Más del 40 % de los meses del periodo 2020- 2022 se clasifican como sequía severa a extrema.

Durante el periodo 2020- 2022 los excesos hídricos de las áreas de estudio disminuyeron considerablemente.

La falta de excesos hídricos se reflejó en los descensos de niveles de agua subterránea.

Bibliografía

- Carrica, J. (1993). Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental Pampeana. Actas XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Tomo XXXX Buenos Aires, 111-111.
- Daus, F. (1946). "Morfografía General de las Llanuras Argentinas". Geografía de la República Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, (3), 115-198.
- EASNE. (1973). Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires. In Serie Técnica No24 Tomo I.
- Kruse, E., & Zimmermann, E. D. (2002). Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). *Groundwater and Human Development*, 2025-2038.
- Scarpati, O. E., & Capriolo, A. D. (2013). "Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal". *Investigaciones geográficas*, (82), 38-51.
- Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. (2023). Reporte "Estado del Clima en Argentina 2022".
- Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA). (2023). Link: <https://sisas.crc-sas.org/monitoreo/indices-de-sequia/> consulta mayo 2023.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward arational classification of climate. *American Geographical Society*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W., y Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology.*, 3(10), 183-311.
- Zanandrea, J. F., Perdomo, S., Laurencena, P. C., & Kruse, E. E. (2022). Actualización del régimen hídrico del acuífero Puelche en la cuenca del río Areco, provincia de Buenos Aires. In XI Congreso Argentino de Hidrogeología Bahía Blanca. *Hidrogeología regional - Acuíferos transfronterizos*, 342- 349.

CUENCA DEL RÍO LOS PATOS – SALAR DEL HOMBRE MUERTO: ESTUDIO Y TOMA DE DECISIONES

Ing. ZARAUZ RUBONI, M. Florencia; Ing. CAMISSASSO, Javier; Lic. BRUSA, M. Soledad; Ing. ROLDÁN, Brenda A.

Ministerio de Agua, Energía y Medio Ambiente, Argentina
agua@catamarca.gov.ar

Introducción

El salar del Hombre Muerto – depresión cerrada a 3.900 m s.n.m.- se ubica próxima al límite entre las provincias de Catamarca y Salta. Su cuenca de aporte se caracteriza por un drenaje centrípeto de las aguas superficiales y subterráneas, cuya única forma de reintegrar al ciclo hidrológico es a través del proceso de evaporación.

El clima regional, propio de la Puna, es de tipo Continental Andino intenso, alcanzando condiciones de clima desértico. El área se caracteriza por presentar escasas precipitaciones líquidas, menores a 200 mm/año. (García, 2013).

La geología del salar se define por una costra salina seca, compuesta en forma predominante por niveles de cloruro de sodio acompañado por cantidades subordinadas de boratos y sulfatos. Importantes concentraciones de Li, K, Mg y otros elementos enriquecen la salmuera subterránea de la cuenca.

Debido al aumento en la demanda de litio a nivel mundial, el interés en la zona para el desarrollo de proyectos mineros ha crecido sustancialmente. Dentro de este contexto, la Cuenca Río Los Patos es un sistema de agua superficial y subterránea con potencial uso para abastecimiento de agua fresca en los procesos industriales futuros.

Con el fin de conocer la disponibilidad de agua, el Gobierno de la Provincia de Catamarca ha encomendado un estudio de la cuenca en dos etapas: una primera etapa de caracterización y una segunda etapa de generación de un modelo conceptual y matemático.

La primera etapa del estudio (CONHIDRO, 2019) permitió:

- Conocer la zona a partir de recopilar, organizar e interpretar la información antecedente.
- Caracterizar geológicamente el subsuelo en el área de modelación, concretando un relevamiento geológico e hidrogeológico del área de estudio y la realización de campañas de prospección geofísica.
- Censar y relevar las perforaciones existentes dentro de la cuenca.
- Determinar ubicaciones de futuras perforaciones de exploración y control.
- Elaborar un sistema de información geográfica ágil para acceder y administrar la información recopilada y generada.

La segunda etapa (CONHIDRO, 2021) tuvo como alcance:

- Realizar el modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero.
- Determinar la recarga del mismo con la menor incertidumbre posible (reservas de agua y potencial de uso).
- Elaborar un balance de masas y elaborar modelos numéricos de simulación de usos.
- Establecer una red estratégica de pozos y puntos de muestreo que sirva para el monitoreo de los niveles piezométricos y de calidad del agua.

Asimismo, en el marco de las solicitudes de permisos y concesiones de agua, se elaboró un plan de monitoreo y alerta temprana abarcando distintos puntos de la cuenca.

Balance hídrico

Conforme al análisis realizado mediante el modelo HEC-HMS y el modelo SWAT (CONHIDRO, 2021), obsérvese Figura 2, el balance hídrico promedio anual de toda la cuenca para el período 2011-2020 se compone de:

- Precipitaciones totales promedio de 106,5 mm anuales (7607,5 L/s), de las cuales el 57,4% se depositan en forma de nieve, el restante en forma líquida
- Evapotranspiración promedio anual de 77,6 mm (5542,7 L/s), donde se incluyen los procesos de sublimación que representan el 63% de este total
- Escurrimiento superficial 14 mm promedio, proveniente de la precipitación líquida más el derretimiento de nieve
- Recarga de acuífero de 14,5 mm (1110.1 L/s)

En síntesis, el rendimiento hídrico de la cuenca es de 28,5 mm anuales promedio, es decir un 26,8% de lo que precipita en promedio termina escurriendo a nivel superficial y en forma subterránea.

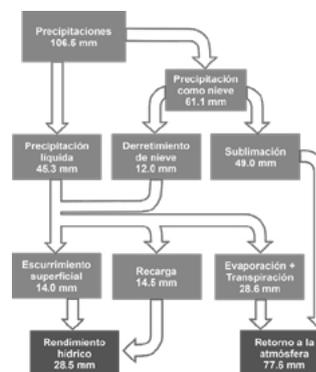


Figura 2.- Balance hídrico global de la cuenca del río de los Patos en milímetros por año promedio del período 2011-2020 calculado con el modelo SWAT. Fuente: CONHIDRO (2021).

Modelo conceptual

Se ha logrado establecer un modelo hidrogeológico conceptual que impone a los sistemas fluviales de los ríos Aguas Calientes y Los Patos como los principales aportantes de agua a la recarga del acuífero local, el cual está conformado por los sedimentos aluviales modernos y por las facies más permeables (por permeabilidad secundaria) de las ignimbritas Co. Galán. Existe un medio de circulación profundo (sedimentitas clásticas saturadas con salmuera) el cual no tendría incidencia hidráulica con el acuífero, salvo en las inmediaciones de la zona de descarga, próximo al Salar del Hombre Muerto, donde se definiría una cuña de agua salada por debajo de las aguas de mezcla y dulces, aportadas por el sistema aluvial de Los Patos.

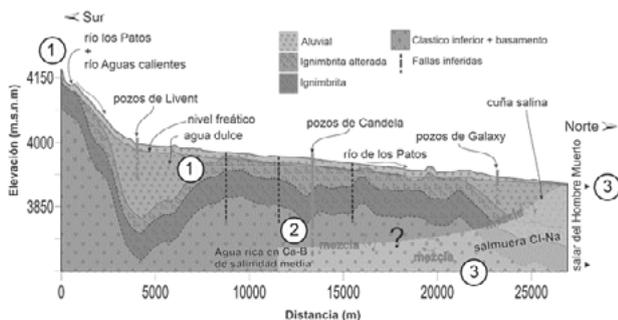


Figura 3.- Modelo conceptual sobre el funcionamiento hidrogeológico del Sistema Río de los Patos. Fuente: CONHIDRO (2021).

Modelo numérico de flujo y de transporte

Para la modelación de flujo del agua subterránea y transporte de solutos en el acuífero en estudio, se utilizó el modelo distribuido MODFLOW desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Para modelar la evolución de la salinidad en el SALP, tanto en condiciones naturales, como en régimen de explotación, al modelo de flujo desarrollado en MODFLOW se acopló un modelo de transporte (MT3DMS, Zheng y Wang, 1999) que tiene en cuenta los principales procesos que controlan el transporte de la salinidad en aguas subterráneas (en este caso se simuló considerando la conductividad eléctrica EC [S/m]).

Para caracterizar el sistema de flujo del agua subterránea, la interacción entre agua subterránea-superficial, simular cambios en las componentes del balance hídrico y analizar la viabilidad de escenarios de explotación de las aguas subterráneas en la cuenca, se implementó un modelo numérico transitorio a paso de tiempo mensual para un período de simulación de 11 años (2010-2020). El periodo de simulación fue de 4018 días; los cuales se dividieron en 132 pasos de tiempo. Para el mallado del modelo de flujo se utilizó una discretización regular de alta resolución espacial. Se definieron dos estratos en el modelo; un acuífero libre compuesto por depósitos aluviales gruesos, con presencia de gravas y arenas. El segundo estrato es la parte superior del acuífero inferior (techo) del Complejo Volcánico Galán, constituido por el espesor de ignimbritas fracturadas.

De los resultados de la calibración manual se define que los niveles de agua subterráneas son los que mejor definen la evolución del sistema.

Los escenarios simulados están basados en perforaciones existen pertenecientes a diferentes empresas mineras y a las futuras solicitudes de pozos de bombeo en el área de estudio. En los escenarios se denominan a las empresas como A, B y C.

Escenario 1 se simuló una extracción de 650 m³/h de 5 pozos de la batería empresa A, más 130 m³/h del pozo existente SVWF12_19 empresa B y una zona de no evaporación (piletas de halita y muriato perteneciente a empresa B).

Escenario 2 incluye las condiciones del escenario 1 y agrega: 130 m³/h de un pozo existente SVWF21_21 en empresa B, 130 m³/h de un pozo ficticio próximo a empresa C y 130 m³/h de un pozo ficticio ubicado al noroeste de la zona de estudio, hacia la margen izquierda del río de los Patos (PBXX).

Los resultados de los escenarios analizados en los modelos permiten estimar los descensos en los sitios de extracción previstos conforme a los caudales proyectados para los emprendimientos en desarrollo. Las depresiones estimadas varían entre 30 cm hasta 3 m conforme al escenario y a la ubicación de la extracción o sitio de monitoreo.

El modelo también permite conocer la situación del río, ganador

o perdedor, en relación con el acuífero, para los escenarios de operación en distintas secciones del mismo.

Plan de monitoreo y alerta temprana

Trimestralmente se realiza la recolección de datos meteorológicos y el monitoreo de perforaciones tomando nivel estático, parámetros hidroquímicos, extracción de muestras para su análisis, aforos en los ríos Agua Caliente, Los Patos y punto aguas abajo de su confluencia.

Conclusiones

Considerando el objetivo y alcance del estudio realizado, se concluye que la modelación ha permitido acercar el conocimiento del funcionamiento de la cuenca y sus variables principales, identificando los puntos críticos que hoy forman parte del plan de control. Conocer el comportamiento de la cuenca es una herramienta que ayuda en la planificación de acciones.

Las precipitaciones líquidas y sólidas constituyen el principal aporte del río Los Patos y sus afluentes. Las principales salidas del sistema están vinculadas a la evapotranspiración (incluida la sublimación de la nieve), variable que representaría en promedio un 70% de la precipitación total de la cuenca.

Con el objetivo de disminuir el nivel de incertidumbre, se han identificado como objetivos a corto plazo:

- Incorporar nuevas estaciones meteorológicas y nivológicas que monitoreen la cuenca alta.
- Llevar un registro piezométrico que permita visualizar la variabilidad en el nivel de agua subterránea a lo largo del año, especialmente en épocas de deshielo.
- Efectuar mediciones experimentales de evapotranspiración, tanto en zona alta como en la baja de la cuenca.
- Realizar un seguimiento del plan de control y monitoreo e incorporar dentro del mismo nuevos puntos de registro.

A mediano plazo, se tiene como objetivo la aplicación de una metodología permita actualizar el modelo en forma periódica y analizar otros escenarios de usos y de disponibilidad hídrica. La generación de series de datos puestas a disposición del modelo numérico permitirá afianzar sus resultados. Es importante destacar que se pretende analizar escenarios con variabilidad climática fundada.

Finalmente, en el marco de estos estudios, se logran conocimientos que se transfieren desde la consultoría a la Administración, dejando una herramienta para la gestión. Tanto el modelo como las conclusiones del estudio, dieron un resultado satisfactorio y fue un gran aporte contar con análisis técnico para la toma de decisiones.

Referencias Bibliográficas

- Conhidro SRL (2019). "Estudio Hidrogeológico Cuenca Río De Los Patos – Salar Del Hombre Muerto", diciembre de 2019.
- Conhidro SRL (2021). "Estudio Hidrogeológico Cuenca Río De Los Patos – Salar Del Hombre Muerto – Etapa II", diciembre de 2021.
- García Maurizio, R. F., 2013. Geología de los Recursos Hídricos. 1ª Edición. Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GA). 450 pág. ISBN 978-987-27407-2-6.

La Bajante del Río Paraná – Causas e impactos

Viviana Zucarelli; Rosana Hammerly

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral - Argentina

vivianazucarelli@gmail.com

Introducción

A partir del año 2020, el Río Paraná, uno de los cursos más importantes del mundo, tuvo registros históricos por debajo del cero del hidrómetro del Puerto de Santa Fe, situado en el tramo medio de dicho río. Estos valores, inéditos en los últimos 70 años se han comparado al registrado en el año 1944 donde se obtuvo una medida de -1.03 m. En ese sentido, es importante destacar que, al hablar de la sequía, se deben analizar los niveles, los caudales y sobre todo la permanencia de estos niveles mínimos. Una de las causas más importantes de esta bajante, tan pronunciada y extensa en el tiempo es el déficit de precipitaciones registrado en las cuencas altas y media de los Ríos Paraná e Iguazú, incluida la cuenca del río Paraguay, lo que en su conjunto suman casi 2 millones de km². Durante aproximadamente 3 años (desde la primavera de 2019), se registraron valores de precipitaciones inferiores a los normales en las áreas que aportan al tramo medio del río Paraná. Esta situación generó impactos, entre los que pueden citarse: el daño en las obras de infraestructura, la modificación de la geomorfología del cauce, las restricciones a la navegación, la afectación de obras de toma de agua potable (que quedan al descubierto) y de saneamiento, todos ellos con grandes impactos, sociales, ambientales y económicos. Pueden agregarse, además, la falta de recarga de los acuíferos, la contaminación de las aguas por la pérdida de la capacidad de autodepuración de los ríos, entre otros. Este trabajo intenta analizar la problemática de este evento extremo, desde un punto de vista integral.

Las sequías

La sequía puede definirse como "un período de tiempo anormalmente seco lo suficientemente largo como para causar un desequilibrio hidrológico grave". Esto ocurre cuando la cantidad normal de humedad no está disponible para satisfacer el consumo de agua de un área, lo que resulta en un déficit de agua. La sequía como un fenómeno físico o evento natural ocurre o puede ocurrir en cualquier parte y en cualquier tiempo, incluso las regiones húmedas pueden verse afectadas por sequías.

La sequía puede ser clasificada como meteorológica, agrícola, hidrológica e incluso socioeconómica. En la "Guía para la formulación de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía", se define la **Sequía hidrológica** como las deficiencias en las disponibilidades de agua tanto de superficie como subterránea. Hay un retraso entre la falta de lluvia y la reducción de agua en arroyos, ríos, lagos y embalses. Como tal, las mediciones hidrológicas no son los primeros indicadores de sequía. Cuando la precipitación es reducida o deficiente durante un período prolongado de tiempo, esta escasez se refleja en la disminución de los niveles de agua en embalses y los niveles de las aguas subterráneas.

Registros históricos del Río Paraná

El río Paraná, que constituye uno de los principales cursos de agua de la Cuenca del Plata, está experimentando, desde hace más de tres años, situaciones de déficit de agua que tienen implicancias de las más variadas índoles.

La situación de bajante extrema tuvo su origen en el déficit de lluvias de finales del invierno y primavera del año 2019, lo que puede observarse en los mapas de anomalías de lluvias de ese

período. Este déficit se mantuvo entre los años 2020 y 2022, con leves repuntes no significativos.

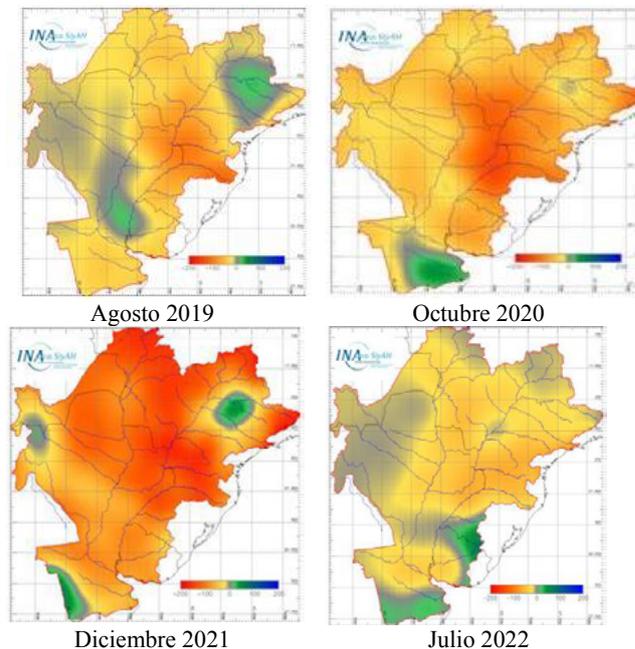


Figura 1: Mapas de anomalías de precipitaciones en cuenca del Plata (Fuente: INA).

La Cuenca del Plata tiene en su totalidad una superficie de 3.100.000 km², la cual en su región norte está conformada por dos subcuencas, la del Paraná superior (950.000 km²) y la del río Paraguay (1.095.000 km²), siendo ambas áreas las que definen los aportes en el tramo medio, considerado entre las localidades de Corrientes y Rosario. Los caudales medios anuales del río Paraná en la sección de Corrientes se consideran representativos de los caudales que transitan el tramo medio, registrándose un caudal promedio de 17.230 m³/s para la serie 1904/2021 (Paoli *et al.*, 2021).

Analizando el comportamiento de los caudales mínimos en Corrientes, se observa un cambio en el régimen a partir del año 1970, aproximadamente. El promedio de la serie completa de los caudales mínimos de cada año hidrológico ronda el valor de los 10.000 m³/s, pero si en vez de considerar una sola serie, la partimos en dos, y se calcula el promedio de los mínimos anuales hasta el año 1970 se tienen valores que son del orden de los 8.700 m³/s. Si en cambio se calcula a partir del año 1970 el promedio de los mínimos anuales resulta del orden de los 12.000 m³/s (Figura 2).

La media cronológica incremental (línea de puntos) se mantuvo con fluctuaciones en valores inferiores a los 9.000 m³/s hasta mediados de los años 70, para comenzar luego un marcado aumento hasta el año hidrológico 2018/19 en que se estabiliza y comienza el actual período de estiaje.

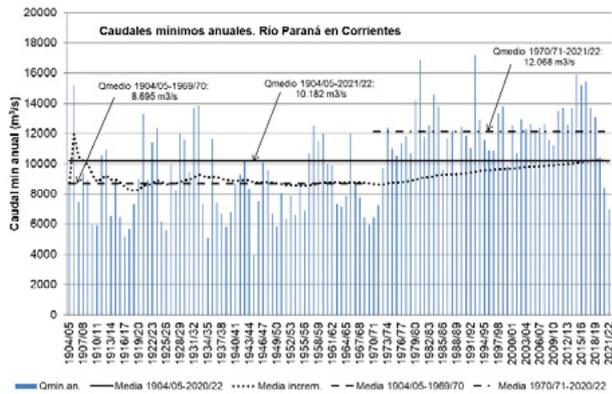


Figura 2: Caudales mínimos anuales del río Paraná en Corrientes. Serie 1904/05-2021/22.

El mismo comportamiento se registra en la ciudad de Santa Fe, es decir, a partir del año 1970 aproximadamente los niveles del río se incrementan hasta la reciente bajante. La Figura 3 ilustra los valores de los niveles mínimos anuales en (m) registrados en el hidrómetro del Puerto de Santa Fe, desde el inicio de los registros, en 1905.

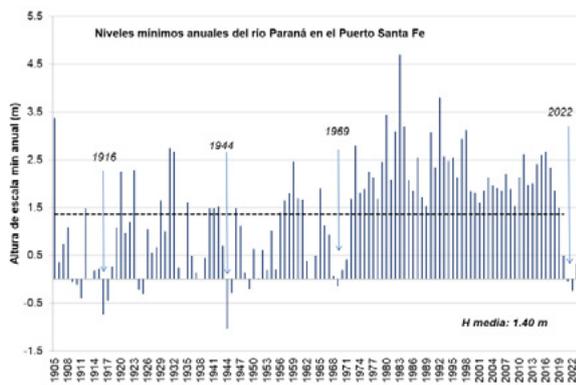


Figura 3: Niveles mínimos anuales del río Paraná en el hidrómetro de Santa Fe. Serie 1905-2023 (hasta abril).

Como puede observarse, el valor mínimo registrado corresponde al año 1944 (-1,03 m), seguido del registro del año 1916 (-0,74 m). Más recientemente, en el año 1969, se observó una medida de -0,14 m.

Impactos de la bajante del Río Paraná

Si bien una de las causas principales de la pronunciada bajante es el déficit de precipitaciones en las cuencas brasileñas de los ríos Paraná e Iguazú, las implicancias actuales y futuras son y serán importantes. Los efectos de los eventos extremos, sean inundaciones o sequías, producen modificaciones en la calidad del agua, en la vida útil de las obras hidráulicas, en las erosiones de las márgenes, en la disponibilidad de agua para la provisión de diferentes usos, en la navegación, etc.

En lo que respecta a la cantidad y a la calidad del agua en la ciudad de Santa Fe, la situación de bajante generó que la empresa Aguas Santafesinas SA (ASSA) tenga que redoblar los esfuerzos para que el agua sea apta para consumo humano (<https://www.aguassantafesinas.com.ar/portal/aguas-intensificaciones-para-la-produccion-de-agua-potable-frente-a-la-bajante-del-rio-parana/>). La bajante hizo que el agua que se capta en las tomas que abastecen a la ciudad presenten una mayor concentración de minerales y, como consecuencia, los

usuarios perciban un sabor más salado. Por otra parte, se registró una merma del rendimiento de las tomas de agua cruda mayor al 30 %, lo que implicó el uso de equipos de bombeo para complementar las obras existentes (FICH, 2022).

Otro aspecto neurálgico a tener en cuenta es la navegación, ya que, por el Río Paraná, (Hidrovia Paraná-Paraguay, el corredor natural de transporte fluvial de mayor desarrollo y trascendencia económica para toda la Cuenca del Plata y uno de los más extensos del planeta, con más de 3.400 km de largo), sale el 80% de la cosecha gruesa argentina de soja y maíz de la llanura pampeana. En 2020, los bajos niveles de agua en este curso significaron un costo extra para los agroexportadores de 250 millones de dólares.

(<https://www.perfil.com/noticias/agro/bajante-del-rio-parana-como-afecta-a-la-produccion-del-campo-y-al-medio-ambiente.phtml>).

Por su parte, las situaciones de estiaje prolongado, el sobrepeso de los suelos por lluvias, y erosiones fluviales del pie de la barranca, (generalmente ocurridas durante una crecida previa), ponen en riesgo la estabilidad de las márgenes. En algunos casos, dos o incluso una de estas tres condiciones críticas resultan suficientes para que se produzcan deslizamientos o fallas en masa de las márgenes (FICH, 2022).

Finalmente, la bajante afectó directamente el ecosistema acuático, ya que muchos brazos del cauce principal se secaron o quedaron con poco nivel de agua y esto perjudicó directamente el hábitat de la fauna acuática como el de los peces. En este sentido, si el volumen de agua baja y se mantiene en ella la misma cantidad de individuos, se produce un aumento de las concentraciones de organismos y de todos los elementos químicos existentes, incluyendo excretas y toxinas. A esto se suma la disminución de oxígeno disuelto, los cambios en concentraciones de iones y cationes, en el pH o potencial redox, el aumento de concentración de nutrientes, depredación y cambios en las cadenas tróficas (FICH, 2022). A nivel del gran sistema Paraná-Paraguay, los humedales de ambos ríos fueron perdiendo humedad alterando la diversidad biótica que depende de ellos.

Conclusiones

El régimen de escurrimiento del Río Paraná ha sufrido modificaciones que resultan más notorias a partir de la década del 70, debido a múltiples causas que interactúan en lo que se conoce como Cambios Globales (variabilidad y cambio climático, cambio de uso del suelo, construcción de presas y otros).

Es indudable que estos cambios han dado como resultado la presencia de eventos extremos cada vez más frecuentes e intensos. En ese sentido, desde el año 2020, el Río Paraná presentó registros históricos por debajo del cero del hidrómetro del Puerto de Santa Fe, valores comparables con el registrado en el año 1944 donde se obtuvo una medida de -1.03 m. Esta situación generó impactos en la economía regional, en la biodiversidad y en las obras hidráulicas de las zonas afectadas.

Referencias

- Paoli, C.U, y M.I. Schreider. (Eds). (2021). *El río Paraná en su tramo medio: nuevas temáticas y enfoques para el desarrollo sostenible de un gran río de llanura*. (Vol. 3). Universidad Nacional del Litoral.
- Instituto Nacional del Agua. (INA) *Alerta hidrológico de Cuenca del Plata. Informe mensual*. Fecha de consulta: años 2021 y 2022. Recuperado en: <https://www.ina.gov.ar/alerta/>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua *Coordinación de Hidrología, 2013. Guía para la formulación de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*.
- FICH (2022). *Bajante del río Paraná: causas e impactos de un evento extraordinario*. Autores varios. Disponible en: <https://fich.unl.edu.ar/notifich/index.php/2021/12/30/bajante-del-rio-parana-causas-e-impactos-de-un-evento-extraordinario/>



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

03

Hidráulica de ríos, marítima y de estuarios



Hidráulica de ríos, marítima y de estuarios

03

CAMPAÑA DE MEDICIONES EN ESTUARIOS PATAGÓNICOS PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO Lucas Bindelli, Nicolás Ortíz, Santiago Guizzardi, Mayra Morale, Francisco Brea y Mariano Re	354
INFLUENCIA DE LA RESOLUCIÓN DE LA GEOMETRÍA EN RESULTADOS DE UN MODELO HIDRODINÁMICO BIDIMENSIONAL Matías Bupo, Andrés M. Cabello y Juan F. Weber	356
DISEÑO DEL EMISARIO CLOACAL DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY MEDIANTE MODELACIÓN CON INFLUENCIA MAREOLÓGICA Julio Cardini, Nicolás Buono, Francisco Vazquez de Novoa y Alejandro Zabalett	358
PRONÓSTICO ESTACIONAL DE CAUDALES MEDIANTE PERSISTENCIA Y ANALOGÍA Santiago Guizzardi, Leandro Giordano y Martin Sabarots Gerbec	360
EVALUACIÓN DEL IMPACTO A LARGO PLAZO DE UNA OBRA DE DEFENSA COSTERA EN LAS TONINAS Federico Haspert, Sofía Krapf y Nicolás Tomazin	362
TÉCNICAS NO CONVENCIONALES PARA LA MEDICIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE FONDOS Ana I. Heredia Ligorria, Antoine Patalano, José Manuel Diaz Lozada y Carlos Marcelo García	364
ANÁLISIS DE DATOS DE 10 AÑOS DE EXTRACCIONES DE ÁRIDOS EN EL RÍO PARANÁ Leandro D. Kazimierski, Magalí A. Asorey, Nicolás Tomazin y Sebastián Peralta	366
PROTECCIÓN DE MARGEN DERECHA DEL RÍO LULES EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN Ignacio Joaquín Molina, María Florencia Nanni y Héctor David Aguirre	368
VÍA NAVEGABLE DEL RÍO URUGUAY: EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA PROFUNDIZACIÓN EN EL PASO SAN FRANCISCO Alejandro Nardín, Lucas Domínguez Rúben, Alejandro Arcelus y Ricardo Szupiany	370
MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y DE TEMPERATURA DEL AGUA DEL EMBALSE DE RINCÓN DEL BONETE, URUGUAY Carolina Paz, Santiago Delgado, Agustín Ríos, Ismael Piedra-Cueva y Pablo Santoro	372
COASTSNAP ARGENTINA: UNA EXPERIENCIA DE MONITOREO COMUNITARIO EN PLAYAS EN LA COSTA MARÍTIMA BONAERENSE Mariano Re, Guido Bacino, Carolina Billet, Federico Haspert, Juan Manuel Fernández, Mariano Verón, Salvador Lamarchina, Carlos Dalto, Lucas Bindelli, José Bedmar, Guadalupe Alonso, Daniela Risaro, Nicolás Tomazin y Pablo García	374
RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE PROFUNDIDADES DETERMINANTES EN PASOS CRÍTICOS DEL RIO PARANÁ Marina Sarti, Martín Sabarots Gerbec, Mariano Re, Pablo García y Santiago Guizzardi	376
EROSIÓN GENERAL EN CRECIDAS. CONCEPTOS GENERALES, ESTIMACIÓN Y ESTUDIOS DE CASOS Pablo D. Spalletti	378
EVALUACIÓN DEL RIESGO COSTERO E IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL FRENTE MARÍTIMO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Nicolás Tomazin, Federico Haspert, Mariano Re, Pablo García y Lucas Bindelli	380
ANÁLISIS TEMPORAL DEL CAUDAL DEL RIO PARAGUAY EN LA LOCALIDAD DE ASUNCIÓN DESDE 1931-2020 Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO/ OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) Rossana Villalba, Anabella Ferral, Julian Baéz, Jorge. Kurita y Juan Carlos Bertoni	382

CAMPAÑA DE MEDICIONES EN ESTUARIOS PATAGÓNICOS PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO

Lucas Bindelli^{1,2}, Nicolás Ortíz², Santiago Guizzardi², Mayra Morale²,
Francisco Brea² y Mariano Re²

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, (UBA) Argentina

²Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

E-mail: lucasbindelli@gmail.com

Introducción

La transición energética en Argentina requiere del aprovechamiento de todas las alternativas renovables disponibles para garantizar robustez en la matriz energética resultante. En este sentido, trabajos previos (Buono et al., 2016, Bindelli et al., 2022) denotan la presencia de un recurso poco explorado hasta el momento en territorio argentino: se trata del aprovechamiento de las corrientes de marea, denominado también energía hidrocínética, cuyo potencial resulta elevado en los estuarios de la Patagonia Austral. En este trabajo se presentan los resultados de una campaña de mediciones llevada a cabo en dos estuarios patagónicos (Río Gallegos y Río Santa Cruz) con el fin de obtener mediciones precisas sobre niveles de marea, batimetría y perfiles de velocidades en zonas de elevado potencial hidrocínético detectadas previamente (Bindelli et al, 2022).

Metodología

La campaña de mediciones se llevó a cabo en Mayo del 2022, con una duración total de dos semanas. Fue realizada por los autores de este trabajo, integrantes de dos equipos del Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (Programa de Hidráulica Fluvial y Programa de Hidráulica Computacional). Además, se contó con la asistencia de un equipo de Prefectura Naval en cada sitio, proveyendo embarcación y apoyo a las tareas realizadas (Figura 1).



Figura 1.- Equipo de trabajo y embarcación.

Los objetivos principales fueron relevar batimetría, velocidades de corriente de marea y niveles en cada uno de los dos estuarios patagónicos seleccionados. En particular, se buscó:

1. Obtener datos de niveles de la onda de marea durante las mediciones de batimetría y velocidad de corriente.
2. Obtener datos batimétricos de las zonas de mayor potencial energético de cada estuario.
3. Obtener al menos un perfil de velocidades en creciente y un perfil en bajante por cada estuario.

En la Figura 2 se pueden observar las zonas de interés para los relevamientos en cada cuerpo de agua (en ambos casos se trata de la boca de cada estuario) y a modo esquemático, se representan

los recorridos propuestos inicialmente a realizar con la embarcación para el relevamiento, junto con tres puntos de interés específicos.

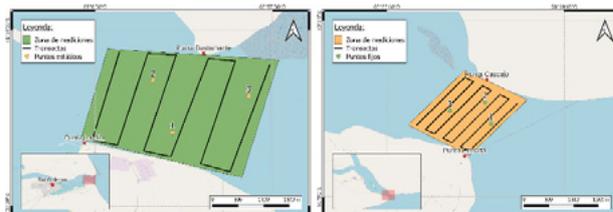


Figura 2.- Zona de interés y esquema de mediciones en los estuarios de los ríos Gallegos (izquierda) y Santa Cruz (derecha).

Para cumplir con el primer objetivo, se colocó un sensor de nivel ultrasónico FdX en las cercanías a la boca de cada estuario: puerto de Punta Loyola para el caso del río Gallegos, y puerto de Punta Quilla para el caso del río Santa Cruz. El sensor se colocó en cada sitio antes de comenzar el resto de las mediciones, y se retiró al finalizar las tareas.

Los datos batimétricos se relevaron con una ecosonda CEE Line 200, junto con una estación GPS para poder georreferenciar los datos obtenidos. Estos se midieron durante gran parte del recorrido realizado con la embarcación mientras se trasladaba de entre los distintos puntos de interés para poder cubrir la mayor extensión posible. También se realizaron transectas en esa zona, para lograr una mejor distribución de los datos relevados.

El último objetivo se llevó a cabo seleccionando tres sitios de elevadas velocidades en cada cuerpo de agua, en los cuales se procedió a realizar mediciones estáticas, en las que se mantuvo fija la embarcación por al menos 10 minutos para relevar datos de velocidades mediante un ADCP (perfilador acústico de corriente por efecto Doppler) Sontek River Surveyor M9. Adicionalmente, se realizó al menos una transecta en cada caso con el mismo equipo, para medir la distribución de velocidades en función de la profundidad a lo largo de toda una sección.

En la Figura 3 se muestra a modo de ejemplo las mediciones realizadas para el estuario del río Santa Cruz. Un esquema similar se adoptó para el caso del estuario de río Gallegos.

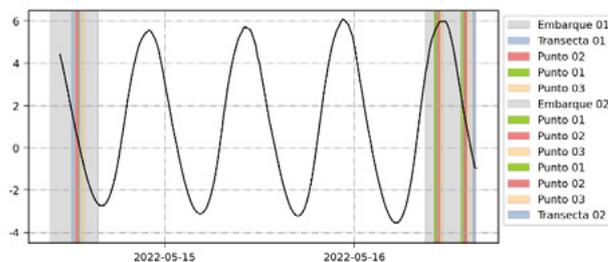


Figura 3.- Mediciones realizadas en el estuario del río Santa Cruz.

Resultados

La calidad de las mediciones fue buena, presentando pocas interferencias. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos a modo de ejemplo. Respecto a los niveles de marea, las amplitudes medidas alcanzan los 6 m (Río Gallegos) y 9 m (Río Santa Cruz). En la **Figura 4** se representan las mediciones de niveles en el puerto de Punta Loyola junto a las predicciones de marea astronómica realizadas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) para ese sitio. Se observa un muy buen acuerdo entre ambas series, con diferencias menores en amplitud y fase.

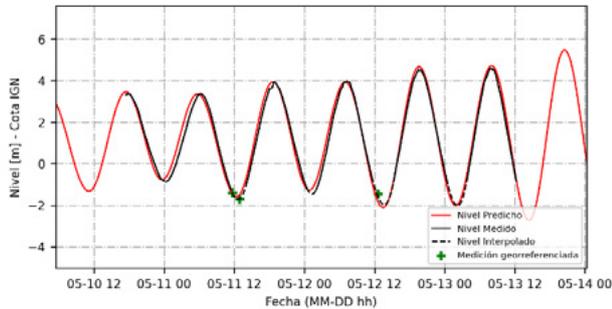


Figura 4.- Niveles medidos y niveles predichos (SHN) en Punta Loyola, estuario del río Gallegos.

En cuanto al relevamiento batimétrico, si bien las zonas relevadas en ambos casos son de poca extensión, abarcando únicamente la boca de cada estuario, se puede observar en ambos casos un buen grado de detalle. Las profundidades de la zona de interés rondan los 20-30 m y 20-40 m para los estuarios de Río Gallegos y Río Santa Cruz respectivamente. En particular, en la **Figura 5** se muestra el caso del estuario del río Santa Cruz, en la que se evidencian por un lado los bruscos cambios batimétricos presentes en las márgenes, y por otro, la presencia de un canal profundo (40 metros aproximadamente) hacia la margen Norte.

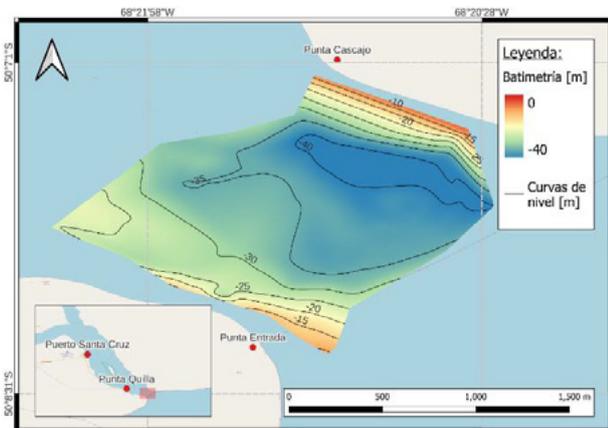


Figura 5.- Batimetría relevada en el estuario del río Santa Cruz (cota IGN).

Los perfiles de velocidades obtenidos fueron 5 para el estuario de río Gallegos y 9 para el estuario del río Santa Cruz. Todos presentan gran variación en sus resultados a partir de la medición de estos en distintos instantes dentro de la onda de marea, obteniendo una mejor caracterización temporal del recurso. Promediando en toda la profundidad, estos valores oscilan entre 0.5 y 1 m/s (Río Gallegos) y entre 0.75 y 2 m/s (Río Santa Cruz). En la **Figura 6** se grafican la distribución de velocidades y dirección del flujo en función de la profundidad, tanto en valor medio como en el intervalo de 95% de confianza para un punto seleccionado en el estuario del río Santa Cruz. En cuanto a las velocidades, se observa un perfil de tipo logarítmico, con valores que superan los 2 m/s para los primeros 15 metros de

profundidad. Para las direcciones del flujo, la distribución es más bien lineal y prácticamente constante.

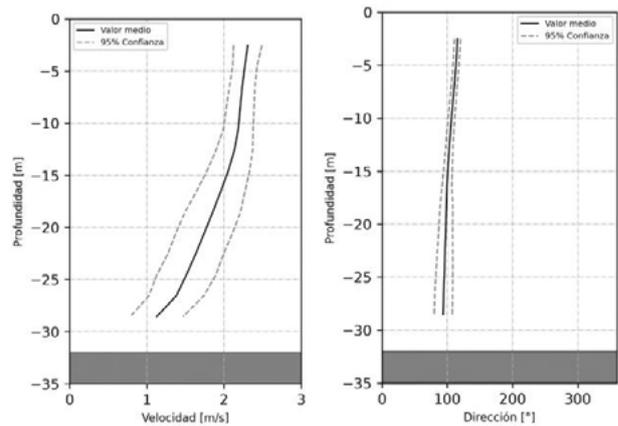


Figura 6.- Perfil de velocidades (izquierda) y de dirección del flujo (derecha) en el estuario del río Santa Cruz.

Por último, en la **Figura 7** se representa a modo de ejemplo una de las transectas de velocidades obtenidas para el estuario del río Gallegos. En este caso se observan grandes variaciones tanto batimétricas como en el valor de la velocidad, que adopta valores de 0.5 m/s aproximadamente para la mayor parte de la sección, con zonas de pequeña extensión que alcanzan los 2 m/s.

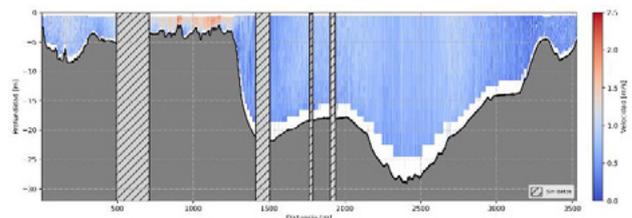


Figura 7.- Transecta de velocidades en el estuario del río Gallegos.

Discusión y conclusiones

La campaña se desarrolló en buenas condiciones, se realizaron las tareas estipuladas y fue posible concretar los tres objetivos propuestos inicialmente. Además, la calidad de las mediciones fue muy buena tanto para los niveles como para las velocidades por presentar muy baja pérdida de datos por interferencias puntuales, y fue buena para el relevamiento batimétrico, que por problemas con la estación GPS fue necesario descartar una porción de los datos.

Con todo lo anterior se puede concluir que estos resultados son indicios favorables a la presencia del potencial energético supuesto y consisten en un insumo fundamental para una correcta caracterización del recurso. A futuro, se espera poder utilizar esta información para calibrar y validar modelos numéricos que permitan extrapolar las mediciones puntuales a toda el área de interés de cada estuario, obteniendo una estimación precisa y confiable del potencial hidrocinético.

Referencias

- Buono, N., Zabaleta, F., Cáceres, R., Tomazin, N., Cecotti, R. (2016). "Estudio del recurso energético marino sobre el estuario del Río Gallegos". III Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Argentina.
- Bindelli, L., Kazimierski, L., Re, M. (2022). "Análisis comparativo del potencial hidrocinético de cinco estuarios patagónicos". XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 7-11 de noviembre, Foz do Iguazu, Brasil.

INFLUENCIA DE LA RESOLUCIÓN DE LA GEOMETRÍA EN RESULTADOS DE UN MODELO HIDRODINÁMICO BIDIMENSIONAL

Bupo Matías¹, Cabello Andrés M.¹, Weber Juan F.¹

Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS). Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina - Teléfonos: (54 - 351) - 468-4215 / 4006 / 4317 - int. 119-5
matiasbupo@gmail.com, jweber@frc.utn.edu.ar, acabello@frc.utn.edu.ar

Introducción

Estimar los niveles de inundación de un cauce a partir de la implementación de un modelo hidrodinámico, es una práctica habitual en la ingeniería de ríos. En este proceso se suele considerar a la geometría de la sección transversal del curso de agua como regular o de bordes lisos, siendo el coeficiente de resistencia al flujo el encargado de generar los efectos de la irregularidad de la sección (Abril & Knight, 2004, Liao & Knight, 2007) entre otros. Aguirre-Pe & Fuentes (1990) observaron que en lechos con rugosidad de gran escala, la variabilidad del coeficiente de resistencia al flujo aumenta en consonancia con la irregularidad de la geometría. De este análisis surge la siguiente pregunta, ¿hasta dónde es posible sustituir los efectos generados en el flujo producto de la irregularidad de la sección por un coeficiente de rugosidad?, o por qué no, ¿cuál es el límite práctico entre sección y rugosidad? Son preguntas que, en la literatura consultada al día de la fecha, carecen de respuesta. A partir de modelos digitales de elevación obtenidos por Bupo & Weber (2017) en un canal experimental a fondo móvil, con una resolución de 1 mm (Figura 1), se realizaron simulaciones bidimensionales en el modelo HEC-RAS (Brunner, 2002), variando la resolución de la información topográfica y manteniendo constante el factor de rugosidad de Manning y el caudal.



Figura 1.- Modelo Digital de elevaciones relevado en un canal a fondo móvil con 1 mm de resolución de pixel

En el presente trabajo encuentra su motivación en los resultados observados por Bupo & Cabello (2022) sobre cauces naturales y en éste se expondrán los resultados obtenidos a partir de las modelaciones hidráulicas realizadas y las variaciones observadas vinculadas a la resolución de la información topográfica.

Materiales y Métodos

Los modelos digitales de elevación se obtuvieron a partir de la implementación de una técnica de mapeo con un sensor de movimiento (Bupo & Weber op. cit.), los cuales, originalmente poseen un tamaño de pixel de 1mm. Para la modelación hidrodinámica bidimensional se utilizó el software HEC-RAS en su versión 6.2. A partir del modelo digital de elevaciones (MDE), se realizaron 6 modelaciones hidráulicas, donde para cada una de ellas, la única variable fue la resolución de la geometría. A igual caudal, pendiente, condiciones de contorno y factor de rugosidad

de Manning, se modificó el tamaño del pixel, siendo de 1x1 mm la primera y de 32 x 32 mm la última (Figura 2). Las modificaciones en la resolución del DEM se realizaron a partir de la implementación del software QGIS.

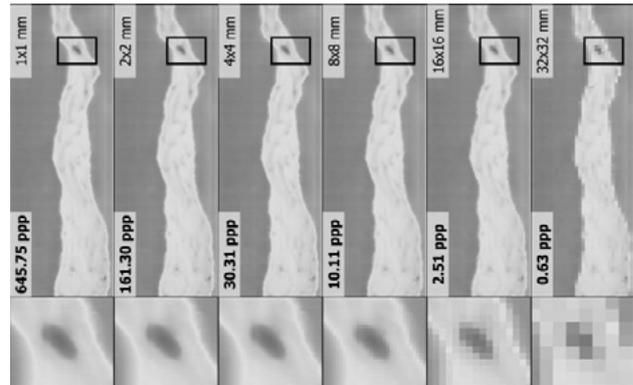


Figura 2.- Modelo Digital de elevaciones con distintas resoluciones

Habitualmente los relevamientos en campo se realizan tomando valores de profundidad cada una distancia determinada o cuando hay cambios importantes en la pendiente transversal. Adquirir una mayor o una menor cantidad de datos en estos trabajos es, en definitiva, modificar la resolución de la información topográfica. Matemáticamente, las variables geométricas e hidráulicas (área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico, etc.) se estiman a partir de estos valores relevados, y al no ser esta información continua, es necesario realizar interpolaciones (habitualmente lineales) entre dos valores contiguos. En la Figura 3, se observan perfiles trazados en distintas secciones del MDE y en cada gráfico la superposición de los mismos para las resoluciones modeladas.

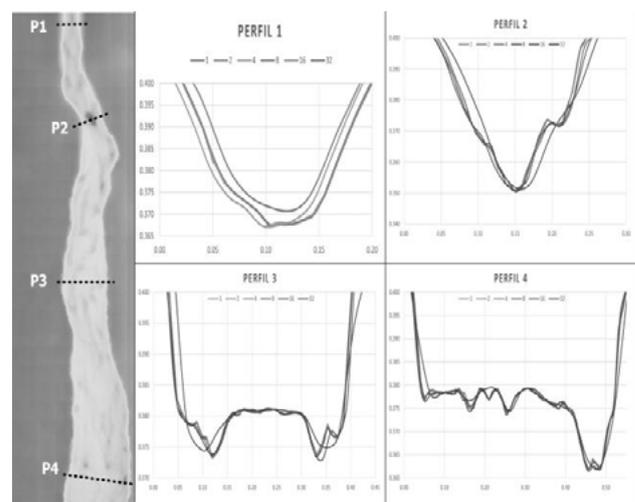


Figura 3.- perfiles transversales obtenidos en distintas secciones del MDE para diferentes resoluciones

Se aprecia claramente como los perfiles transversales sufren variaciones producto de la disminución de la resolución. Lo mencionado en párrafos anteriores queda en evidencia a partir de

lo expuesto en la Figura 4, donde se observa la cantidad de píxeles que conforman el MDE, y su disminución exponencial respecto del tamaño de los mismos.

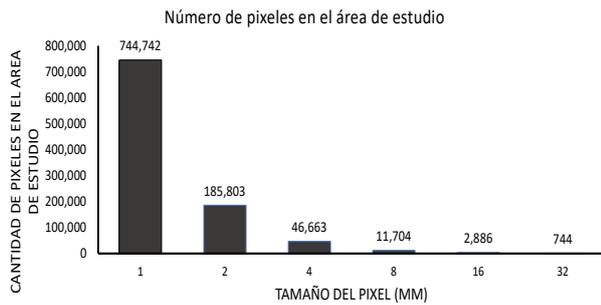


Figura 4.- Cantidad de píxeles que conforman el MDE en función del tamaño del mismo

Con el objetivo de poner en evidencia los efectos de la resolución de la información topográfica en los resultados hidráulicos, se estimó el coeficiente de rugosidad de Manning a partir de la ecuación propuesta por Strickler (1923), la cual establece una relación en función del D_{50} del material aluvial del lecho para estimar la rugosidad de piel (Ecuación 1). Al suponer que la resistencia al flujo solo se produce por los efectos del grano, se pretende que, si existen variaciones en los resultados hidráulicos, puedan ser atribuidos a la irregularidad de la geometría.

$$\eta = \frac{e^{1/6}}{21.1} \quad [1]$$

donde:

η : factor de rugosidad de Manning.

e : D_{50} del material aluvial en m.

Desde el punto de vista del modelo hidráulico, se supone que al menos existirán variaciones en los resultados bajo las condiciones expuestas ya que existirán diferencias en la estimación de las variables geométricas y, por ende, en la estimación de la línea de energía del flujo.

Resultados

A partir de los resultados obtenidos, se tomó el área de inundación alcanzada en las diferentes simulaciones como parámetro hidráulico de análisis.

En la Figura 5 se observa como el área de la mancha de inundación disminuye a medida que aumenta el tamaño del píxel.

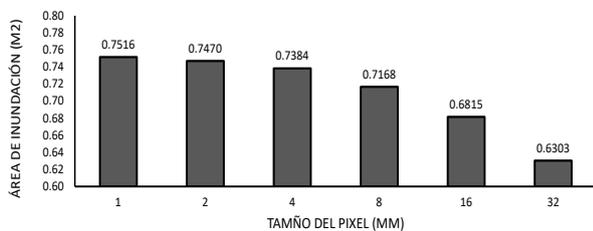


Figura 5.- Área de la mancha de inundación en metros cuadrados en función del tamaño del píxel en milímetros

Analizando la variación porcentual del área de inundación en función del número de píxeles por pulgada cuadrado, tomando como parámetro de comparación el área obtenida con la geometría de mayor resolución (píxel de 1mm x 1mm), se

observa una variación exponencial negativa de las diferencias con el incremento de la resolución de la información geométrica (Figura 6).

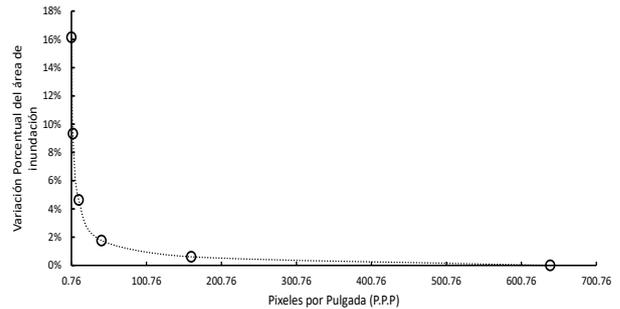


Figura 6.- Variación porcentual del área de inundación en función de la resolución de la información topográfica

Conclusiones

Se observó que la resolución de la información topográfica influye en forma directa en el resultado de la modelación que para este caso particular fue el área inundada. El tamaño del píxel se incrementó de forma exponencial con base igual a dos milímetros. A partir de la potencia de tres, las variaciones en los resultados se hacen notorias. Para el caso modelado se obtuvo un área inundada de 0.75 metros cuadrados con una resolución de píxel de 1mm, y en el extremo un área de 0.63 metros cuadrados para un tamaño de píxel de 32 mm. En términos porcentuales la modelación arrojó una diferencia en el área de inundación obtenida para el MDE de mayor resolución y el de menor, del 16% aproximadamente. El factor de resistencia al flujo fue constante en todas las simulaciones, e igual a la rugosidad de piel del material del lecho, poniendo de esta manera en evidencia la incertidumbre que se propaga a partir de la información geométrica impuesta. Se propone a futuro cuantificar esta incertidumbre y verificar los resultados obtenidos en cursos de agua naturales.

Referencias Bibliográficas

- Abril, J. B., & Knight, D. W. (2004). Stage-discharge prediction for rivers in flood applying a depth-averaged model. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 42, No 6, p. 616 - 629.
- Aguirre-Pe, J., & Fuentes, R. (1990). Resistance to flow in steep rough streams. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 116, No 11, p. 1374 - 1387.
- Brunner, G. W. (2002). Hec-ras (river analysis system). In *North American water and environment congress & destructive water* (pp. 3782-3787). ASCE.
- Bupo, M., & Weber, J. F. (2017). "Metodología para la medición de micro topografías en canales de laboratorio con un sensor de movimiento". *Ribagua*, Vol. 4, No 2, Abril 2017, p. 99-109.
- Bupo M, Cabello A. M. (2022) "Impact of the topographic information resolution on the results of mathematical hydrodynamic models", 3rd IAHR Young Professionals Congress. 28 al 2 de Noviembre del 2022.
- Liao, H., & Knight, D. W. (2007). "Analytic stage-discharge formulae for flow in straight trapezoidal open channels." *Advances in Water Resources*, vol. 30, No 11, p. 2283 - 2295.
- Strickler, A. (1923). Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen.

DISEÑO DEL EMISARIO CLOACAL DE CONCEPCIÓN DEL URUGUAY MEDIANTE MODELACIÓN CON INFLUENCIA MAREOLÓGICA

Julio Cardini¹, Nicolás Buono², Francisco Vazquez de Novoa³, Alejandro Zabalett⁴

1, 4 Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU). FRCU – UTN. 2, 3 Serman & Asociados S.A. (S&A). Argentina
1 cardinij@frcu.utn.edu.ar, 2 buono@serman.com.ar, 3 fnovoa@serman.com.ar, 4 zabaleta@frcu.utn.edu.ar

Introducción

Estudios desarrollados por el Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU) mostraron la necesidad de implementar plantas de tratamiento cloacal y/o de refuncionalizar las existentes para que las condiciones de calidad del agua sean compatibles con los usos del río, especialmente para actividades recreativas con contacto directo, fundamentales para la industria turística (Zabalett et al., 2009).

La División de Agua y Saneamiento del Banco Interamericano de Desarrollo financia un Programa de Saneamiento Integral de Ciudades Ribereñas de la cuenca del río Uruguay en la Provincia de Entre Ríos. En Concepción del Uruguay se prevé que el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se descargue al río Uruguay a través de un emisario.

En la ciudad de Concepción del Uruguay la descarga cloacal actualmente se vuelca al río en un brazo secundario del río Uruguay, pero con pérdidas hacia el riacho Itapé a través del arroyo La China. Cuando el flujo del río se invierte por efecto de las mareas, lo cual suele ocurrir al coincidir condiciones de estiaje con vientos intensos del sudeste (sudestadas), el efluente contaminado pasa por un área balnearia en la margen derecha del río (Cardini et al., 2007).

En consecuencia, para el adecuado diseño del emisario y para evaluar las necesidades y niveles de desinfección del efluente de la PTAR, se debió modelizar el impacto de este efluente sobre la calidad del agua en sitios ubicados “aguas arriba” del sentido del flujo fluvial puro, a fin de justificar la decisión de construirlo y definir la ubicación de la descarga a lo largo y transversalmente al curso de agua receptor. Se utilizó un modelo unidimensional del río Uruguay para generar condiciones de borde y un modelo bidimensional del área de evolución de la pluma contaminante.

Metodología

Se efectuó en primer lugar una modelación unidimensional del río Uruguay desde aguas abajo de la represa de Salto Grande hasta la desembocadura en el Río de la Plata. La misma sirvió para determinar la fluctuación mareológica de los niveles en la condición de borde aguas abajo y de caudales en la condición de borde aguas arriba de un modelo bidimensional de dimensiones restringidas al área en que se desplazaría la pluma contaminante de la descarga cloacal.

Se modeló la dispersión de contaminantes bacteriológicos y la evolución de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), realizando un análisis del impacto en el caso de inversión de flujo por sudestada en el Río de la Plata.

El modelo hidrodinámico unidimensional (1D) aplicado es el HEC-RAS. El modelo bidimensional (2D) implementado es el RMA2 (del U.S. Army Corps of Engineers - USACE) a través de la interfase Surface Modelling System (SMS), el cual permite calcular las velocidades medias de la corriente y los niveles de agua mediante el método de elementos finitos.

Para simular el transporte de contaminantes en el campo de velocidades y niveles calculado por el modelo RMA2 se aplicó el modelo RMA4 del USACE que resuelve la ecuación de Advección-Dispersión bidimensional, cuya solución depende de

los coeficientes de dispersión longitudinal y transversal, del coeficiente de decaimiento de bacterias por mortalidad y del decaimiento de la DBO₅ por diferentes procesos.

Para establecer los coeficientes más adecuados se contó con la información provista por el GECRU sobre calibraciones previas de un modelo unidimensional del río Uruguay utilizando inicialmente el Modelo MIKE 11 y migrando luego al HEC-RAS (Zabalett et al, 2017), y con la experiencia en la calibración de modelos bidimensionales de transporte de contaminantes y de los coeficientes de dispersión transversal empleando la formulación de Rutherford (1994). Se adoptaron valores iguales a 0,08 m²/s y un coeficiente de decaimiento bacteriológico Kb = 0,76 1/día (tiempo de decaimiento T₉₀ 3 días) (Cardini et al., 2007, 2018).

La Figura 1 (a) ilustra la extensión del modelo 1D, y la Figura 1 (b) la del modelo 2D, con una ventana de mayor detalle en la zona cercana a la ciudad.

Los datos de caudales del emisario, las características del conducto y demás parámetros de descarga fueron definidos en su anteproyecto hidráulico (Serman & Asociados S.A., 2022).

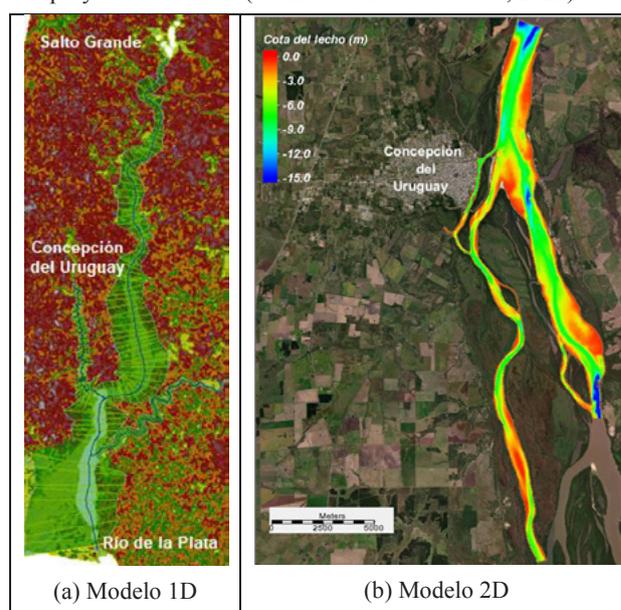


Figura 1.- Extensión de los modelos uni y bidimensional.

El caudal de estiaje adoptado según indicaciones de la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) es igual a 587 m³/s.

La inversión de caudal en la zona de Concepción del Uruguay se modeló superponiendo un caudal de estiaje en Concordia con una fuerte elevación del nivel de agua de 2,5 metros en un día por sudestada, resultando un período de inversión de 40 horas con un caudal pico hacia “aguas arriba” superior a 4.000 m³/s. En el lapso inicial de la inversión la velocidad prácticamente se detiene y durante una hora se concentra el efluente en un área reducida.

La DBO₅ máxima para descarga en el riacho Itapé según normativa provincial es 50 mg/l, pero se adoptó 30 mg/l.

Se plantearon inicialmente cuatro alternativas de ubicación de la descarga de la PTAR, tres en el riacho Itapé y una en el Brazo de La China del río Uruguay, como se ilustra en la Figura 2.



Figura 2.- Alternativas de Traza y Puntos de vuelco del Emisario.

Resultados y discusión

Se realizó un análisis de las alternativas, descartando la N° 4 debido a la cercanía de una toma de agua industrial y otras consideraciones, y a través de la modelación de las plumas se seleccionó la N° 1 (descarga cerca de la margen) como la más conveniente, dado que, aunque la N° 2 (descarga en el centro del riacho) presenta concentraciones de contaminantes ligeramente menores, se encuentra muy expuesta a daños por la navegación de embarcaciones que en estiaje solo pueden circular por allí.

Se modeló la pluma de bacterias coliformes fecales y la DBO del efluente (considerando conservativamente para esta última que solamente se reduce por dilución), mostrándose en la Figura 3 los resultados obtenidos para el momento en que el efluente que se concentró durante la inversión del flujo pasa frente al balneario.

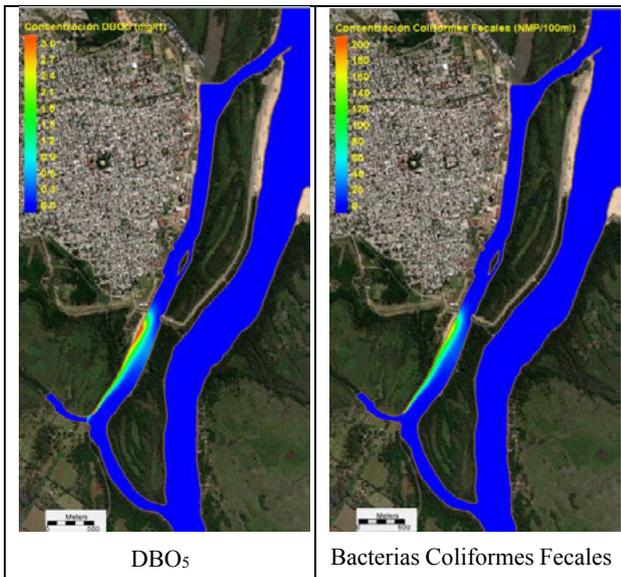


Figura 3.- Pluma de la descarga en el Riacho Itapé en el momento en que su núcleo más intenso pasa frente al Balneario Itapé.

Se concluyó que resulta imprescindible la cloración del efluente hasta lograr una concentración de 2.000 UFC/100ml de bacterias coliformes fecales, para lograr que durante una inversión del flujo su concentración en la zona del Balneario Itapé (ubicado 1 km aguas arriba del arroyo de la China), así como la de *Escherichia Coli* y la de Enterococos, cumplan con los niveles máximos especificados por el Digesto sobre el Uso y Aprovechamiento del Río Uruguay de la CARU, adoptados como referencia. Se verificó que la concentración de bacterias coliformes fecales no supere el valor de 1.000 UFC/100 ml para conservación de la vida acuática, fuera de una zona de mezcla, cuya máxima distancia a lo largo del río (en brazos del río Uruguay) no debe superar los 1.000 metros, ni abarcar más de 1/3 de la sección transversal.

Se verificó además que la concentración de DBO5 en el Balneario Itapé no supere los 3 mg/l (valor límite para “Conservación y desarrollo de la vida acuática” según Digesto de CARU), salvo dentro de una reducida zona de mezcla de unos 50 metros de extensión, la cual resulta aceptable.

En condiciones de estiaje sin inversión del flujo la modelación efectuada que se presenta en la Figura 4 indica que la zona afectada aguas abajo no presenta incumplimientos normativos.

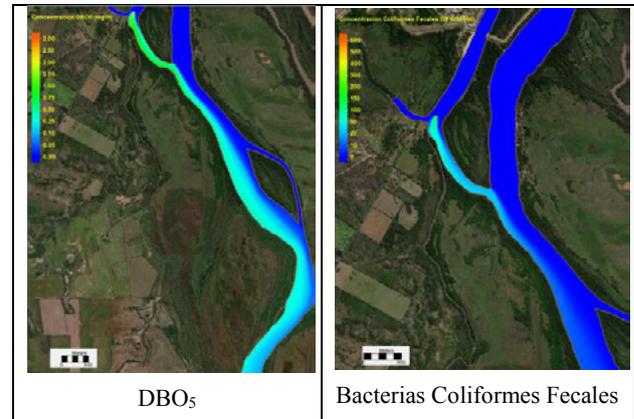


Figura 4.- Pluma de la descarga en el riacho Itapé durante estiaje.

Conclusiones

La conclusión obtenida respecto a la dispersión de contaminantes bacteriológicos y de materia orgánica (representada por la DBO5) es que la descarga de un efluente tratado y clorado, mediante un emisario en un punto cercano de la costa del riacho Itapé, permite evitar los impactos que produce la actual descarga a través del arroyo de la China, tanto hacia el Norte en inmediaciones de la ciudad (cuando ocurren sudestadas), como hacia el Sur.

Referencias Bibliográficas

- Cardini J.C., Zabalett A., Oliver N. y Mársico D. (2007). “Modelación de la contaminación bacteriológica en el Río Gualaguaychú en condiciones de sudestada”. XXI Congreso Nacional del Agua.
- Zabalett A., Cardini J.C., Cardini C.M. y Oliver N. (2009). “Prioridades de tratamiento de aguas residuales cloacales vertidas en el tramo Concordia - Concepción del Uruguay”. XXII Congreso Nacional del Agua
- Cardini J.C., Zabalett A., Reguero G. y Mársico D. y Oliver N. (2018). Modelaciones 1D y 2D de impactos locales y transfronterizos en la calidad de agua del río Uruguay. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires.
- Rutherford, J.C. (1994). *River Mixing*. J.Wiley & Sons, New York
- Serman & Asociados S.A. (2023). Sistema de Tratamiento de aguas residuales y emisarios para las ciudades de Concepción del Uruguay, Colón y San José. Informe 3 Etapa 2. Concepción del Uruguay.
- Zabalett A., Cardini J.C. y Reguero G. (2017). Comparación de los modelos HEC-RAS y MIKE 11 para evaluar la evolución de la calidad bacteriológica del agua en el río Uruguay inferior. IV Congreso Bianual PRODECA (Proyecto Integrador para la Determinación de la Calidad del Agua). Bahía Blanca. Argentina.

PRONÓSTICO ESTACIONAL DE CAUDALES MEDIANTE PERSISTENCIA Y ANALOGÍA

Santiago Guizzardi¹, Leandro Giordano² y Martin Sabarots Gerbec¹

¹ Subgerencia del Laboratorio del Instituto Nacional del Agua (INA)

² Subgerencia del Sistema de Información y Alerta Hidrológica del Instituto Nacional del Agua (INA)
santiagoguizzardi@gmail.com, leangior@gmail.com, msabger@gmail.com

Introducción

Los ríos Paraguay-Paraná forman una importante vía fluvial. En Argentina, constituye la principal ruta de salida de la producción agrícola del país, cuya magnitud (del orden de los cien millones de toneladas anuales) la torna altamente relevante a escala mundial (Menéndez, 2021). Este sistema es también un corredor de humedales que une el Pantanal (cabecera de Paraguay) con el Delta del Paraná (desembocadura del Río de la Plata), y su dinámica está fuertemente relacionada con la biodiversidad (Giordano, 2021).

El pronóstico de series de niveles en las zonas ribereñas es un insumo esencial para las distintas actividades que se desarrollan. Comprender la condición hidrológica de la vía fluvial y proporcionar pronósticos y alertas de calidad resulta fundamental (Guizzardi, 2022).

En este trabajo se evalúan dos metodologías para el pronóstico estacional de caudales en cinco estaciones hidrométricas en la cuenca del Río de la Plata: Concepción (Concepción, Paraguay), Puerto Pilcomayo (Formosa, Argentina), Corrientes (Corrientes, Argentina), Paraná (Entre Ríos, Argentina) y El Colorado (Formosa, Argentina) (Figura 1).

Los métodos evaluados están basados en la persistencia hidrológica y en series de caudales análogos. La hipótesis de estos enfoques es que las series de caudales registradas en el pasado, que son similares al período más reciente, pueden brindar información valiosa sobre los caudales que ocurrirán en el futuro cercano. El derrame de una cuenca puede entenderse como la suma de la precipitación que recibe, menos las pérdidas por evaporación y la abstracción por almacenamiento. Durante varios meses consecutivos, la cantidad de lluvia y la evaporación potencial estarán influenciadas por el estado y la evolución de los patrones de circulación atmosférica a gran escala. La respuesta del caudal del río también dependerá de las características y el estado de la cuenca en sí. La suposición fundamental al utilizar series de caudales análogos como método de pronóstico es que existen trayectorias específicas que el sistema hidroclimático puede seguir y que pueden repetirse en el tiempo. (Svensson, 2016).

Datos y estaciones hidrométricas

Se utilizaron datos de caudal medio diario de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo. La Subgerencia de Sistemas de Información y Alerta Hidrológica (SIyAH) del Instituto Nacional del Agua (INA) recibe datos en tiempo real de las estaciones hidrométricas a lo largo de la cuenca del Plata. Esta tarea resulta esencial para obtener los datos más recientes y poder generar los pronósticos para los próximos meses.

Previamente a utilizar los datos se realizó un control de calidad. Donde se eliminaron valores atípicos y se regularizaron las series. Las estaciones tienen más de 30 años de observaciones. En Concepción, Puerto Pilcomayo, Corrientes y Paraná los registros comienzan en 1910 (113 años) y en El Colorado desde 1969 a 2017 (48 años).

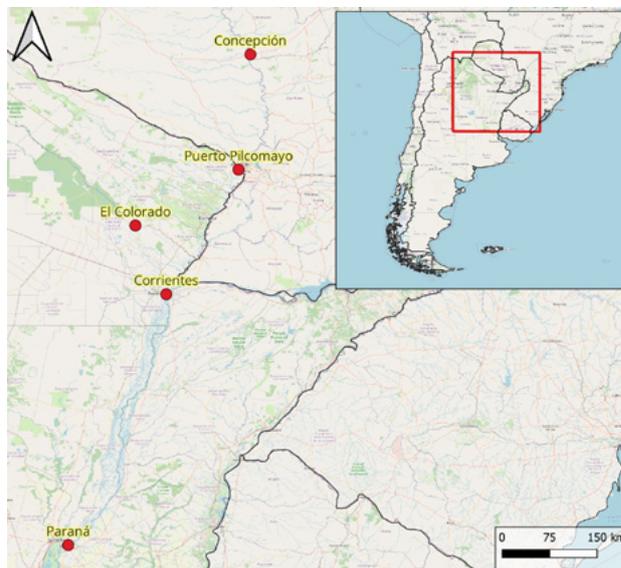


Figura 1.- Estaciones hidrométricas seleccionadas.

Métodos

Se obtuvieron los promedios mensuales de los caudales de los ríos para cada estación. Estos promedios mensuales se calcularon a partir de los caudales medios diarios, para todos los meses con 25 o más observaciones diarias. En caso contrario, se omitió el cómputo de la serie.

Pronóstico de persistencia

Para el pronóstico de persistencia, se utiliza el caudal del último mes con un registro completo de observaciones para determinar el percentil dentro de los caudales medios mensuales del mismo mes. Utilizando este percentil, se busca el valor correspondiente del caudal entre los caudales medios mensuales de cada mes para los próximos tres meses. Por consiguiente, el pronóstico preserva el ciclo estacional de los caudales.

Pronóstico de años análogos

Para el pronóstico de años análogos, primero se realiza una transformación logarítmica de los caudales medios mensuales. Para cada uno de los 12 meses (mes), se calcula el caudal medio mensual ($m_{i,mes}$), y la desviación estándar ($s_{i,mes}$), para la i -ésima estación, a partir de los caudales medios mensuales transformados logarítmicamente, $q_{i,t}$. Luego, se calcula una serie de caudales mensuales estandarizadas ($a_{i,t}$), como:

$$a_{i,t} = \frac{q_{i,t} - mes_{i,mes}}{s_{i,mes}} \quad [1]$$

Esto hace que la distribución de los caudales se asemeje a una distribución normal, de forma tal que ambos extremos (aguas bajas y aguas altas) presenten pesos estadísticos similares.

Para cada serie de caudales mensuales (transformados), se busca en el registro histórico los años análogos más similares en comparación con los caudales observados en los últimos 6 meses. Es decir, se comparan con todas las posibles secuencias históricas de caudales que abarcan los mismos meses del año. Esto implica que hay un análogo potencial disponible por año.

La métrica adoptada para el cómputo de la distancia/similitud entre las series es el error cuadrático medio (RMSE).

De las series de análogos potenciales, se seleccionan los N (en este caso con N=5) más similares al pasado reciente. Con las series seleccionadas se realiza un pronóstico medio ponderado utilizando los RMSE calculados para construir pesos, que se aplican a cada una de las series de caudales análogos históricos.

El RMSE se calcula para cada análogo potencial en el registro observado, como

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{k=1}^D (a_p(k) - a_r(k))^2} \quad [2]$$

donde $a_p(k)$ es el caudal transformado para cada mes k en el análogo potencial de longitud D (en este caso con D=6), y $a_r(k)$ es el caudal transformado correspondiente en el pasado reciente.

Los RMSE para los N análogos seleccionados se usan para calcular el peso, w, para cada análogo, como

$$w(b) = \frac{1}{RMSE(b)} / \sum_{b=1}^N \frac{1}{RMSE(b)} \quad [3]$$

El pronóstico medio ponderado, $a_f(m)$, para cada mes m (1,2,3), se calculan como

$$a_f(m) = \sum_{b=1}^N w(b) a_{p,b}(D + m) \quad [4]$$

donde $a_{p,b}$ es el vector de caudales transformados para el potencial análogo.

Los caudales de los ríos (m^3/s) se obtienen invirtiendo la estandarización de la ecuación (1), restándole la media de la distribución de logaritmos de caudal mensual al producto entre el valor de anomalía prevista y el desvío estándar de dicha distribución mensual, y luego invirtiendo la transformación logarítmica.

Resultados

Para las dos metodologías se realizó una evaluación retrospectiva de caudales. El desempeño se evaluó por medio de las siguientes métricas: Nash, Tau de Kendall, coeficiente de correlación de Pearson (PCC) y error medio cuadrático (RMSE) en cada una de las cinco estaciones seleccionadas.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2 para la metodología de Persistencia y en la Tabla 3 y Tabla 4 para la metodología por años Análogos.

En la evaluación se empleó la serie completa de datos disponibles en cada estación. Sin embargo, las métricas se calcularon a partir del tercer año en el caso de la Persistencia y a partir del undécimo año en el caso de la Analogía. Esto permitió contar con datos históricos sobre los cuales calcular percentiles o buscar años análogos según corresponda.

Tabla 1.- Pronóstico de persistencia: Indicado

Estación	Nash			Tau de Kendall		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.79	0.6	0.46	0.73	0.63	0.56
Pto. Pilcomayo	0.68	0.35	0.13	0.66	0.51	0.43
Corrientes	0.6	0.27	0.07	0.6	0.46	0.38
Paraná	0.66	0.35	0.18	0.66	0.5	0.41
El Colorado	0.79	0.68	0.56	0.78	0.74	0.71

Estación	Coef. correlación			RMSE		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.89	0.791	0.72	468.8	651.9	757.4
Pto Pilcomayo	0.83	0.67	0.56	918.2	1307	1513
Corrientes	0.79	0.629	0.54	3317	4462	5014
Paraná	0.82	0.673	0.59	3059	4185	4709

Tabla 3.- Pronóstico de persistencia

Estación	Nash			Tau de Kendall		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.71	0.56	0.46	0.68	0.58	0.52
Pto. Pilcomayo	0.59	0.4	0.3	0.58	0.46	0.4
Corrientes	0.46	0.27	0.18	0.51	0.4	0.35
Paraná	0.53	0.32	0.23	0.56	0.43	0.38
El Colorado	0.69	0.7	0.74	0.73	0.73	0.75

Tabla 4.- Pronóstico de persistencia

Estación	Coef. correlación			RMSE		
	Mes1	Mes2	Mes3	Mes1	Mes2	Mes3
Concepción	0.85	0.75	0.68	560.5	686.8	767.6
Pto. Pilcomayo	0.78	0.64	0.56	1049	1256	1347
Corrientes	0.69	0.56	0.5	3845	4474	4749
Paraná	0.74	0.6	0.53	3571	4312	4615
El Colorado	0.84	0.85	0.86	242	234.4	227.6

Conclusiones

Ambos métodos resultan de sencilla implementación y su ejecución resulta computacionalmente económica, ya que sólo requieren de series de caudales mensuales (operativas). Por esto, es posible escalar su producción rápidamente, simplemente incorporando nuevas series, y así obtener productos armonizados con cobertura regional o global, lo que constituye claramente una ventaja competitiva. Específicamente, los resultados obtenidos en este trabajo fueron aceptables, más para la metodología de persistencia y particularmente, en el horizonte mensual. Por otro lado, debe observarse que las series de caudal mensual en los sitios seleccionados exhiben fuerte estacionalidad, aspecto que favorece este tipo de aproximación. Esto es, podría postularse que estos métodos pueden brindar resultados aceptables en grandes cuencas con fuerte estacionalidad y elevada memoria o inercia en la señal de caudal mensual (e.g. con fuerte estructura). En efecto, ambos métodos asumen que la condición inicial o la precedente, resumen la información suficiente como para poder realizar una inferencia sobre las posibles trayectorias en un hidrograma. Esto es una importante restricción, impuesta por la simplicidad de ambos métodos (particularmente para la selección de las analogías adecuadas). Más para el caso de cuencas sin estacionalidad notoria o de respuesta rápida, en relación con el horizonte mensual. En todo caso, puede considerarse que sirven de referencia para el desarrollo de otros métodos de pronóstico más complejos que incorporen perspectivas climáticas estacionales para la selección de analogías (Svensson, 2016), de manera tal que pueda abordarse la principal limitación observada.

Referencias Bibliográficas

- A.N. Menéndez, P.E. García, N.D. Badano, L.D. Kazimierski & S. Guizzardi (2021) "Prediction of sedimentation in an extended and heterogeneous navigation waterway, Ribagua, 8:1, 13-33, DOI: 10.1080/23863781.2022.2116367.
- L. Giordano (2021) "Preliminary evaluation of multi-model discharge forecasts for the La Plata Basin". ULYSSES Use Case Study.
- S. Guizzardi J. Bianchi, J.E. Cortese, M. Uriburu Quirno & M. Sabarots Gerbec (2022). "Forecast System Implementation in the Paraná Delta". IARH 2022, Granada, España
- C. Svensson (2016). "Seasonal river flow forecasts for the United Kingdom using persistence and historical analogues". Hydrological Sciences Journal, 61(1), 19-35.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO A LARGO PLAZO DE UNA OBRA DE DEFENSA COSTERA EN LAS TONINAS

F. Haspert, S. Krapf y N. Tomazin

Instituto Nacional del Agua – LH-INA, Ezeiza, Argentina
fhaspert@ina.gov.ar, sofikrapf@gmail.com, ntomazin@ina.gov.ar

Introducción

La erosión costera constituye un problema ambiental significativo que afecta a numerosas localidades del litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires. En el caso de Las Toninas, el sector norte, entre las calles 6 y 16, es el que presenta mayor vulnerabilidad a la erosión (Marcomini y Lopez, 2010). Hacia el sur, entre las calles 16 y 24, el grado de erosión costera es moderado-bajo. Se destaca, además, que este tramo costero recibe los cables de fibra óptica que sostienen el sistema de telecomunicaciones del país, lo cual aporta mayor relevancia al problema de la erosión.

En los últimos años se han adoptado una serie de medidas de manejo costero con el objetivo de controlar el problema de la erosión en los sectores más afectados (Marcomini y Lopez, 2010). Por ejemplo, restauración de la duna costera utilizando enquinchados, obras de relleno de arena para recarga de playas, defensas con cilindros de geotextil y gaviones, entre otras. Sin embargo, con excepción de algunos casos particulares, estas medidas resultaron ser poco eficientes.

En este contexto, el 17 de marzo de 2021 se produjo una sudestada muy importante que afectó a varias localidades del partido de La Costa y que, en el caso de Las Toninas, generó daños en viviendas e infraestructura urbana. La magnitud de este evento promovió que autoridades provinciales contactaran al Instituto Nacional del Agua (INA) solicitando asesoramiento técnico orientado a la elaboración de un plan de estudios para la evaluación de una obra de protección basada en la ejecución de una serie de rompeolas semisumergidos, paralelos y separados de la línea de costa.

El objetivo del trabajo es estudiar, mediante modelación numérica, la performance de seis alternativas de obra para proteger el frente costero de Las Toninas desde la calle 6 hasta la calle 24.

Materiales y métodos

El predimensionamiento de las 6 alternativas de obra se definió a partir de la utilización de las formulaciones empíricas recopiladas por Chasten et al. (1993). Además, se revisaron antecedentes bibliográficos sobre la construcción de rompeolas en Argentina (Sciarrone et al., 2012). El criterio general de diseño consistió en obtener una modificación de la línea de costa con la formación de salientes, sin que se llegara a la formación de tómbolos. El detalle de cada alternativa a evaluar se presenta en la Tabla 1, indicando para cada una de ellas la longitud de los rompeolas (LB), la isobata de emplazamiento, la distancia a la costa original (XB), el espaciamiento entre rompeolas (GB) y la cantidad de rompeolas (N).

Tabla 1.- Alternativas a evaluar.

Alternativa	LB [m]	Isobata	XB [m]	GB [m]	N
A1	130	-2.5	222	160	6
A2	130	-3	266	190	5
A3	110	-2.5	222	160	6
A4	110	-3	266	160	6
A5	90	-2	126	90	9
A6	90	-2.5	222	160	7

Se utilizó el sistema de modelación LITPACK (DHI, 2012) para caracterizar la deriva litoral asociada al tramo de estudio y predecir la evolución de la línea de costa por el impacto de la construcción de las alternativas de obra de defensa. Los módulos requeridos fueron LIDRIFT, que permite simular las corrientes a lo largo de la costa y la deriva litoral, y LITLINE, que calcula la posición de la línea de costa a partir del clima de olas como una serie de tiempo. Los datos necesarios para operar con ambos módulos fueron los siguientes:

1) Datos históricos sobre la posición de la línea de costa. Se obtuvieron mediante la descarga de las imágenes LANDSAT disponibles para los años 2015, 2020 y 2021. Luego, mediante el uso de transectas, se calculó la posición media de la línea de costa para cada uno de esos años.

2) Geometría de uno o más perfiles de playa. A partir del relevamiento topobatimétrico realizado en la zona de interés, se extrajeron un total de 6 perfiles de playa para cubrir el tramo costero comprendido entre las calles 6 y 24.

3) Características granulométricas del sedimento. Se dispuso de un relevamiento granulométrico realizado en el año 2021 por el Departamento Costa Marítima (Dirección Provincial de Hidráulica) sobre los sectores de playa ubicados a la altura de las calles 10 y 20 de Las Toninas.

4) Condiciones del oleaje y niveles de marea. Se utilizaron series cronológicas de olas (altura, periodo y dirección) y niveles de 10 años de extensión, correspondientes al periodo 2007-2016. Estas series fueron generadas luego de propagar el oleaje desde la Boya Virtual 54 (Tomazin et al., 2020) hacia la costa mediante la aplicación del modelo de propagación del oleaje SWAN (Simulating WAVes Nearshore, TU Delft, Países Bajos).

Resultados

Los resultados de la aplicación de LITDRIFT en Las Toninas permitieron obtener tasas de transporte de sedimentos en el área de estudio para el periodo de 10 años señalado (2007-2016). La convención adoptada implica que los volúmenes de transporte que se movilizan en sentido noreste-sudoeste son identificados con signo positivo y los volúmenes de transporte que se movilizan en sentido sudoeste-noreste son identificados con signo negativo. En la Tabla 2 se presentan los resultados para cada uno de los seis perfiles analizados.

Tabla 2.- Volumen medio anual.

Perfil	Transporte Bruto [m ³]	Transporte Neto [m ³]
LT1	216419	-116760
LT2	230912	-118636
LT3	235611	-119029
LT4	227035	-112307
LT5	208572	-97691
LT6	206853	-87581

La implementación, calibración y validación del módulo LITLINE permitió estudiar la evolución potencial de la línea de costa a mediano plazo (1 año) y a largo plazo (10 años), evaluando el impacto de las distintas alternativas de obra consideradas para este proyecto.

En la Figura 1 se presentan los resultados de la simulación para

una de las alternativas de obra evaluadas. Para el caso de la evolución de largo plazo, se incluye la situación CE (con estructuras: rompeolas) y SE (sin estructuras).



Figura 1.- Resultados de la simulación con LITLINE a mediano plazo (1 año) y largo plazo (10 años). Alternativa 4.

El análisis de los resultados de la performance de las seis alternativas de obra se realizó a partir de la comparación de cuatro indicadores generales, calculados para el frente costero que va desde 200 m al norte de calle 6 hasta 200 m al sur de calle 24: máximo retroceso de la línea de costa (MR), máximo avance de la línea de costa (MA), cambio promedio de la línea de costa (CP), y volumen de material retenido (VR).

Los resultados presentados en la Tabla 3 señalan, para todas las alternativas, un avance general en la línea de costa tanto a mediano como a largo plazo. En términos de volumen de arena, se observa que la presencia de las obras logra captar, para el primer año, un promedio del orden de 130.000 m³. Esto representa una retención superior al 50% de la tasa anual del transporte bruto estimada para la situación actual (Tabla 2). Lógicamente, esta tasa de retención se reduce a lo largo del tiempo y, al cabo de 10 años, el volumen ganado se encuentra en promedio por encima de los 600.000 m³.

Tabla 3.- Comparación de las alternativas en base a los resultados obtenidos con LITLINE.

Periodo	Alternativa	MR [m]	MA [m]	CP [m]	VR [m ³]
1 año	Alt1	-40	59	9	142747
	Alt2	-32	47	9	142900
	Alt3	-31	40	9	131795
	Alt4	-30	53	9	136092
	Alt5	-35	50	9	134803
	Alt6	-33	43	9	144520
10 años	Alt1	-29	109	39	590147
	Alt2	-34	98	44	670945
	Alt3	-28	109	41	621863
	Alt4	-34	116	47	719649
	Alt5	-43	133	43	650590
	Alt6	-35	106	38	587057
	SE	-15	-2	-9	-144507

Los resultados para la condición sin obra (SE), en cambio,

indican una tendencia al retroceso de la línea de costa en el largo plazo, coincidente con la tendencia actual, y la consecuente pérdida de volumen del material de playa.

Entre las alternativas evaluadas, la Alternativa 4 presenta una leve ventaja sobre el resto. Para esta configuración de obra se observa el menor valor de retroceso máximo a corto plazo (30 m) y un valor levemente superior a largo plazo (34 m), formación de salientes y no formación de tómbolos (máximo avance en el orden de los 120 m, menos de la mitad de la distancia a la zona de implantación de las obras), y cambios promedios positivos (avance de 47 m en 10 años). Al mismo tiempo, se destaca como condición favorable la mayor distancia de ubicación de las estructuras respecto de la línea de costa (lo que se traduce en una menor afectación sobre el uso de la playa), y su mayor capacidad para la captación del material arrastrado por la corriente litoral (volumen ganado a largo plazo superior a los 700.000 m³).

Conclusiones

Los resultados de las simulaciones realizadas para las seis alternativas de obra muestran un desempeño favorable respecto de la mitigación del fenómeno de retroceso de la línea de costa a mediano y largo plazo.

Entre todas las alternativas planteadas, la Alternativa 4 presenta un mejor desempeño de acuerdo con los indicadores analizados. Esta opción de obra está constituida por 6 rompeolas de 110 m, separados 160 m entre sí y ubicados sobre la línea batimétrica 3 m.

Más allá de este resultado favorable, el avance hacia una configuración definitiva de la obra demandará el desarrollo de estudios complementarios que incorporen la evaluación de otros temas relevantes, como el impacto de temporales, la eficiencia en la atenuación de la energía del oleaje y aspectos constructivos.

Referencias

- Chasten, M.A., Rosati, J.D., McCormick, J.W. (1993). Engineering design guidance for detached breakwaters as shoreline stabilization structures. Coastal Engineering Research Center, Technical Report CERC-93-19.
- DHI, LITPACK. (2012). Short Introduction and Tutorial "An Integrated Modelling System for Littoral Processes and Coastline Kinetics".
- Marcomini, S.C., López, R.A. (2010). Erosión y manejo costero en Las Toninas, partido de La Costa, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 490-498.
- Tomazin, N., Re, M., García, P.E., Bindelli, L. (2020). Caracterización de la dinámica litoral en la costa marítima bonaerense: aportes hacia una gestión integrada. Informe SLH-INA, 11-376-20, Ezeiza, Argentina.

TÉCNICAS NO CONVENCIONALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE FONDO

Ana I. Heredia Ligorria¹, Antoine Patalano², José Manuel Diaz Lozada³,
Carlos Marcelo García⁴

¹ Instituto Nacional de Agua, Subgerencia Centro de Estudios de la Región Semiárida (INA CIRSA) y Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina – ana.heredia@unc.edu.ar

² Instituto de Estudios Avanzados de Ingeniería y Tecnología (IDIT) (FCEfYn/CONICET) – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina – antoine.patalano@mi.unc.edu.ar

³ Instituto Nacional de Agua, Subgerencia Centro de Estudios de la Región Semiárida (INA CIRSA) – CONICET y Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina – jmdiazlozada@unc.edu.ar

⁴ Instituto de Estudios Avanzados de Ingeniería y Tecnología (IDIT) (FCEfYn/CONICET) – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina – carlos.marcelo.garcia@unc.edu.ar

Introducción

En este artículo se presentan dos técnicas no convencionales para la medición del transporte de sedimentos de fondo y sus características: una basada en el uso de instrumentos hidracústicos y la otra en basada en velocimetría por imágenes. Ambas técnicas son utilizadas comúnmente para medir la velocidad del flujo.

Los perfiladores de corriente acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés) han sido utilizados desde hace más de 25 años para la medición de velocidad de flujo y caudal, pero su implementación en la medición del transporte de sedimentos es relativamente reciente y se ha incrementado en los últimos años (Bianchi et al. 2022; Latosinski et al. 2022; Heredia Ligorria et al. 2022; Conevski et al. 2021; Szuapiany et al. 2019). El procesamiento de imágenes se basa en la técnica no intrusiva denominada velocimetría de imágenes espacio-temporales (STIV, por sus siglas en inglés), que consiste en visualizar la variación de intensidad de los píxeles en el tiempo sobre una línea definida. Esta técnica fue aplicada en hidráulica originalmente para caracterizar la velocidad superficial en ríos (Fujita et al. 2007), y se presenta como alternativa para medir la velocidad de migración y la longitud de las dunas, en ríos de poca profundidad con suficiente claridad para visualizar el fondo (Patalano et al. 2022).

Metodología

STIV

La técnica no intrusiva llamada “Velocimetría de imágenes espacio-temporales” (STIV) consiste en visualizar la variación de intensidad de los píxeles en el tiempo sobre una línea determinada, asumiendo que la velocidad de la textura es constante durante la medición. Esta visualización provee una imagen conocida como imagen espacio temporal (STI por sus siglas en inglés), donde se analiza la pendiente del patrón que aparece en ésta. El ángulo de este patrón está directamente relacionado con la velocidad media de la textura. El análisis que se realiza con esta técnica es unidimensional, con la ventaja de ser notablemente más rápido que otras técnicas basadas en imágenes como LSPIV. Aplicado al seguimiento de formas de fondo, el patrón está definido por las crestas de las dunas (que son visibles desde la superficie) y el ángulo representa la velocidad de desplazamiento de las formas de fondo (Patalano et al., 2022).

ADCP

Para la medición de la velocidad de las dunas se aplica la metodología de mediciones estacionarias descritas por Heredia et al. 2022. Estas consisten en dejar el ADCP en una posición fija midiendo el tiempo suficiente para registrar el paso de una duna completa (entre 2 y 3 horas). A través de estas mediciones, y otras del tipo dinámica, se caracteriza geométricamente la duna (altura Δ , longitud λ , factor de forma α y con estos datos se calcula la velocidad de desplazamiento de la forma de fondo v_d .

En la Figura 1 se muestra la ubicación de los instrumentos (cámara y ADCP) para el registro de datos para obtener información sobre las formas de fondo. Las imágenes se colectaron utilizando una cámara GoPro HERO 5 con un sensor CMOS, resolución 4000 x 3000, y un campo de visión lineal (FOV) para eliminar el efecto de distorsión de la lente. La cámara se montó en un trípode fijo al puente. La tasa de adquisición de imágenes fue de 0,033Hz de frecuencia (una imagen cada 30 segundos) durante 2 y 2,35 horas para la campaña 1 y la campaña 2 respectivamente.

El instrumento acústico utilizado fue el ADCP SonTek S5 de 3 MHz de frecuencia acústica para velocidad y 1 MHz de frecuencia acústica para el seguimiento de fondo (Bottom Track). Se dejó el ADCP amarrado con una soga desde el puente en una posición fija (entre 20 y 30 metros aguas abajo) y se midió en simultáneo el mismo tiempo que con la cámara.



Figura 1.- Vista desde aguas abajo hacia aguas arriba del área de estudio. La cámara se colocó en un trípode fijado a la baranda del puente apuntando hacia el este.

Sitio de estudio y condiciones de flujo

Las técnicas descritas anteriormente para determinar la velocidad de desplazamiento de las formas de fondo se aplicaron en dos campañas realizadas en el río Tercero (Ctalamochita), en cercanías de la ciudad de Villa María, provincia de Córdoba. El caudal líquido medido con ADCP fue de 12,8 m³/s y 12,9 m³/s para la 1^{er} y 2^{da} campaña respectivamente, y la profundidad media en la sección relevada fue de 0,6 m para ambas.

Para estos caudales, la profundidad del río resultó menor a 1,0 m y se caracterizó por tener una baja carga de sedimentos en suspensión, por lo que el agua estaba clara. Esto permitió que el desplazamiento de las formas de fondo fuera apreciable a simple vista desde la superficie. La carga de sedimentos en suspensión en los casos analizados fue baja, como consecuencia del tamaño de grano y la tensión de corte.

Resultados

El perfil transversal de la velocidad de las dunas v_d en la imagen rectificadas se presenta en la Figura 2. Se puede observar una zona de velocidad baja, correspondiente a la ubicación de la pila del puente. Con la técnica STIV la longitud de las dunas fue calculada como el promedio del tren de dunas, resultando en los siguientes valores: 1,7 m para la campaña 1 y 2,4 para la campaña 2. Los resultados obtenidos con ADCP se presentan en la Tabla 1. Hay que considerar que los valores de velocidad de migración de duna estimados con ADCP representan el movimiento de una única duna.

Tabla 1.- Resultados de mediciones con ADCP (estacionarias y dinámicas) y con la técnica STIV en el río Tercero.

Campaña	Mediciones ADCP				Técnica STIV			
	Δ [m]	λ [m]	$\frac{\Delta}{\lambda}$	v_d [m/s]	Δ [m]	λ [m]	$\frac{\Delta}{\lambda}$	v_d [m/s]
1	0,23	3	0,08	2,4	0,16	2,8	0,1	2,7
2	0,18	3,1	,06	3,7	0,15	3,1	0,05	3,4

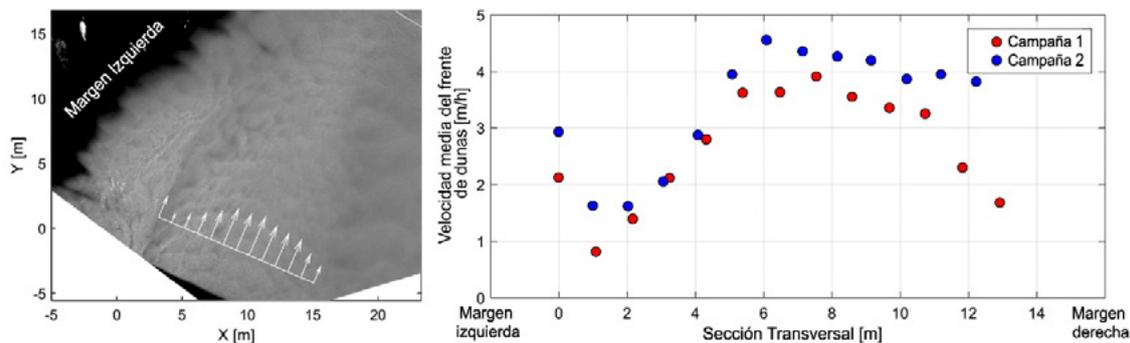


Figura 2.- Izquierda: sección transversal seleccionada y velocidad de migración de las dunas (Campaña 1) sobre imagen rectificadas de la región de interés. Derecha: perfil de velocidad de dunas para la Campaña 1 y Campaña 2.

Comparación de resultados

Para analizar el desempeño de las técnicas basadas en imágenes para la medición de la velocidad (v_d) y longitud de duna (λ), se compararon los resultados obtenidos con STIV con los de las mediciones de ADCP. La comparación se realizó en la línea de búsqueda próxima a la ubicación donde se realizaron las mediciones con ADCP.

La diferencia relativa entre los resultados de las dos técnicas fue de 13% y 7% para de u_d y λ . Esto indica que la metodología con imágenes descrita en el trabajo permite una buena estimación de la velocidad de migración y de la longitud de dunas, cuando el agua es lo suficientemente clara y permite observar (a simple vista) el desplazamiento de las formas de fondo. En el trabajo previo (Latosinski et al., 2017) se menciona hasta un 25% de error en la determinación del transporte de fondo utilizando técnicas hidroacústicas, donde la velocidad de migración de la duna es una fuente importante de incertidumbre, ya que los otros parámetros pueden ser medidos con menor incertidumbre con el ADCP. La diferencia relativa entre ambas técnicas en la determinación de la velocidad de migración de la duna es del orden de la incertidumbre mencionada en el trabajo.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron dos técnicas no convencionales para medir el perfil de velocidades y longitud de duna de un tren de dunas para condiciones de agua claras.

Entre las ventajas de la técnica STIV se pueden mencionar: i) permite una buena estimación de la velocidad de migración de las dunas en la dirección principal del flujo cuando el agua es lo suficientemente, con una gran resolución espacial y temporal

(con el ADCP se obtiene la velocidad de migración de una duna, calculada en una única ubicación de la sección transversal); ii) esta técnica puede ser aplicada en sitios donde la profundidad del flujo es menor que la profundidad mínima necesaria para medir con ADCP y ecosondas, por ej. para tirantes menores a 30 cm; iii) es una técnica de relativamente bajo costo, no intrusiva y no representa un gran riesgo para los operadores.

Entre las ventajas de la técnica acústica se pueden mencionar: i) se releva en simultáneo valores de profundidad y velocidad del flujo, lo que permite por ejemplo caracterizar la rugosidad del flujo; ii) la aplicación de la técnica es (prácticamente) independiente de la claridad (o no) del agua, y aplicable en diferentes condiciones de transporte en suspensión.

Como conclusión final, ambas técnicas son aplicables para la medición del transporte de sedimentos de fondo, con diferencias numéricas dentro del rango de error común en esta área. Es importante poder reconocer las ventajas y limitaciones de cada técnica, para poder elegir la óptima acorde a las condiciones del sitio de medición.

Referencias

- Bianchi, R.; García, C. M.; Pedocchi, F.; Heredia Ligorria, A. I.; Díaz Lozada, J. M. (2022). "Dinámica del aporte de sedimentos del río San Antonio al embalse San Roque, Córdoba, Argentina". *XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz do Iguazú, Brasil*.
- Conevski, S., Guerrero, M., Rennie, C. D., Ruther, N. (2021). "Towards an evaluation of bedload transport characteristics by using Doppler and backscatter outputs from ADCPs". *Journal of Hydraulic Research*.
- Fujita, I.; Watanabe, H.; Tsubaki, R. (2007) "Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV)". *Int. J. River Basin Manag.*
- Heredia Ligorria, A. I.; García, C. M.; Díaz Lozada, J. M. (2022). "Cuantificación del Transporte de Sedimentos con Tecnología Hidroacústica en Ríos de la Provincia de Córdoba, Argentina". *2022 Pia Conference: "Dealing with sediments from mountains to nearshore environments"*.
- Latosinski, F. G., Szupiany, R. N., Guerrero, M., Amsler, M. L., & Vionnet, C. A. (2017). The ADCP's bottom track capability for bedload prediction: Evidence on method reliability from sandy river applications. *Flow Measurement and Instrumentation*.
- Latosinski, F., Wood, M., Domínguez Ruben, L., & Oberg, K. (2019). "Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions". *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Szupiany, R., Lopez Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M., Domínguez Ruben, L., & Oberg, K. (2019). "Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions". *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Patalano, A.; Heredia Ligorria, A. I.; Díaz Lozada, J. M.; García, C. M. (2022). "Image-based migration velocity and dune length in clear water rivers". *Flow Measurement and Instrumentation*

ANÁLISIS DE DATOS DE 10 AÑOS DE EXTRACCIONES DE ÁRIDOS EN EL RÍO PARANÁ

Leandro D. Kazimierski, Magalí A. Asorey, Nicolás Tomazín, Sebastián Peralta

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Argentina
lkazimierski@ina.gob.ar, masorey@ina.gob.ar, ntomazain@ina.gob.ar, speralta@ina.gob.ar

Introducción

La extracción y movimiento de áridos es una práctica común en grandes ríos con diversos fines como material para la construcción, rellenos de taludes, entre otros. El aumento de muchas de estas industrias en los últimos años generó un incremento en la minería de áridos. El río Paraná y sus tributarios tienen arenas de muy buena calidad y de diversas granulometrías siendo muy requeridos por parte de las empresas areneras.

Para la aprobación de las actividades de la extracción de áridos, las empresas deben realizar las solicitudes a las provincias quienes determinan su viabilidad. A su vez, el Instituto Nacional del Agua (INA) analiza la afectación del régimen hidráulico según el Decreto del 31 de marzo de 1909, Decreto 3396/43, Resoluciones SRH 038/88 y SMM 395/88, a excepción de las zonas de libre disponibilidad que se encuentran regidos por la disposición MIV 68/2000.

En este trabajo se presentan un primer análisis de los datos obtenidos de las solicitudes de extracción de áridos que realizan las empresas y son enviados al INA indicando su evolución, las zonas y progresivas sobre el río Paraná y tributarios, y las tendencias principales. También se realiza una comparación con volúmenes de sedimento transportado por el río Paraná según estudios recientes.

Información y procesamiento

A partir de los expedientes digitales que el INA recibió durante los últimos 10 años, se estructuró una base de datos con el fin de clasificarlos en diferentes categorías. Para llevar a cabo este procesamiento se utilizó el sistema de Inteligencia Artificial ChatGPT, versión GPT-3.5 de OpenAI al cual se le generó un *Prompt* adecuado al tipo de información y la tabla resultante esperada. Como ingreso al sistema se copió el texto de los expedientes, obteniendo como resultado una tabla ordenada con los datos solicitados. De esta forma, se agruparon las solicitudes de extracción de áridos según su uso, los volúmenes y fecha, entre otros datos para un total de más de 500 pedidos de extracción en el período 2013-2022.

Para el aprovechamiento de los datos sobre extracción de áridos suministrados por los expedientes, se establecieron ciertas hipótesis ante la falta de certidumbre en algunos datos. En primer lugar, se consideró que cuando se informaba un solo volumen mensual a extraer en múltiples progresivas y en una misma solicitud, se trataba de un volumen mensual promedio, siendo este dividido uniformemente entre los distintos puntos informados. En segundo lugar, se consideró que el periodo de extracción era en todos los casos de 1 año, con el objetivo de obtener los volúmenes acumulados anuales. Se contempló una excepción en esta modalidad al momento de evaluar dos extracciones mensuales de 300.000 m³ en el año 2022, debido a que se trataba de valores fuera de magnitud en comparación a los demás volúmenes extraídos para el mismo periodo.

Cabe recalcar que los valores mencionados en los expedientes de extracción no indican que efectivamente el volumen solicitado fue extraído. Se asume entonces, que el valor solicitado y el realmente extraído se encuentra dentro de un rango de error aceptable para este tipo de estudio.

Análisis de datos

En la Figura 1 se presentan en un mapa los volúmenes de áridos solicitados para el período 2013-2022 según los distintos cursos de agua y en los kilometrajes informados en los expedientes. La mayor parte de las extracciones se realizan sobre el río Paraná aguas arriba de la ciudad de San Pedro y sobre el río Ibicuy. En el resto de los cursos las extracciones son mas localizadas como sucede frente a las ciudades de Corrientes y Resistencia o frente a Rosario; o de menor volumen y bastante disperso sobre el Paraná Guazú.

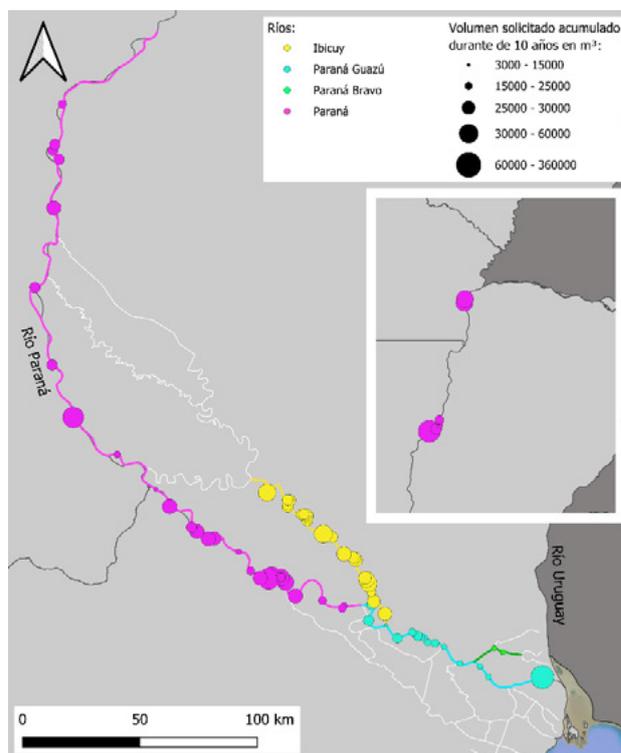


Figura 1.- Volúmenes solicitados para extracción de áridos en el período 2013-2022 en el río Paraná, Guazú, Bravo e Ibicuy.

En la Figura 2 se presenta la serie temporal de volúmenes de áridos solicitados para su extracción anualmente en el período 2013-2022 solamente para el río Paraná. Se observa un valor máximo para el año 2022 con 1.6 millones de m³ y sin pedidos de extracciones durante 2019. Y en la Figura 3 se muestran los pesos solicitados por progresiva y por año para el río Paraná destacándose nuevamente las progresivas correspondientes a la zona de San Pedro con pedidos durante todos los años salvo en 2019, en Rosario con grandes volúmenes en 2017 y 2022, y Corrientes con pedidos solamente en 2022.

Resultados

Para evaluar el impacto que conlleva la extracción de arena en el río se realiza una comparación con el volumen anual de sedimentos que transporta naturalmente, particularmente de los vinculados al transporte de sedimentos de fondo.

La comparación se realiza únicamente con los volúmenes bajo solicitud al INA y no se tiene en cuenta las áreas de libre

disponibilidad de los que no se posee información.

Con la información propuesta por López Weibel et al (2022) es posible estimar cual fue el transporte de sedimentos durante el período 2013-2022 para el Paraná Medio. Los autores proponen valores en base a la carga de sedimentos de fondo en suspensión (Q_{ss}). A su vez, Alarcón et al (2003) propone que la carga de fondo (Q_{sf}) representa un 10% de Q_{ss} para el tramo en análisis. Posibilitando así la estimación de la media total de ambos valores y estableciendo una comparación en magnitud con los valores de extracción de áridos en la zona de Paraná Medio. Para el período 2010-2018 los autores estiman el transporte que incluye el Q_{ss} y el Q_{sf} en 28.6 millones de toneladas por año. Se utiliza este valor para comparar con el período de análisis.



Figura 2.- Volúmenes acumulados debido a las solicitudes de extracción de áridos por año en el río Paraná para distintos años.

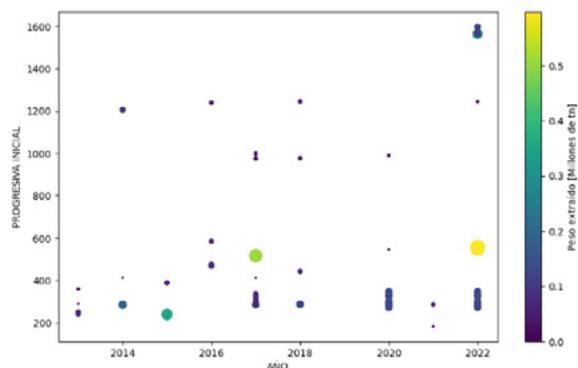


Figura 3.- Serie anual del peso de áridos solicitado para extracción en función de la progresiva para el río Paraná.

Para poder establecer una comparación entre el transporte de sedimentos y la extracción de arena del río, se realiza una conversión de unidades de los datos obtenidos a partir de las solicitudes entregadas al INA. Se considera una densidad aproximada del sedimento de $2,650 \text{ kg/m}^3$ (ρ_s), asumiendo que se trata de minerales de cuarzo. Se adopta “p”, que corresponde a la porosidad, igual a 0.4, por tratarse de arena. Y ρ_{agua} igual a 1000 kg/m^3 (CPPC et al, 2020). Procediendo de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho_{\text{seca}} = (1 - p) \cdot \rho_s = 1,590 \text{ kg/m}^3 \quad [1]$$

$$\rho_{\text{humeda}} = \rho_{\text{seca}} + \rho_{\text{agua}} \left(\frac{\rho_s - \rho_{\text{seca}}}{\rho_s} \right) = 1,990 \text{ kg/m}^3 \quad [2]$$

Siendo los volúmenes máximos anuales solicitados en el tramo del Paraná Medio de 0.97 millones de metros cúbicos o 1.93 millones de toneladas estos se encuentran un orden de magnitud por debajo de los valores de transporte de sedimentos de 26.8 millones de toneladas.

Conclusiones

Es posible reconocer una tendencia creciente en cuanto a la extracción de áridos a lo largo de los años, en particular, para el río Paraná. Esto se corresponde con el aumento en el desarrollo de las industrias que tienen a la arena como materia prima.

La extracción de un 7% del transporte natural del propio río es un valor que debe considerarse y no habría que descartar la posibilidad de que pudiera existir una presión extra sobre la dinámica dunar y los ecosistemas asociados, al menos de forma localizada. A su vez, esta situación podría exacerbarse por la extraordinaria bajante del río Paraná del período 2020-2022.

La extracción de áridos afecta a otros ríos además del Paraná, como por ejemplo al Ibicuy y al Gutiérrez (Tabla 1). Y se pueden observar aumentos de solicitudes dentro de esta categoría para ciertos periodos.

Tabla 2.- Comparación de los volúmenes acumulados totales, durante los 10 años, para los ríos informados en los expedientes.

Río	Volumen acumulado total
-	[Metros cúbicos]
Ibicuy	7,633,332
Paraná	3,674,599
Gutiérrez	1,178,000
Uruguay	863,904
Paraná Guazú	783,924
Coronda	75,996
Gualeguay	36,000
Paraguay	32,000

En comparación con el Paraná, el Ibicuy, posee volúmenes acumulados totales durante los 10 años, considerablemente mayores. Esto también se ve reflejado en las extracciones por progresiva (Figura 1). En cuanto al Gutiérrez, es el tercer río que presenta volúmenes más altos, siguiendo al Paraná. La falta de estimaciones confiables de transporte de sedimento en estos cursos de agua no permite realizar una comparación como la realizada en el río Paraná.

Como líneas futuras se espera poder estudiar qué efectos tiene la extracción de áridos sobre el equilibrio de sedimentos en el río Paraná y en otros ríos como el Ibicuy y el Gutiérrez, la generación de bases de datos para consultas sobre estudios de impacto ambiental, la extensión de los datos a las áreas de libre disponibilidad, entre otros.

Referencias

J. J. Alarcón, R. Szupiany, M. D. Montagnini, H. Gaudin, H. H. Prendes, M. L. Amsler (2003). “Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del río Paraná”. *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Ezeiza, Argentina.

C. López Weibel, R. Szupiany, F. Latosinski, M. Amsler, M. Repasch (2022). “Sources and temporal dynamics of suspended sediment transport along the middle Paraná River”. *Journal of South American Earth Sciences*.

Cámara de Puertos Privados Comerciales (CPPC), Bolsa de Comercio de Rosario (BCR), Cámara de Actividades Portuarias y Marítimas (CAPyM), Cámara Argentina Del Acero (CAA), Unión Industrial Argentina (UIA) (2020). “Servicio de consultoría para el estudio de factibilidad técnico-económica del próximo período de concesión del sistema de navegación troncal”.

PROTECCIÓN DE MARGEN DERECHA DEL RÍO LULES EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Ignacio Joaquín Molina⁽¹⁾⁽²⁾, María Florencia Nanni⁽¹⁾⁽²⁾ y Héctor David Aguirre⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán

⁽²⁾ Dirección Provincial del Agua, Provincia de Tucumán
ignaciojmolina08@gmail.com

Introducción

La ciudad de San Isidro de Lules se ubica en el valle inferior del río Lules a 25 km al sur de San Miguel de Tucumán, sobre la vertiente oriental de las sierras del Aconquija. Es la localidad cabecera del departamento homónimo en la provincia de Tucumán. La alta torrencialidad del río Lules, característica de los ríos de montaña, su cambiante morfología, la fuerte actividad humana en el lugar y su proximidad a la ruta provincial N° 321, crean un escenario propicio para el desarrollo de fuertes procesos erosivos sobre su barranca derecha, afectando infraestructuras hídricas y viales aledañas.

Objetivos

Realizar un análisis fluvial del río Lules y diseñar una obra de protección de la margen derecha en la zona de rotura de la RP N°321 con el fin de proponer una solución a mediano plazo tendiente a proteger la integridad de dicha obra vial.

Estudio Hidrológico

El Río Lules cuenta con amplios antecedentes, no obstante, las mediciones de caudal resultan escasas para los fines que se persiguen al no disponer de datos de caudales pico en situación de crecida. Se recurrió entonces a su evaluación indirecta, tomando como base la relación i-d-T perteneciente a mediciones registradas por pluviógrafos de alta frecuencia instalados en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) en la ciudad de San Miguel de Tucumán, y transponiéndola al sitio de interés por medio de tablas que modifican los coeficientes no regionales de la expresión original del modelo DIT (Bazzano y Caamaño Nelli, 2014).

A partir de las curvas resultantes se obtuvo la distribución temporal de la lluvia con el Método de los Bloques Alternos para los periodos de retorno de 2, 10, 25 y 50 años, de acuerdo a la vida útil de la obra a proponer (Chow, 1994). La distribución espacial se determinó a partir de una expresión analítica del Coeficiente de Decaimiento Areal (CDA), como función de la duración de lluvia “d” y área de aporte “A” de acuerdo a las ecuaciones [2] y [3] (Bazzano, Caamaño Nelli, 2017).

$$\ln \text{CDA} = k * \ln A - k * \ln 25 \quad [2]$$

$$k = -0.662 d^{-0.191} \quad [3]$$

El método de transformación precipitación-escorrentía empleado fue el de Clark. Las pérdidas por infiltración se estimaron de acuerdo a la metodología desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - S.C.S.) denominado Número de Curva (NC, 1972), en donde la condición (III) se considera representativa del modelo por tratarse de la situación más desfavorable y acorde al estado de suelo saturado correspondiente a los meses de finalización del período estival en que se produjeron los mayores daños en la zona.

Finalmente, para la obtención de los hidrogramas se utilizó el software HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center del centro de investigaciones del U.S. Army Corps of Engineers. El mismo está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados.

Estudio Hidráulico

Ante la necesidad de elaborar un diagnóstico racional de la dinámica actual del río Lules en el tramo de análisis, se realiza una simulación del comportamiento del cauce para los hidrogramas de crecidas obtenidos en el estudio hidrológico, buscando determinar velocidades de escurrimiento, tirantes máximos, tensiones de corte y zonas de desborde. La modelación se realizó mediante el modelo HEC-RAS 6.1, desarrollado por Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers., optando por una modelación 2D por sobre 1D. Dicha elección se basó principalmente en el hecho de que para ciertos niveles de agua se activan las planicies de inundación y en estos sectores el flujo tiene un comportamiento del tipo bidimensional, además de que la presencia de curvas y contracurvas exponen los efectos de corrientes secundarias que podrían ser relevantes en el análisis del flujo. Los pasos seguidos en el estudio se describen a continuación:

- Definición del dominio de solución para la aplicación de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el flujo, apoyado en cartografía y relevamientos topográficos. Fijado un sistema de referencia y proyección, se obtuvo un modelo digital de elevaciones (Figura 1) sobre el que se estableció una geometría de análisis.



Figura 1.- Modelo digital del terreno sin intervenir (MDT).

- Asignación del coeficiente de resistencia al flujo por medio de la valoración numérica de la rugosidad del cauce, para lo cual se dispuso un mapa de cobertura de suelo en el que cada color representa una condición distinta de vegetación y tiene asignado un parámetro de rugosidad n de Manning.
- Fijación de condiciones de borde como fronteras de la ecuación diferencial que gobierna el comportamiento del flujo y caracterización del mismo mediante el editor del plan de trabajo.

Evaluación de Resultados

La modelación computacional de la etapa de diagnóstico arrojó resultados que permiten elaborar las primeras conclusiones del proyecto relacionadas a los tirantes y velocidades alcanzados en tramo de estudio. Con respecto a estas últimas, es notorio su incremento entre un período de recurrencia y otro, cómo puede visualizarse en la Figura 2. En algunas zonas se alcanza a superar velocidades del orden de los 8 m/s (tonos rojos), lo que justifica los procesos de arrastre de sedimentos (particularmente en la cara externa de la curva) y que propician el avance del cauce hacia ese sector, por lo que resulta necesario intervenirlo

a modo de reducir tales efectos.

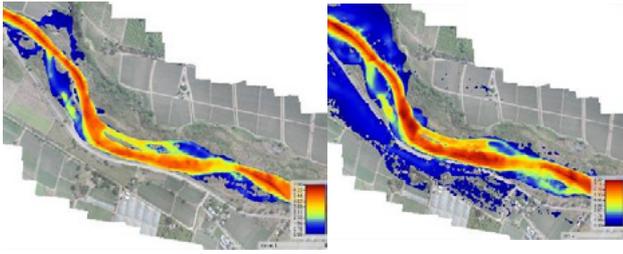


Figura 2. - Diagnóstico de velocidades para recurrencias de 2 y 50 años.

Se proyectó entonces una propuesta estructural de espigones siguiendo los lineamientos de Maza Álvarez (1994) en cuanto a localización y aspectos geométricos (Figura 3) que permitieron modificar digitalmente el modelo del terreno y llevar a cabo sucesivas verificaciones mediante nuevas corridas del modelo hidrodinámico (Figura 4).

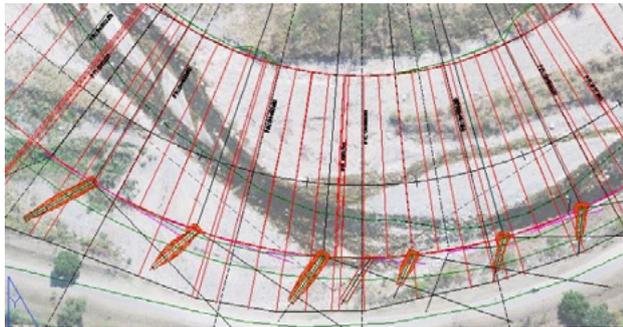


Figura 3. - Propuesta con obras de encauce y espigones.

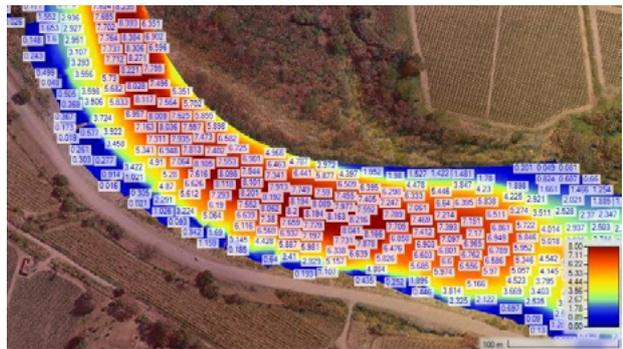


Figura 4. - Velocidades para recurrencia de 25 años con obra propuesta.

La intervención más adecuada en cuanto a reducción de velocidades (para recurrencias altas) y generación de vórtices (para recurrencias bajas) que propensen la deposición de material entre espigones y consecuente consolidación de la barranca llevaron a la geometría final detallada en la Tabla 1.

Tabla 1. - Geometría final de propuesta estructural.

Espigón N°	L [m]	Altura [m]
1	28	1.5
2	32	1.6
3	31	1.8
4	25	2
5 y 6	18	2.1
7	17	1.8
8	17	1.5
9	16	1.3

Siguiendo la misma metodología, los resultados del modelo permitieron cuantificar la erosión del fondo del río adyacente al extremo de la estructura más solicitada y compararla con la que surge de aplicar procedimientos que involucran otras variables, como ser, tamaño de la partícula, ángulo de ataque, forma de la punta, geometría del cauce, etc.

Los resultados de erosiones localizadas permitieron luego adoptar medidas estructurales orientadas a evitar los efectos destructivos de las mismas, bajo un criterio conservador que responda de manera lógica, práctica y sin dejar de lado el factor económico. Esto llevó a la adopción de la tipología estructural de enrocado y su dimensionado con material del lecho.

El estudio de la granulometría de los sedimentos se llevó a cabo con la técnica convencional de tamizado en vía seca complementada con el análisis de fotografías del cauce. Para ello, en torno al lugar de muestreo se tomaron fotografías a una cierta distancia vertical del lecho procurando que las mismas contengan una regla graduada de referencia para luego ser procesadas con el programa computacional “Basegrain”. Esta herramienta, desarrollada por la División de Ingeniería Fluvial del Laboratorio de Hidráulica, Hidrología y Glaciología (VCM) del Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH) en Zúrich, Suiza; se maneja a través de una interfaz gráfica de usuario que permite, con los procesos de postprocesamiento y preprocesamiento, obtener una distribución del tamaño del grano siguiendo el método de muestreo en línea de Fehr (VCM, 1987).

Conclusiones

La naturaleza aleatoria y variable de la información hidrológica requiere la profundización de este tipo de estudios y la correspondiente calibración de modelos tornándose esencial para la correcta representación de los datos, en particular a lo referido con los parámetros de rugosidad del cauce por la importancia y peso que tienen en los resultados finales. Se tornan relevantes las mediciones de precipitaciones en la cuenca alta que permiten representar las tormentas características, como así también la necesidad de realizar mediciones de caudales que permitan calibrar y validar los modelos de transformación precipitación-escorrentía.

Por otro lado, se sugiere la adopción de medidas de protección y encauce aguas arriba del actual emplazamiento del balneario municipal, en donde de acuerdo a los modelos computacionales, existen sectores con elevado riesgo de sufrir inundaciones y de igual forma el seguimiento del estado estructural de las obras ejecutadas o por ejecutarse es significativo en cuanto al buen funcionamiento de las mismas, debiéndose implementar programas regulares de mantenimiento y/o readecuación.

En cuanto al software de modelización bidimensional, es importante profundizar sobre la limitación que presenta con respecto a la aparición de errores de iteración por afinación de la malla en zonas de altas velocidades de escurrimiento y en relación a la inexistencia de vórtices en planos verticales que contribuyen a la erosión en punta de espigón.

Referencias Bibliográficas

- Bazzano, F.; Caamaño Nelli, G.** (2014). “Avances en la Estimación de la Relación i-d-T en Tucumán”. IV Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas. San Miguel de Tucumán. Tucumán. Argentina. ISBN 978-987-45745-0-3.
- Bazzano, F.; Caamaño Nelli, G.** (2017). “Predicción de Lluvias máximas en Tucumán con el Modelo DIT”.
- Maza Álvarez, J. A.; García Flores, M.** (1996). Manual de Ingeniería de ríos “Estabilización y Rectificación de ríos”.
- US Army corps of engineers - Institute for Water Recourses Hydrologic Engineering Center.** (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical reference manual.*
- Ven Te Chow** (1994). “*Hidrología Aplicada*” - Tormentas de diseño. Hietogramas de precipitación de diseño utilizando las relaciones IDF.

VÍA NAVEGABLE DEL RÍO URUGUAY: EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA PROFUNDIZACIÓN EN EL PASO SAN FRANCISCO.

Alejandro Nardin¹, Lucas Domínguez Rúben^{2,3}, Alejandro Arcelus¹ y Ricardo Szupiany^{2,3}

¹ Comisión Administradora del Río Uruguay

² Centro de Estudios Fluviales e Hidro-Ambientales del litoral. FICH – UNL

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CONICET
anardin@caru.org.uy

Introducción

El desarrollo de la navegación en el río Uruguay tiene antecedentes concretos desde hace más de 20 años. En el año 2018 la Comisión Administradora del Río Uruguay realizó el “Proyecto de Dragado y Balizamiento del Río Uruguay entre los kilómetros 207,8 y 336 del Río Uruguay”, que comprende el tramo Paysandú – Salto. Dicho proyecto contempla el dragado del paso San Francisco, ubicado entre los kilómetros 214 y 219, el cual habilitaría la navegación segura de un tren de 1x3 barcas tipo Mississippi, el 90% del tiempo a 10 pies de calado.

Con el objeto de evaluar el impacto de dicha obra, y en el marco del estudio hidrosedimentológico y ambiental de dicho proyecto, se realizó una modelación hidrodinámica bidimensional del tramo de río vinculado al paso de navegación. El objetivo fue evaluar el impacto local y general sobre la hidrodinámica en el comportamiento natural del Paso San Francisco.

Metodología

Geometría

En primera instancia se definió el área de influencia del trabajo. Se tomaron para ello las secciones, sin islas, aguas arriba y aguas abajo de Colón (Entre Ríos, Argentina) y Paysandú (República Oriental del Uruguay). Esto significó que la extensión del modelo fue desde el km 205 al 234 de la vía navegable. En este dominio se construyeron mallas no estructuradas de 10, 30, 50 y 100 m de lado. Se realizó una simulación, con caudal estacionario de 15.000 m³/s, para evaluar el efecto de la malla en las simulaciones, llegándose a la conclusión de que 50 m es un compromiso aceptable entre la concentración de información de entrada/salida y el tiempo computacional. Teniendo en cuenta la escala de la obra (60 m de solera del canal), se decidió densificar la malla en el área cercana al canal a dragar. Para esto, se construyó allí una submalla de 15 m de lado. Una vez definida la malla, se mapearon sobre esta dos modelos digitales del terreno: uno representativo del fondo actual (SIN DRAGADO o SD) y el otro con la obra ejecutada (CON DRAGADO o CD, que implica una profundización máxima de 1.5 m, por 1000 m de longitud y 60 m de ancho). Ver Figura 1. El modelo digital del terreno de base utilizado fue el generado por Rodrigo Junes (2020), el cual fue actualizado con la información más reciente disponible.

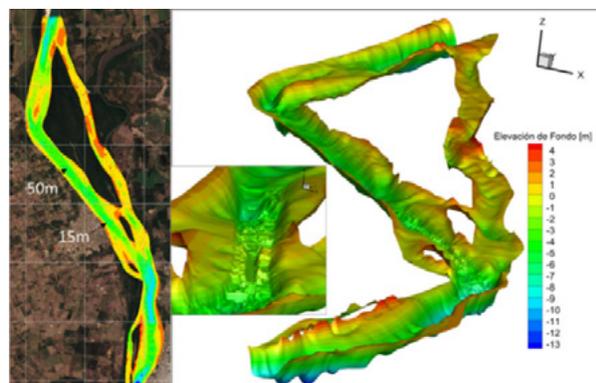


Figura 1.- Geometría con canal dragado (CD).

Calibración

Con el módulo 2D del sistema Telemac-Mascaret se simuló 5 caudales estacionarios a saber: 1.111, 5.357, 9.913, 16.946 y 24.820 m³/s. Cada uno de ellos responde a una situación hidrológica diferente, con datos medidos con perfiladores de corriente acústica (ADCP). En todos los casos se utilizó la geometría actual.

Las condiciones de borde establecidas fueron el caudal aguas arriba, y la altura aguas abajo. Esta última se calculó con la curva H-Q correspondiente al puerto de Paysandú.

En el proceso de calibración fue satisfactorio desde el primer intento, debido al antecedente de calibración llevado a cabo por Junes (2020). No obstante, se realizaron pequeños ajustes en elementos geométricos, y leves variaciones en el *n* de Manning, para lograr una correcta reproducción de los perfiles transversales de velocidades medidos. Este proceso se ejecutó para el caudal máximo medido, mientras que la validación se dio posteriormente con los caudales menores.

A los efectos del presente, se muestra en la Figura 3 la reproducción de las velocidades transversales para el máximo caudal simulado, siendo este un resultado auspicioso para este trabajo.

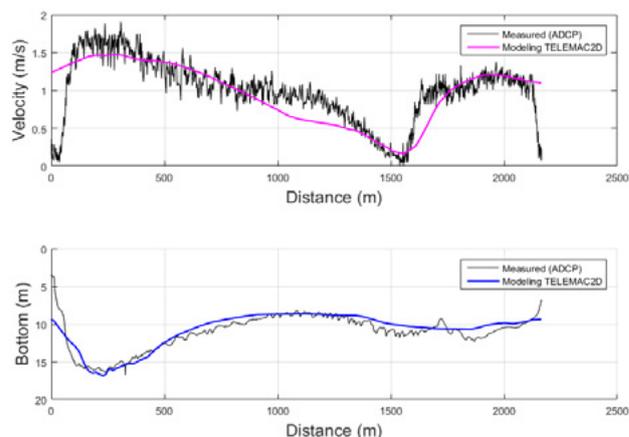


Figura 2.- Calibración lograda para un caudal de 24.800 m³/s. Sección transversal: continuación de calle Urquiza de Colón, que pasa entre la Isla Queguay y la Isla San Francisco.

Explotación

Una vez calibrada la hidrodinámica se procedió a establecer un modelo hidrosedimentológico en el módulo GAIA de Telemac. En una primera instancia, se simuló los procesos hidrodinámicos bajo un escenario de movimiento de fondo despreciable. Por este motivo, se obvia en el presente la etapa de calibración y validación de los resultados sedimentológicos y se abordan los resultados hidrodinámicos.

Bajo este supuesto se simuló, para las geometrías SD y CD, un hidrograma teórico de 45 días de duración, dividido en 3 etapas de 15 días cada una. La primera, una fase de subida de 1.100 a 24.820 m³/s, una meseta con este último valor, y una recesión que vuelve al valor inicial.

Para evaluar los efectos de la obra, se compararon los resultados obtenidos de estas simulaciones en el módulo de la velocidad.

Resultados

Se presentan en este punto los resultados de la explotación del modelo. Se utilizó el día 30, que se corresponde a la mayor situación hidrodinámica, donde el flujo tuvo mayor tiempo de estabilización en la condición de aguas altas.

A continuación, se muestran los resultados simulados en la condición sin dragado SD (Figura 3), y CD (Figura 4).

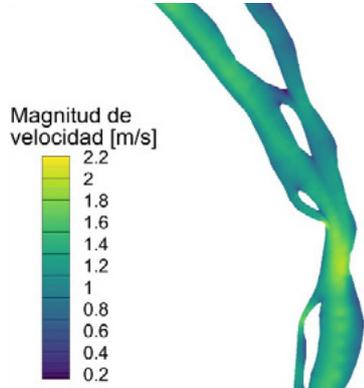


Figura 3.- Resultados de la simulación de explotación para la condición SD y 30 días de simulación.

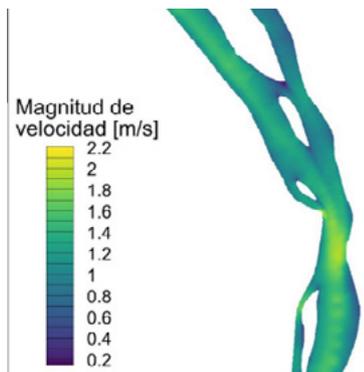


Figura 4.- Resultados de la simulación de explotación para la condición CD y 30 días de simulación.

En las figuras precedentes se observa que ambas simulaciones se ven contenidas en la misma escala de variación. Para evaluar las diferencias particulares se procedió a realizar una comparación del campo de magnitudes de velocidades. Para ello se calculó la diferencia relativa porcentual del valor CD con respecto al valor SD. Se observaron **diferencias relativas porcentuales menores al 5%**, acotado al área de influencia de la obra (Figura 5).



Figura 5.- Diferencia relativa porcentual en las simulaciones SD y CD.

Conclusiones

En el presente estudio se ha llevado a cabo una modelación hidrodinámica bidimensional para evaluar los efectos de la profundización a 10 pies del paso San Francisco, utilizando el sistema computacional Telemac-Mascaret.

Para geometrías de fondo correspondiente a escenarios sin dragado y con dragado, se simuló la ocurrencia de una crecida (hidrograma teórico) de 45 días de duración con un pico de aproximadamente 25.000m³/s durante 15 días. Los resultados de la afectación hidrodinámica que se produciría como consecuencia del dragado, indican que las diferencias relativas porcentuales de los valores de velocidades de flujo (con y sin dragado) son menores al 5% (0.08 m/s) y se encuentran acotadas al área de influencia de la obra.

Considerando lo anterior, se puede afirmar que los impactos hidrodinámicos debido a la profundización del Paso San Francisco a 10 pies se encuentran, en su mayoría, contenidos en el entorno de la obra.

Bibliografía

Consortio TELEMAT-MASCARET. (2022). <http://www.opentelemac.org/>.

Junes, R. I. (2020). *Modelo hidrodinámico del río Uruguay - Determinación de los principales patrones de flujo y su variación espacio-temporal en función de los forzantes*. Montevideo: Facultad de Ingeniería - Universidad de la República.

“MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y DE TEMPERATURA DEL AGUA DEL EMBALSE DE RINCÓN DEL BONETE, URUGUAY”

Carolina Paz, Santiago Delgado, Agustín Ríos, Ismael Piedra-Cueva, Pablo Santoro

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería Universidad de la República, Uruguay
carolinapaz@fing.edu.uy, sdelgado@fing.edu.uy, arios@fing.edu.uy, ismaelp@fing.edu.uy, psantoro@fing.edu.uy

Introducción y motivación

El Río Negro atraviesa Uruguay íntegramente en dirección este-oeste, y en su cauce se ubican tres centrales hidroeléctricas. La Central Hidroeléctrica de Rincón del Bonete (RdB) es la que se ubica aguas arriba, condicionando la hidrodinámica y calidad de agua de los otros dos embalses. Se trata del embalse con mayor capacidad de almacenamiento de Uruguay (8800 hm³) y su cuenca de aporte tiene una extensión de 39.541 km² (figura 1).

En las últimas décadas el embalse ha presentado recurrentemente floraciones de cianobacterias, favorecidas por la presencia de nutrientes y el aumento de tiempos de residencia en el cuerpo de agua (Bonilla et al., 2021). Estos eventos tienen consecuencias negativas en el ecosistema e interfieren con los usos antrópicos del cuerpo de agua.

La morfología compleja, el régimen hidrológico, la operación de la represa y los factores meteorológicos complejizan el análisis del funcionamiento limnológico del embalse. Si bien la calidad de agua se monitorea desde principios de los 2000 (Chalar, 2010; Chalar, 2015), no se han identificado trabajos que aborden el estudio de la circulación y el transporte de sustancias en el embalse.

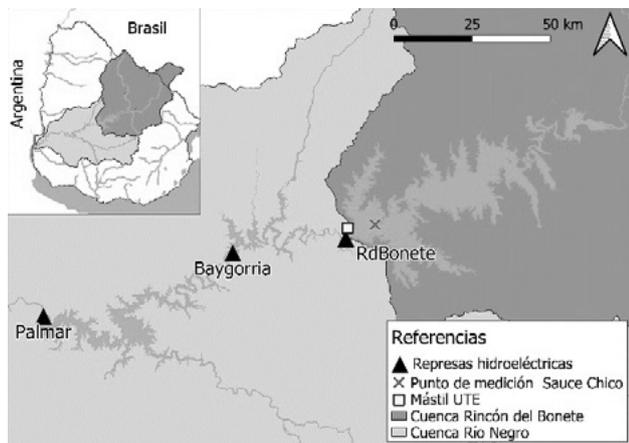


Figura 1. – Mapa general de ubicación del embalse, centrales y puntos de medición.

Objetivos

El objetivo general de trabajo es generar herramientas para la gestión de la calidad de agua del embalse de Rincón del Bonete. Para esto, se desarrollan herramientas numéricas que permitan conocer la dinámica del embalse y predecir su comportamiento a futuro. Específicamente, con la implementación del modelo hidrodinámico y de temperatura se busca:

- Caracterizar el funcionamiento hidrodinámico del embalse: estimar la distribución espacial de los tiempos de residencia del agua, así como analizar la influencia de los distintos forzantes en la circulación.
- Modelar la dinámica térmica del embalse. Insumo fundamental para la posterior implementación de un modelo de calidad de agua.

Metodología

Se implementó un modelo hidrodinámico y de temperatura del agua, utilizando el módulo Delft3D-FLOW del modelo Delft3D 4.04.01. La implementación del modelo fue acompañada de numerosas salidas de campo, que permitieron obtener información en zonas críticas del cuerpo de agua. El modelo fue calibrado y validado en base a una combinación de mediciones continuas recolectadas durante las salidas de campo, estimaciones satelitales e información histórica de monitoreos.

Modelación hidrodinámica

Se utilizó el modelo para caracterizar la hidrodinámica del embalse, y evaluar la influencia de diferentes forzantes en la circulación (Paz et al, 2022). Adicionalmente, se analizaron las escalas temporales de transporte del embalse mediante la simulación del transporte de un trazador pasivo conservativo (Jouon et al., 2006, Drouzy et al., 2019). El procedimiento consiste en introducir el trazador uniformemente distribuido en todo el embalse con concentración unitaria mientras que por los afluentes ingresa agua con concentración nula, y se la deja evolucionar bajo la acción de forzantes realistas. Luego, se analiza la evolución de la concentración de la sustancia en cada celda de la grilla de cómputo. Se realizaron 19 experimentos iniciados el 1ero de enero y 1ero de julio de cada año en el período 2012 – 2021.

Se escogió un umbral (95% de la concentración inicial) para considerar que el frente con concentración nula alcanzó la celda en cuestión y se denomina a este tiempo de llegada flushing lag. Luego se fijó otro umbral ($C=1/e \sim 0.37$) para definir la escala temporal de tiempo de lavado, este tiempo se denomina local e-flushing time. A partir de los valores obtenidos en cada celda del dominio es posible construir mapas que permiten visualizar la variabilidad espacial del flushing lag y del local e-flushing time.

Modelación de la temperatura del agua

El modelo permite simular el transporte de calor mediante la ecuación de advección – difusión. Como condición de borde en la superficie libre se modela el intercambio de calor del cuerpo de agua con la atmósfera, considerando los efectos separados de la radiación solar, la radiación atmosférica, la pérdida de calor asociada a la radiación emitida del agua, la convección y la evaporación. A excepción de la radiación solar (que puede ser ingresada por el usuario), estas variables son computadas por el modelo, tomando como input la humedad relativa, temperatura del aire y nubosidad prescritas por el usuario. En la simulación de referencia (Id 0) se utilizaron como forzantes los datos de reanálisis ERA5 (Hersbach et al., 2020) de humedad, temperatura del aire y nubosidad que permitiera forzar el modelo. Estos datos presentan la ventaja de no tener períodos con datos faltantes. Adicionalmente, se dispone de datos medidos de temperatura del aire y de radiación solar neta en un mástil perteneciente a la compañía estatal de producción y abastecimiento de energía eléctrica de Uruguay (UTE) (figura 1).

Se analizó la sensibilidad de los resultados a los forzantes

meteorológicos (temperatura del aire y radiación solar). En una de las simulaciones (Id 1) se impuso como forzante la temperatura media del aire medida en el mástil de UTE y se mantuvo la radiación solar computada por el modelo a partir de datos de nubosidad ERA5. En otra simulación (Id 2) se mantuvo la temperatura media del aire de reanálisis de ERA 5 y se impuso como forzante la radiación solar neta medida en el mástil de UTE. En tercer lugar, se realizó una simulación (Id 3) imponiendo como forzantes tanto la temperatura media del aire como la radiación solar neta medidas en el mástil de UTE.

Resultados

Modelación hidrodinámica: caracterización de las escalas temporales de transporte

En la Figura 2 se presenta el valor promedio y la desviación estándar de los 19 tiempos de lavado calculados. Los tiempos de lavado oscilaron entre valores inferiores a un mes y varios meses. Por otro lado, se observa un gradiente espacial del tiempo de lavado a lo largo del embalse, hacia aguas abajo. Los experimentos numéricos fueron realizados con forzantes realistas, y el tiempo de lavado depende fuertemente de la ocurrencia de crecidas y de la magnitud y dirección del viento, de aquí los altos valores de desviación estándar obtenidos. Por otro lado, se observan mayores valores en los brazos del embalse inferior, permitiendo identificar zonas críticas en cuanto a tiempos de residencia.

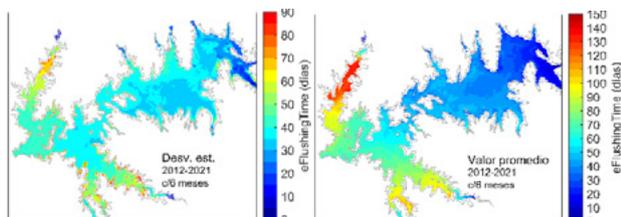


Figura 2. - Valor promedio de tiempo de lavado (izq.) y su desviación estándar (der.) a partir de los 19 experimentos realizados.

Modelación de temperatura del agua

En la figura 4 se presenta la serie temporal de temperatura del agua promediada en la vertical en Sauce Chico (figura 1) medida y modelada para las cuatro simulaciones. En la tabla 1 se presentan los estadísticos obtenidos en cada caso. Se observa una mejoría en los resultados al utilizar forzantes medidos.

Tabla 1. - Estadísticos de comparación de los resultados de las simulaciones y los datos medidos en el punto Sauce Chico.

Id	0	1	2	3
Sesgo (°C)	-0.90	-0.73	-0.65	-0.26
Error medio abs. (°C)	0.93	0.74	0.69	0.48
Correlación de Pearson	0.994	0.995	0.997	0.997

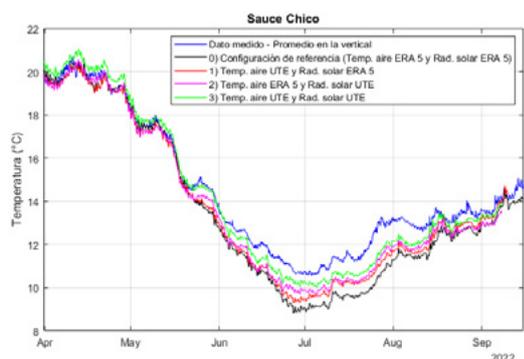


Figura 4. - Series de temperatura del agua promedio en vertical en el punto Sauce Chico para distintas configuraciones de forzantes atmosféricos.

Conclusiones

El modelo implementado permite representar satisfactoriamente la hidrodinámica compleja del embalse. Los experimentos numéricos con forzantes históricos realistas de caudal y viento permitieron tener un orden de magnitud de los tiempos de lavado del embalse, su variabilidad espacial y entre distintos eventos. Se identificaron zonas críticas en cuanto a tiempos de residencia, las cuales suelen presentar mayores valores de clorofila-a teledetectada (Gigou, 2022).

La temperatura del agua fue representada adecuadamente por el modelo, particularmente considerando que se trata de un modelo bidimensional integrado en vertical. Análisis de sensibilidad a distintos parámetros del modelo y condiciones de borde, muestran que la calidad de los resultados obtenidos se encuentra mayormente limitada por el forzante atmosférico (ERA5). Aún así, la representación de las series históricas y mediciones continuas realizadas durante el proyecto es muy satisfactoria.

La herramienta numérica implementada permitió generar datos de entrada para un modelo de calidad de agua del embalse.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del convenio “Modelación hidrosedimentológica y de calidad de agua del embalse de Rincón del Bonete” suscrito entre el Ministerio de Ambiente y el IMFIA, enmarcado en la Iniciativa del Río Negro para la mejora de la calidad del agua de la cuenca del Río Negro (Ministerio de Ambiente, 2019; Decreto N°298/018).

Referencias

- Bonilla, S., Aubriot, L., Haakonsson, S., Illarze, M., Isasa, I. D., & Brena, B. M. (2021). “Las floraciones de cianobacterias tóxicas comprometen el uso del agua del Río Negro, Uruguay”. INNOTECH, (22 jul-dic), e577-e577.
- Carolina Paz, Santiago Delgado, Agustín Ríos, Ismael Piedra-Cueva, Pablo Santoro (2022). “Implementación de un modelo hidrodinámico para el embalse de Rincón del Bonete, Uruguay”. XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz de Iguazú, Brazil.
- Chalar, G., Fabián, D., Gonzalez-Piana, M., y Delbene, L. (2010). “Limnología de los embalses del Río Negro: noviembre 2000 - marzo 2009”. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, UdelAR
- Chalar, G., Fabián, D., Gonzalez-Piana, M, y Piccardo, A. (2015). “Estado y evolución de la calidad de agua de los tres embalses del Río Negro durante el período setiembre 2011 – marzo 2015”. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, UdelAR.
- Deltares (2018). Delft3D-FLOW - User Manual. Delft, The Netherlands.
- Drouzy, M., Douillet, P., Fernandez, JM. (2019). Hydrodynamic time parameters response to meteorological and physical forcings: toward a stagnation risk assessment device in coastal areas. Ocean Dynamics 69, 967–987.
- Hersbach, H, Bell, B, Berrisford, P, et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. Q J R Meteorol Soc. 146, 1999– 2049.
- Jouon, A., Douillet, P., Ouillon, S., Fraunié, P. (2006). Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. Continental Shelf Research, 26 (12–13), 1395-1415.

COASTSNAP ARGENTINA: UNA EXPERIENCIA DE MONITOREO COMUNITARIO EN PLAYAS EN LA COSTA MARÍTIMA BONAERENSE

Mariano Re¹, Guido Bacino², Carolina Billet³, Federico Haspert¹, Juan Manuel Fernández⁴, Mariano Verón⁴, Salvador Lamarchina², Carlos Dalto⁵, Lucas Bindelli¹, José Bedmar⁶, Guadalupe Alonso³, Daniela Risaro⁷, Nicolás Tomazin¹ y Pablo García¹

¹ Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

² Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Argentina

³ Grupo de Dinámica Costera, Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Argentina

⁴ Dirección Provincial de Hidráulica (DPH), Buenos Aires, Argentina

⁵ Secretaría de Paisaje y Medio Ambiente, Municipalidad de Pinamar, Argentina

⁶ Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Servicio Geológico Minero (SEGEMAR), Argentina

⁷ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN-UBA), Argentina

E-mail: m.re@ina.gob.ar

Introducción

El monitoreo integral de las variables costeras marítimas en la Argentina resulta muy dificultoso, tanto por la extensión del litoral como por la disponibilidad de recursos para su desarrollo. Con el objetivo de aportar nuevas observaciones e involucrar a la comunidad en el proceso de conocimiento científico (y toma de decisiones), se conformó un equipo de trabajo, integrado por investigadores de diferentes instituciones científicas y por agentes de dependencias provinciales y municipales vinculadas a la gestión costera, para llevar a cabo una iniciativa basada en el aporte de datos desde la comunidad. De esta manera, se decidió sumarse al proyecto *CoastSnap* (Harley y Kinsela, 2022) que es un programa global de monitoreo comunitario de playas en más de treinta países.

Estaciones de monitoreo

Se presenta la experiencia argentina en la que se monitorea la dinámica de playas en tres sitios de la costa de la provincia de Buenos Aires (Figura 1): playa Verde Mundo (Mar del Plata), Escollera Sur (Necochea) y Bajada De las Artes (Pinamar).

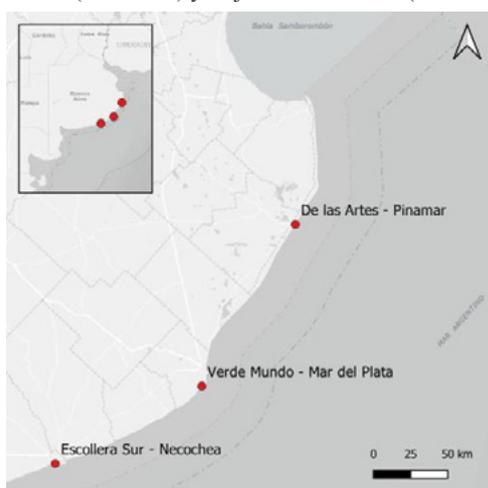


Figura 1.- Sitios de monitoreo en Argentina.

La estación CoastSnap consiste en la instalación de una estructura donde se puede colocar y fijar un dispositivo móvil que permita una toma fotográfica de la playa de interés siempre desde el mismo punto, es decir, manteniendo ubicación, altura, orientación y ángulo (Figura 2). Por estos puntos pasan colaboradores espontáneos que fotografían la misma playa en diversas fechas y horarios, y envían su toma a este grupo de trabajo a través de correo electrónico, redes sociales o aplicaciones de mensajería.



Figura 2.- Primera estación de monitoreo comunitario de playas CoastSnap, instalada en la playa Verde Mundo, Mar del Plata.

Las imágenes tomadas por la comunidad (Figura 3) son geo-rectificadas, es decir, se realiza un proceso de transformación geométrica de sus píxeles resultando en una imagen similar a una fotografía aérea con coordenadas reales. A partir de este nuevo dato, se puede mapear con cierta precisión aspectos relevantes de la costa y estudiar su evolución en el tiempo. La acumulación de registros fotográficos de diferentes momentos del perfil de playa genera una base de datos que se utiliza para estimar cambios morfológicos y analizar la dinámica de la línea de costa.



Figura 3.- Imágenes tomadas en cada estación: VM (Verde Mundo, Mar del Plata), NE (Escollera Sur, Necochea) y AR (Bajada de las Artes, Pinamar)

Recepción de reportes

Desde 2021 se desarrolla este programa como CoastSnap Argentina y ya cuenta con unos 319 registros. El material colectado muestra situaciones de bajamar y pleamar, impactos de tormentas y cambios morfológicos (acreción y erosión). Verde Mundo y Escollera Sur fueron las primeras estaciones instaladas y cuentan con un volumen de información suficiente para cuantificar la dinámica de la línea de costa (Tabla 1).

Tabla 1.- Resumen de reportes

Estación	Instalación	Cantidad	Promedio
Verde Mundo	24/1/2021	86	1 cada 9.4 días
Escollera Sur	20/4/2021	221	1 cada 3.3 días
De las Artes	2/1/2023	12	1 cada 8.6 días

En la Figura 4 se presenta la temporalidad de la recepción de reportes. Se observa que la implementación de la vía de comunicación por *Whatsapp* favoreció la participación comunitaria. De estos resultados surge la importancia de la temporada turística de verano (15/dic a 15 mar) en la recepción de imágenes y que la diversificación de canales de comunicación por redes sociales no necesariamente generó más reportes.

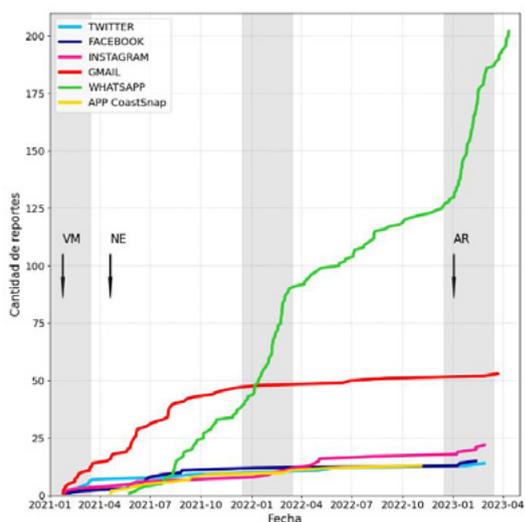


Figura 4.- Evolución de la recepción de reportes según medio de comunicación. Sombreado: turismo de verano.

Georreferenciación

Para rectificar las imágenes recibidas es preciso medir puntos de control en cada sitio con GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Para ello se debieron identificar potenciales Puntos Fijos en cada estación y luego realizar una campaña de medición.



Figura 5.- Puntos de control para rectificación de imágenes de la estación Verde Mundo (Mar del Plata).

En la Figura 5 se observan los puntos de control de la estación Verde Mundo. La correcta ubicación de los puntos de control en la imagen, durante el proceso de rectificación, es muy importante para obtener una línea de costa de buena precisión.

Resultados

De modo ilustrativo se presenta la dinámica obtenida para la playa Verde Mundo. A partir de la extracción automática de la línea de costa (Harley et al., 2019) se realizaron transectas cada 5 m a lo largo de los 600 m de costa con el fin de analizar su evolución. Su posición fue corregida (Harley et al., 2019) con los datos del mareógrafo de Mar del Plata, teniendo en cuenta una pendiente invariable medida in situ. La tendencia calculada en el ancho de playa (AP) en 8 meses de monitoreo en Verde Mundo (enero-agosto 2021) indicó una erosión de -1.23 m/año.



Figura 6.- Ejemplo del cambio de línea de costa en los 8 meses (enero-agosto 2021) de registro en Verde Mundo, Mar del Plata.

Conclusiones

La herramienta de monitoreo presentada no solo ofrece una caracterización precisa de la evolución de las dimensiones de una playa, sino también permite involucrar a la comunidad en la comprensión de su dinámica y en su gestión. La infraestructura sencilla que propone *CoastSnap* favorece la participación y su mantenimiento resulta relativamente acotado, salvo ante la ocurrencia de situaciones de vandalismo y desmoronamiento.

Se obtuvo una buena respuesta en la recepción de reportes que en promedio general alcanza a una foto por semana por playa. Este nivel de participación podría mejorarse, pero requeriría de una acción permanente en redes sociales con una estrategia específica de la comunicación de la actividad y sus resultados.

Las imágenes recibidas permitieron detectar varias instancias de los perfiles de playa. En este trabajo se calculó la modificación de la línea de costa de Verde Mundo durante 8 meses mostrando un proceso erosivo. Por lo tanto, esta estrategia de monitoreo permite seguir la evolución de playas y visibiliza la necesidad de una gestión adecuada.

Referencias

Harley, M.D., Kinsela, M.A. (2022). CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines, *Continental Shelf Research*, 245, August, 104796.

Harley, M.D., Kinsela, M.A., Sánchez-García, E., Vos, K., (2019). Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering*, 150, 175–189.

RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE PROFUNDIDADES DETERMINANTES EN PASOS CRÍTICOS DEL RÍO PARANÁ.

Marina Sarti¹, Martín Sabarots Gerbec¹, Mariano Re¹, Pablo García¹ y Santiago Guizzardi¹

¹ Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina.
E-mail de autores: masarti@fi.uba.ar, msabger@gmail.com, m.re@ina.gov.ar, pabloegarcia@gmail.com, santiagoguizzardi@gmail.com

Introducción.

A lo largo del río Paraná, desde la confluencia con el río Paraguay hasta su desembocadura en el Río de la Plata, se encuentran aproximadamente 150 pasos que debido a su profundidad resultan críticos para la navegación. La Administración General de Puertos (AGP) emite diariamente las profundidades determinantes en cada uno de estos pasos, y esta información es utilizada por los buques que navegan en la Vía Navegable Troncal (VNT).

Se realizó un trabajo de recopilación y procesamiento de estos datos, que se publican a diario en la página de la AGP en formato PDF y comprenden desde 2017 hasta la actualidad. El objetivo del trabajo es comprender la evolución de las profundidades históricas e identificar los tramos más críticos a partir de la sistematización de información disponible.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de demostración de transporte fluvial del Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA), una institución virtual del Centro Regional del Clima para el sur de América del Sur (CRC-SAS). El objetivo principal del proyecto demostrativo es realizar un pronóstico de profundidades en el río Paraná a corto plazo, a través de un modelo hidrodinámico unidimensional. Este trabajo resulta de interés para el proyecto porque sirve para caracterizar el sistema que se va a simular.

Metodología.

Las planillas informan los siguientes datos:

- La *profundidad al cero*, que es la cota de fondo del paso, junto con la fecha del relevamiento batimétrico en el que se midió dicha cota.
- La *altura hidrométrica* en el paso, que obtienen interpolando las mediciones de los hidrómetros más cercanos aguas arriba y aguas abajo del paso.
- La *profundidad efectiva*, que es la diferencia entre ambas. Además se informa si hay una draga operativa o presente en el paso, si hubo cambios de traza, varaduras, entre otros.

La información de los 6 años analizados se encuentra en 4840 planillas. Cada día se emiten 3 planillas: una del tramo superior (Confluencia – Esquina), una del tramo medio (Esquina – Santa Fe) y una del tramo inferior (Santa Fe – Océano). De este último tramo, desde el km 276 (San Pedro aprox.) hacia aguas abajo se informa únicamente la cota de fondo. De estas planillas se tomó en cada paso lo informado cada día, y con esto se conformó una base de datos, de la que se puede extraer las series de las 3 variables y también las fechas en las que hubo una draga operando. Se tomaron en consideración 144 pasos, de los cuales 45 pertenecen al tramo superior, 29 pertenecen al tramo medio y 70 al tramo inferior.

En la Figura 1 se presentan estas series como ejemplo para el paso Abajo Alvear, cerca de Rosario. Allí se ve cómo la altura hidrométrica tiende a disminuir a partir del 2020 debido a la bajante. Además, se ve cómo la cota de fondo se mantuvo más baja desde ese año, acompañando la disminución de nivel. En las planillas se informa la cota de la última batimetría realizada, asumiendo que la misma permanece constante hasta el siguiente relevamiento. Por esto la cota de fondo ('profundidad al cero')

toma valores escalonados. Se cuenta con este gráfico para cualquiera de los pasos analizados.

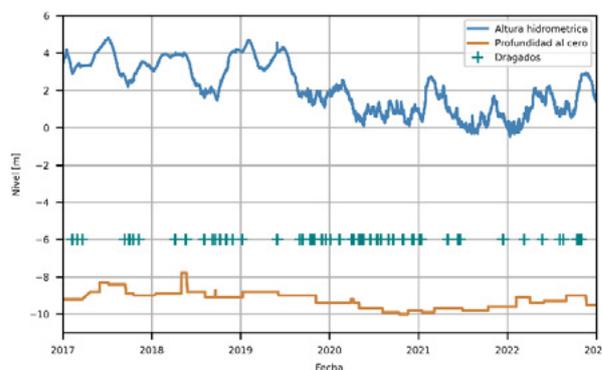


Figura 1.- Paso Abajo Alvear (km 398,4 a km 400,4)

Procesamiento y resultados.

Utilizando los datos extraídos se calculó la profundidad efectiva media para cada paso y los percentiles 25 y 75. También se hizo una cuantificación del dragado realizado en cada paso, contabilizando la cantidad de días en los que se informa que hay una draga operativa en el paso. Esto se realizó para 111 pasos desde Confluencia hasta San Pedro, ya que no se cuenta con profundidades efectivas aguas abajo de este punto.

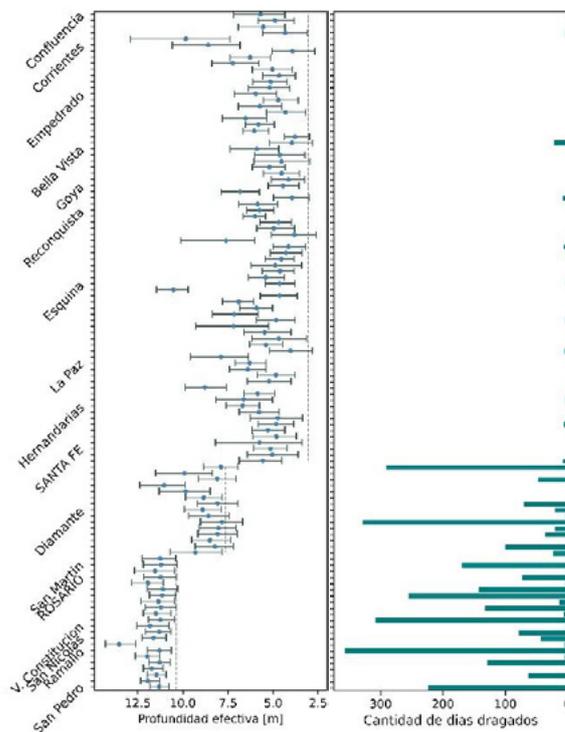


Figura 2.- Profundidades efectivas y cantidad de días dragados por paso.

En la Figura 2 se muestran los resultados para todos los pasos. Se observan 3 tramos con distintas profundidades: en el primer tramo, desde Confluencia hasta Paraná / Santa Fe, las profundidades de los pasos están alrededor de 5.6 metros (18.2

pies) y los percentiles se apartan bastante del valor medio. En esta zona casi no se contabilizan dragados. El segundo tramo va desde Paraná / Santa Fe hasta el paso Ep. Bella Vista / Abajo Correntoso, cerca de Rosario. Tiene profundidades de alrededor de 8.75 metros (28.7 pies), y solo hay 2 pasos donde se registró una cantidad de días de dragado sustancialmente mayor que en el resto del tramo (Tragadero y Tacuaní). El tercer tramo abarca la ruta de ultramar, tiene medias de alrededor de 11.5 metros de profundidad (37.7 pies), presenta poca variabilidad, y cuenta con varios pasos que muestran mucha actividad de dragado. En el gráfico también se visualiza en línea punteada los calados requeridos en cada tramo (10, 27 y 35 pies).

Por otro lado, se estimaron tendencias de sedimentación en cada paso, considerando los aumentos de cota de fondo a lo largo del tiempo. Para esto, de las cotas de fondo informadas en todo el período, se extrajeron los casos en los que se registra un aumento de cota, guardando el valor de incremento y las fechas de cada relevamiento. Se desestimaron los casos en los que se indica que hubo cambios de traza o de kilometraje del paso, o bien los casos en los que parece haber algún error. Después de hacer este filtrado quedan alrededor de 6 datos de variación de la cota de fondo para los tramos superior y medio y alrededor de 10 para el tramo inferior, que se muestran en la Figura 3.

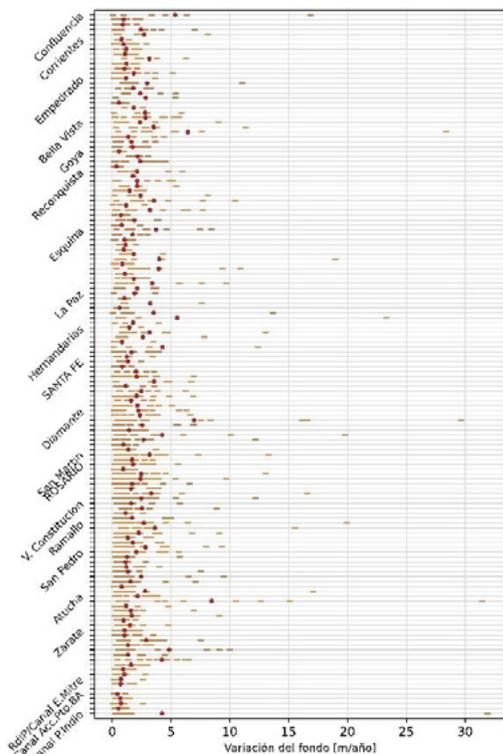


Figura 3.- Aumento en la cota de fondo.

La Figura 3 muestra valores de sedimentación por unidad de tiempo en cada paso, calculadas como diferencias de cotas relevadas sobre los días transcurridos entre los relevamientos. Las líneas horizontales son las variaciones relevadas en cada paso mientras que los puntos son los valores medios por paso. Éstos van de 0.4 m/año a 7 m/año y tienen un promedio de 2.2 m/año. No hay tramos diferenciados de valores medios en la hidrovía. Los pasos con más sedimentación son: Tacuaní (cerca de Diamante), Ev. Las Limas / El Pelado (cerca de Atucha) y Canal Punta Indio (km 154.6), con valores máximos que están alrededor de 30 m/año. En general hay bastante diferencia de sedimentación medida dentro de un mismo paso.

Otro dato de interés es que, considerando la cantidad de datos de cotas que se extrajeron en cada paso y la cantidad de años considerados, en el tramo inferior se hacen en promedio alrededor de 2 relevamientos batimétricos por año en los pasos

de los tramos superior y medio, y 4 relevamientos batimétricos por año en los pasos del tramo inferior.

Por otra parte se geolocalizaron los pasos, ubicándolos en el kilómetro más crítico de su longitud. De esta forma se puede visualizar cualquier dato asociado a los pasos en el mapa. En la Figura 4 se observan: profundidades efectivas medias por paso y cantidad de días dragados por paso.

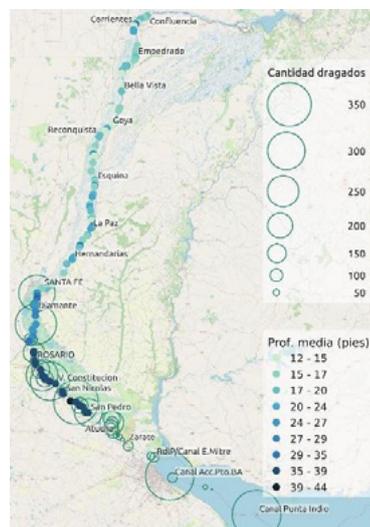


Figura 4.- Profundidades efectivas medias en cada paso (puntos llenos) y pasos con más días dragados (tamaño según cantidad).

Conclusiones.

Los datos extraídos pueden resultar de utilidad para caracterizar la dinámica hidrosedimentológica de cualquiera de los pasos críticos de la VNT.

Las tasas de sedimentación observadas en cada paso proporcionan información sobre cuál es la incerteza respecto a la cota de fondo informada, que se utiliza para calcular las profundidades efectivas que se usan en la gestión de la VNT. Los valores de estas tasas de sedimentación están, en promedio, alrededor de los 2.2 m/año, y en muchos pasos presentan mucha variación.

Además, estos datos permiten visualizar qué tramos de la VNT requieren mayor mantenimiento para conservar la profundidad requerida: se puede ver que el tramo Santa Fe - Océano, que mantiene sus tramos con un calado de 25 pies (tramo Santa Fe - San Martín) y 34 pies (tramo San Martín - Océano), muestra mucha más actividad de dragado que el tramo Confluencia - Santa Fe.

Por otro lado, los datos proporcionan información sobre frecuencias de relevamientos batimétricos y de dragados en cada paso.

Agradecimientos.

El proyecto demostrativo de SISSA permitió contactarse con distintos organismos públicos y privados, así como asociaciones que trabajan en el sector de navegación, entre ellos, la Asociación Argentina de Ingeniería Portuaria (AADIP / PIANC), que facilitó parte de los datos utilizados en este trabajo.

Referencias.

Página Web de la Administración General de Puertos:
<https://www.argentina.gob.ar/transporte/administracion-general-puertos-se>

EROSIÓN GENERAL EN CRECIDAS. CONCEPTOS GENERALES, ESTIMACIÓN Y ESTUDIOS DE CASOS

Spalletti, Pablo D.

Instituto Nacional del Agua, Argentina
pspalletti@ina.gov.ar

Conceptos Generales

El pasaje de avenidas en ríos puede estar acompañado por un descenso generalizado del lecho en un tramo de gran longitud, de carácter transitorio, que se define como erosión general del cauce en crecidas.

En los cauces naturales que presentan altas tasas de transporte de sedimentos y de materiales flotantes durante las crecidas, los registros batimétricos en aguas altas con el lecho profundizado por los procesos de erosión general son de difícil ejecución, y los relevamientos disponibles suelen corresponder con aguas bajas.

Cuando se requiere conocer el comportamiento hidráulico de esos ríos en aguas altas, las secciones relevadas en estiaje difieren sustancialmente de las que se desarrollan en las crecidas y debe procederse a aplicar metodologías que permitan su estimación interpretando los procesos morfológicos asociados a la erosión general, ya que trabajar con una adecuada caracterización del cauce es de fundamental importancia, no sólo para el diseño y dimensionamiento de obras de infraestructura y protección en los cauces fluviales, sino para la propia interpretación y descripción de su funcionamiento hidráulico (Spalletti et al., 2014).

La erosión general se desarrolla como consecuencia del desequilibrio entre la capacidad de arrastre, que es función del caudal en una determinada sección, y los sedimentos aportados desde aguas arriba que interactúan con el lecho (Martín Vide, 2003). En ríos con gran transporte de sedimentos, con una cuenca alta que concentra los aportes sólidos al sistema y un tramo inferior de gran longitud, la velocidad de desplazamiento de la onda de caudal sólido, por el propio mecanismo de transporte, es menor a la celeridad de la onda de crecida. Ello implica que se presente un desfase entre el hidrograma y el sedimentograma, tal como en forma esquemática, se muestra en la Figura 1.

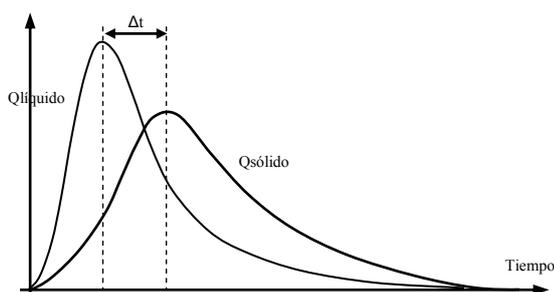


Figura 1.- Desfase del hidrograma y el sedimentograma

El desfase entre caudales líquidos y sólidos explica el progreso de la erosión al inicio de la crecida por el déficit en el aporte de sedimentos, y la recuperación posterior de los niveles del lecho por sedimentación, debido al exceso de sólidos respecto a la capacidad de transporte. Por ello, los procesos morfológicos asociados con la erosión general en crecidas dependen de cada río, de su cuenca de aporte y de la localización del tramo donde quiera efectuarse el análisis.

De acuerdo con Maza-Álvarez (2004), cuando la erosión general del cauce frente a crecidas llega a un estado de equilibrio, el volumen de partículas que es puesto en suspensión

es igual al volumen de partículas que se sedimentan. La velocidad de equilibrio (V_e) se define como aquella que mantiene ese transporte generalizado en el lecho y es superior a la velocidad crítica de inicio de movimiento de las partículas del fondo.

Estimación de la Erosión General en Crecidas

La erosión general en crecidas suele estimarse a partir de la hipótesis de considerar un caudal unitario en una franja vertical, calculando cuánto se incrementa el tirante al igualar la velocidad media del flujo con el cauce erosionado y la velocidad de equilibrio (V_e).

Numerosos investigadores han realizado esfuerzos para definir velocidades de equilibrio, ya sea mediante criterios teóricos o relaciones empíricas (Maza Álvarez, 2000; Maza Álvarez, 2004; Farías et al., 2008).

En general las formulaciones para la estimación de V_e pueden representarse mediante una ecuación de la forma:

$$V_e = c_1 \cdot d^c \cdot h^c \quad [1]$$

con h : tirante y d : diámetro característico del material del lecho. Para algunas de las expresiones más utilizadas (Farías et al., 2008), los valores de c_1 , c_2 y c_3 son los indicados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Coeficientes para la estimación de V_e por diversos autores

Fórmula	c_1	c_2	c_3
Maza Álvarez y Echavarría	3.62	0.20	0.275
Lischtvan-Lebediev	4.7	0.28	0.41
Farías	4.5	0.286	0.429

Sin embargo, cada río es un caso particular, y la generalización de formulaciones para la estimación de los procesos de erosión general en crecidas no es posible, porque el fenómeno es función de las características geométricas del cauce, del tramo de río analizado, de los sólidos transportados, de la conformación del lecho, y de las condiciones hidrológicas, de generación y de transporte de sedimentos en la cuenca de aporte.

Asimismo, durante el pasaje de las avenidas y acompañando a los procesos morfológicos, hay una redistribución de los caudales en la transversal al escurrimiento, con una tendencia a que los cauces en los tramos rectos desarrollen secciones con tirantes relativamente uniformes, sin grandes variaciones de la profundidad en la dirección normal al flujo principal.

Por ello, la técnica correcta para la estimación de la erosión general en crecidas consiste en determinar la velocidad de equilibrio V_e a partir de los registros disponibles en el propio río en condiciones de crecida y no a partir de expresiones prácticas, e implementar modelos matemáticos o herramientas de cálculo que permitan describir adecuadamente el desarrollo de los procesos morfológicos (Zómbori et al., 2022).

En Argentina, los tramos inferiores de los ríos Bermejo y Pilcomayo presentan significativos procesos de erosión general del cauce durante el pasaje de crecidas, cuyo estudio requiere evaluar aspectos propios de cada sistema de drenaje. Presentan altas tasas de transporte de sedimentos que en su mayor parte escurren como carga de lavado, pero una cierta porción del material es arena fina, que interactúa con el lecho y condiciona

los procesos morfológicos.

Caso del Río Bermejo

En la estación de aforos de El Colorado, sobre el río Bermejo inferior, se recopilaron los registros completos efectuados durante casi 10 años, de las mediciones de profundidades y velocidades medias en las verticales de la sección transversal (Spalletti et al., 2015). El diámetro característico del material del lecho en las crecidas es del orden de los 85µm (Brea et al., 2010).

En la Figura 2 se muestra cómo varían las velocidades medias en la vertical, máximas de cada aforo, en función del caudal (en gris). Puede apreciarse que con caudales altos estas velocidades superan 2 m/s y en general rondan 2,4 m/s.

Operando con los máximos tirantes de cada aforo, y utilizando los coeficientes de la Tabla 1, se calcularon los valores de las velocidades de equilibrio (V_e) para las ecuaciones de Lischvan-Lebediev (azul), Maza Álvarez y Echavarría (naranja), y Farías (verde). Los resultados también se han volcado en la Figura 2.

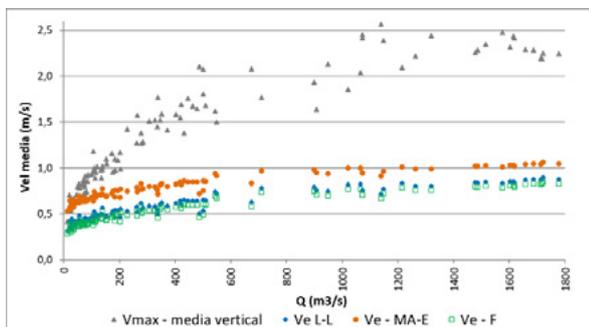


Figura 2.- Velocidades de equilibrio en función del caudal. El Colorado, río Bermejo

Se aprecia que las velocidades de equilibrio son en general menores a 1 m/s, muy inferiores a las registradas en la sección de medición durante las crecidas, con el lecho profundizado.

Caso del Río Pilcomayo

En la estación de aforo de Misión La Paz, sobre el río Pilcomayo inferior, se cuenta con valiosa información de caudales, niveles líquidos, velocidades y secciones transversales, aportados por la Comisión Trinacional para el desarrollo de la Cuenca del río Pilcomayo (Spalletti et al., 2014). En la Figura 3 se muestran en función del caudal las velocidades medias en la vertical, máximas de cada aforo, para 778 mediciones de caudal ejecutadas en 10 años hidrológicos (septiembre de 2003 a agosto de 2013).

Las velocidades de equilibrio que también se presentan en la Figura 3 se estimaron con las expresiones de Lischvan-Lebediev, Maza Álvarez y Echavarría, y Farías, utilizando los coeficientes de la Tabla 1 en la ecuación [1], considerando los máximos tirantes de cada aforo y una arena de 125 µm de diámetro característico como material del lecho.

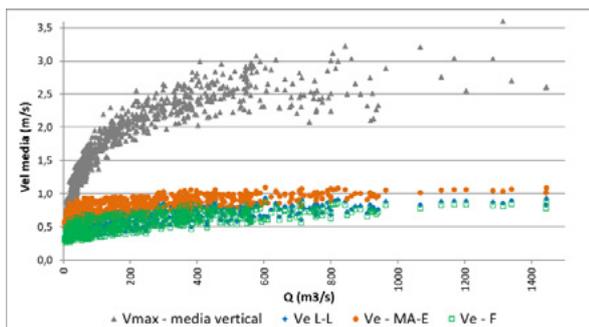


Figura 3.- Velocidades de equilibrio en función del caudal. Misión La Paz, río Pilcomayo

En la Figura 3 se aprecia que las velocidades de equilibrio calculadas con las diversas fórmulas son en general inferiores o del orden de 1 m/s, mientras que los registros de velocidades son varias veces superiores, con valores incluso mayores a 3 m/s.

Conclusiones

En ríos donde los aspectos morfológicos son determinantes de su funcionamiento hidrodinámico, no puede obviarse el análisis de los procesos de erosión general en crecidas en los estudios.

En el presente trabajo se ha efectuado una revisión de los conceptos básicos de los procesos de erosión general en crecidas, de las formulaciones que habitualmente se emplean para su estimación, y de las técnicas correctas para su predicción, presentándose estudios de casos que muestran cómo proceder en situaciones donde es necesaria una buena caracterización del comportamiento hidráulico y morfológico del río.

Cada río es un caso particular y las expresiones disponibles en la bibliografía para la valoración de velocidades de equilibrio no son adecuadas para describir correctamente los procesos. Para estimar la erosión general en crecidas debe determinarse la velocidad de equilibrio V_e a partir de los registros del propio río en condiciones de crecida y no a partir de expresiones prácticas.

En los casos de los ríos Bermejo y Pilcomayo en sus tramos inferiores, las fórmulas de predicción subestiman considerablemente las velocidades de equilibrio en crecidas y por ello llevan a una sobreestimación de las erosiones, que no se conciden con las mediciones en campo.

Durante el pasaje de las crecidas, y acompañando los procesos morfológicos, hay una redistribución de caudales en la sección que tienden a uniformizar los tirantes en la transversal.

Los procesos de erosión general y el comportamiento hidráulico para esa conformación del cauce, puede evaluarse mediante la implementación de modelos matemáticos bidimensionales en los que la configuración geométrica del lecho se readece progresivamente mediante iteraciones. Para ello, se limitan las velocidades del escurrimiento en el dominio de cálculo con la velocidad de equilibrio V_e determinada a partir de los registros en el propio río. Este tipo de análisis se ha llevado a cabo en tramos inferiores de los ríos Bermejo y Pilcomayo, con muy buenos resultados (Zómbori et al., 2022; Spalletti et al., 2014).

Referencias Bibliográficas

Brea, J.D., Spalletti, P. (2010). *Generación y Transporte de Sedimentos en la Cuenca Binacional del Río Bermejo*. COBINABE.

Fariás, H.D., Pilán, M.T., Olmos, L.A., Pesce, F.J. (2008). "Erosión General en Ríos Aluviales". *Ingeniería del Agua*, Vol.15, N°2. Junio de 2008.

Martín Vide, J.P. (2003). *Ingeniería Fluvial*. Edicions UPC, Barcelona, España. Segunda edición, junio de 2003.

Maza Álvarez, J.A. (2000). "Erosión General en Cauces de Material Granular". *XIX Congr. Lat. de Hidr.*, Córdoba, Argentina.

Maza Álvarez, J.A. (2004). "Velocidad Media de Inicio de Erosión en Pilas, Velocidad Media Crítica de Arrastre, y Velocidad Media de Equilibrio en Erosión de Avenidas". *XXI Congr. Lat. de Hidr.*, Brasil.

Spalletti, P., Irigoyen, M., Brea, J.D. (2014). "Erosión General en Crecidas en Ríos de Llanura—Caso del Río Pilcomayo". *XXV Congr. Lat. de Hidr.*, Santiago, Chile.

Spalletti, P., Irigoyen, M., Brea, J.D. (2015). "Erosión General en Crecidas en Tramos Inferiores de los Ríos Pilcomayo y Bermejo". *7º Simp. Regional sobre Hidráulica de Ríos, Montevideo, Uruguay*.

Zómbori, M., Spalletti, P., Brea, F.J. (2022). "Criterio para la Modelación de Ríos con Altas Cargas de Sedimentos Suspendidos en Condiciones de Crecida". *XXX Congr. Lat. de Hidr.*, Foz de Iguazú, Brasil.

EVALUACIÓN DEL RIESGO COSTERO E IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL FRENTE MARÍTIMO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

N. Tomazin, F. Haspert, M. Re, P. García y L. Bindelli

Instituto Nacional del Agua – LH-INA, Ezeiza, Argentina
ntomazin@ina.gov.ar, fhaspert@ina.gov.ar, mre@ina.gov.ar, pegarcia@ina.gov.ar, lucasbindelli@gmail.com

Introducción

La costa marítima de la Provincia de Buenos Aires presenta gran diversidad de playas a lo largo de sus 600 km, con diferentes regímenes de oleaje, mareas, y con composiciones granulométricas y morfológicas variables. Entre San Clemente, al NE, y Pehuén-Co, al SO, se concentran más de 30 localidades balnearias que pertenecen a 12 partidos de la provincia. Los municipios presentan importantes diferencias en cuanto a cantidad de población y actividades económicas. Principalmente se destacan actividades asociadas al turismo y actividades comerciales vinculadas al movimiento de los puertos.

Esta región litoral se ve afectada por numerosos problemas ambientales y climáticos, principalmente debidos a la erosión costera. Las actividades antrópicas como la construcción de defensas costeras, el crecimiento urbano sobre estructuras medianosas, la extracción de arena y la explotación de acuíferos sin un apropiado manejo han agravado los procesos erosivos y acrecentado la vulnerabilidad frente al Cambio Climático.

La constante acción del oleaje y el impacto de los eventos de tormenta severos (Sudestadas) son los responsables primarios de la dinámica erosiva de la costa bonaerense.

En este contexto, se plantea la preocupación por parte de las autoridades provinciales respecto de la vulnerabilidad de la costa ante las distintas amenazas que afectarían su dinámica en el marco del Cambio Climático.

Este trabajo presenta los resultados de una evaluación del riesgo costero que se realizó identificando la amenaza por medio del impacto generado por eventos de temporal, caracterizados por una importante sobre elevación del nivel del mar, asociado a la marea meteorológica, junto con alturas elevadas del oleaje. El impacto de estos eventos fue cuantificado en términos de cota máxima de inundación y erosión sobre el perfil de costa para un número significativo de sitios de estudio distribuidos a lo largo de toda la franja costera bonaerense.

A este análisis se le suman los efectos de la sobre-elevación del nivel medio del mar proyectada por modelos numéricos que plantean escenarios futuros para diferentes horizontes (año 2045 y año 2100).

Metodología para la evaluación del riesgo

El principal objetivo de este análisis consistió en estimar los impactos del oleaje y niveles extremos de marea evaluando los procesos de erosión e inundación que pueden desarrollarse en cada ubicación de estudio para diferentes escenarios. Sobre la base de esta idea se desarrollan las siguientes etapas:

- Cuantificación de la peligrosidad. Consiste en la identificación de escenarios de análisis definidos a partir de la relación entre las variables Altura significativa del oleaje (Hs) y Niveles de Marea (N), y sus correspondientes períodos de retorno (Tr).
- Evaluación del impacto de los peligros (amenazas) costeros, a fin de cuantificar sus efectos en términos de altura de inundación de la playa y erosión costera.
- Identificación de un índice de riesgo costero relativo, incluyendo información sobre los efectos de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Posteriormente, se evalúa el riesgo costero relativo

considerando diferentes períodos de retorno que caracterizan el nivel de la amenaza.

La caracterización del riesgo costero se basó en la combinación de la peligrosidad y la vulnerabilidad, la cual incluye el concepto de exposición. Para cada componente se desarrolló un índice compuesto por indicadores considerados determinantes para analizar las particularidades de la amenaza y las características sociales y económicas de la población expuesta a la misma.

El *Índice de peligrosidad* está compuesto por dos indicadores que representan la erosión potencial de la playa frente a una amenaza (temporales) y la cota de inundación asociada a los fenómenos de sobre elevación del nivel de agua por efectos meteorológicos y por la acción de las olas (marea meteorológica, set-up del oleaje, run-up, y eventualmente sobrepaso). Ambos indicadores se promedian para obtener el *Índice de Peligrosidad* mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de Peligrosidad: } IP = (i \text{ inundación} + i \text{ erosión}) / 2$$

Para obtener el valor del índice se establecieron intervalos equivalentes asignados a una escala del 1 al 5, yendo de muy baja a muy alta peligrosidad. Siendo: 1: muy baja peligrosidad, 2: baja peligrosidad, 3: moderada peligrosidad, 4: alta peligrosidad, y 5: muy alta peligrosidad.

La Tabla 1 indica los rangos de magnitud de las variables consideradas para la evaluación de la peligrosidad asociada a los eventos de tormentas, representados por el nivel que puede alcanzar el agua por debajo de la cota máxima del perfil de playa (*Índice de inundación*), y el volumen por metro lineal de la playa removido durante un temporal (*Índice de erosión*).

Para estimar los niveles de inundación y los volúmenes de playa erosionados por la ocurrencia de los diferentes temporales, se utilizaron expresiones disponibles en el paquete de aplicaciones SimpleCoast (Giardino, A. et al., 2017).

Tabla 1. Categorización de las componentes del Índice de Peligrosidad.

Peligrosidad	Índice de inundación		Índice de erosión	
	Valor	Altura de agua debajo de cota máx. (m)	Valor	Volumen erosionado (m ³ /m)
Muy bajo	1	> 2	1	0 - 20
Bajo	2	2 - 1	2	20 - 40
Moderado	3	1 - 0.5	3	40 - 60
Alto	4	0.5 - 0	4	60 - 80
Muy alto	5	< 0	5	80 - 100

El *Índice de vulnerabilidad* utilizado para este estudio surge del análisis de los resultados obtenidos en dos trabajos específicos vinculados a esta temática. Asumiendo la misma escala adoptada para cuantificar la *Peligrosidad*, la Tabla 2 muestra una comparación entre valores de *Índice de Vulnerabilidad* obtenidos por ambos trabajos para los distintos municipios costeros de la provincia de Buenos Aires.

En esta aplicación se decidió utilizar el conjunto de valores presentados por Natenzon y Seattone Passe (2015), dado que se trata de índices que permiten realizar las estimaciones sobre un escenario más desfavorable (considerando mayor vulnerabilidad), y porque han sido construidos sobre la base de información estadística más reciente.

Tabla 2. Comparación de valores para el Índice de Vulnerabilidad por Municipio.

Municipio	Índice de vulnerabilidad (V)	
	Merlotto et al. (2017)	Natenzon y Seattone Passe (2015)
La Costa	3 (moderada)	4 (alta)
Pinamar	2 (baja)	3 (moderada)
Villa Gesell	2 (baja)	3 (moderada)
Mar Chiquita	4 (alta)	3 (moderada)
Gral. Pueyrredón	3 (moderada)	4 (alta)
Gral. Alvarado	3 (moderada)	3 (moderada)
Lobería	---	3 (moderada)
Necochea	2 (baja)	3 (moderada)
San Cayetano	1 (muy baja)	2 (baja)
Tres Arroyos	1 (muy baja)	3 (moderada)
Coronel Dorrego	1 (muy baja)	2 (baja)
Monte Hermoso	2 (baja)	2 (baja)
Coronel Rosales	1 (muy baja)	3 (moderada)

En base a estas clasificaciones, finalmente, el índice de riesgo costero se computa como:

Índice de Riesgo: $IR = \text{Índice de peligrosidad (IP)} \times \text{Índice de vulnerabilidad (IV)}$

En la Tabla 3 se presenta la escala de riesgo costero.

Tabla 3. Escala de riesgo costero.

Rango del índice	Riesgo
0-5	Muy bajo
5-10	Bajo
10-15	Moderado
15-20	Alto
20-25	Muy alto

Resultados

El desarrollo completo del procedimiento de cálculo, junto con un análisis ampliado sobre los resultados se encuentra en el Informe INA-UdelaR, 2020d. A modo de síntesis, la Figura 1 muestra el Mapa de Riesgo Costero obtenido para las condiciones actuales en todo el frente marítimo bonaerense.

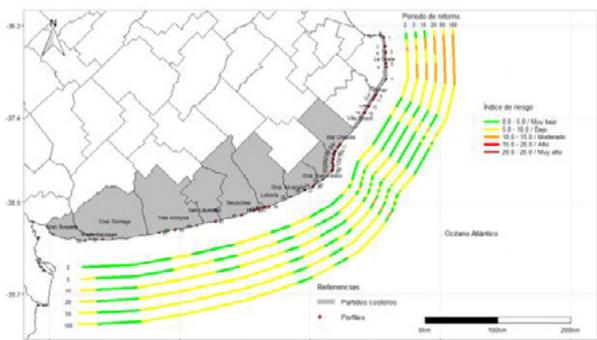


Figura 1. Índice de Riesgo (condiciones actuales)

Estos resultados señalan que la distribución del riesgo a lo largo de la franja costera marítima de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por el predominio de niveles bajo/muy bajo, que se incrementan levemente con el aumento del período de retorno considerado para la amenaza. El promedio de toda el área de estudio arroja un valor de índice de riesgo $IR < 5$ (muy bajo) para temporales de $Tr = 2$ años, y un valor de $5 < IR < 10$ (bajo) para el resto de los períodos de retorno considerados.

Las excepciones están dadas por el partido de La Costa, donde se observa en gran medida un valor de riesgo moderado, y los casos puntuales de Valeria del Mar y Luro (Mar del Plata), donde

también se observa un riesgo moderado para valores de Tr elevados.

En una segunda instancia, se evaluó el impacto potencial del cambio climático sobre las condiciones actuales, considerando las proyecciones de elevación del nivel medio del mar regional para dos escenarios climáticos destacados: RCP4.5, con elevación promedio entre 18 cm y 20 cm para el año 2045; y RCP8.5, con elevación promedio entre 66 cm y 72 cm para el año 2100. Los resultados del cálculo del Riesgo Costero para este último escenario son presentados en la Figura 2.

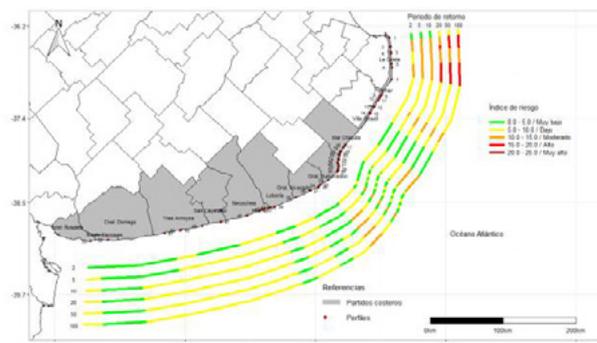


Figura 2. Índice de Riesgo futuro para horizonte 2100

Los resultados señalan que para el año 2045 el riesgo aumenta su valor promedio en un 3% para toda la costa bonaerense. En comparación con las condiciones actuales, los impactos más significativos se producen en La Costa (5.6%), Pinamar (8.3%), Villa Gesell (14.6%), y Gral. Pueyrredón (3.3%).

Para el horizonte 2100 se predicen incrementos significativos sobre los niveles de inundación a lo largo de la costa bonaerense, con un aumento promedio del 25.8%. Esto se traduce en un impacto relevante sobre las proyecciones del riesgo, elevando el valor promedio del índice en un 12% para toda la costa. Los incrementos más significativos se producen en La Costa (23.1%), Pinamar (30%), Villa Gesell (50%) y Gral. Pueyrredón (11.9%). Los casos puntuales más destacados resultan los de Las Toninas, Santa Teresita y Mar de Ajó; dónde la clasificación del riesgo muestra índices de tipo “alto” para eventos con período de retorno de 20 años en adelante.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este análisis permitieron confeccionar un Atlas de Riesgo Costero, tanto para las condiciones actuales del clima como para escenarios futuros que proyectan incrementos en el nivel medio del mar (NMM). Esto constituye una herramienta fundamental que permite a los tomadores de decisión dirigir políticas y medidas de mitigación y contención, asignando prioridades en aquellos lugares donde el riesgo es alto.

Referencias

Giardino, A.; van Rijn, L.; Quataert, E.; Warren, A.; Jeuken, A.; Nederhoff, K.; y Desramaut, N. (2017). SimpleCoast: Simple Assessments of Coastal Problems and Solutions. Proceedings of the Medcoast 17 Conference, 137-148, Malta.

INA-UdelaR, 2020d. Atlas de riesgo e impacto del cambio climático sobre la costa marítima de la provincia de Buenos Aires, Informe 5.1, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, abril.

Merlotto, A., Bértola, G., Isla, F., 2017. Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Universitaria de Geografía Vol. 26 (2).

Natenzon, C.E. y Seattone Passe, J (2015). Vulnerabilidad social, Amenaza y Riesgo frente al Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de La Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

“ANÁLISIS TEMPORAL DEL CAUDAL DEL RÍO PARAGUAY EN LA LOCALIDAD DE ASUNCIÓN DESDE 1931-2020 Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO)”.

Villalba, Rossana.¹, Ferral, Anabella.², Baéz, Julian.³, Kurita, Jorge.⁴, Bertoni, Juan Carlos.⁵

¹Doctoranda de Instituto Gulich, Docente Técnico Universidad Nacional de Asunción – Paraguay; ²Investigadora Asistente y Docente (IG-CONICET) - Instituto Gulich Centro Espacial Teófilo Tabanera, CONAE – Argentina; ³Docente Investigador Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Católica de Asunción – Paraguay; ⁴Docente Investigador - Universidad Nacional de Asunción – Paraguay; Presidente Instituto Nacional del Agua, INA. Docente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Argentina.

E-mail: rvillalba@pol.una.py, aferral@conae.gov.ar, julian_baez@uc.edu.py, gkurita@gmail.com, jcbertoni@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis temporal para identificar patrones climáticos que inciden en el comportamiento del caudal del Río Paraguay en la estación meteorológica de la ciudad de Asunción. Para ello se emplearon datos de nivel diario para el período 1931 hasta 2020 medidos por la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) y proporcionados por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) de la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay. Los resultados del análisis exploratorio de estadística clásica del nivel promedio de caudal permitieron identificar la distribución de los datos y la densidad de probabilidad y los estadísticos mensuales, estacionales y anuales. Se observó que el promedio mensual de caudal de la serie de tiempo, presenta un máximo en el mes de junio en el año 2020 igual a 10.6 m³/s en el año 2020 del mes de octubre y un mínimo en octubre en el año 1983 igual a 511.0 m³/s. Se determinó que el mes de mayor caudal promedio de la serie es junio mientras que el de menor caudal es octubre. Por otro lado, se aplicaron modelos estocásticos para identificar y evaluar la posibilidad de generar pronósticos de caudal con el modelo autoregresivo ARIMA con resultados poco satisfactorios, debido a que la serie no cumple con los supuestos necesarios para la implementación de estos modelos. Por último, se efectuó un análisis de Fourier para detectar períodos de alto y bajo caudal y se lograron identificar claramente frecuencias características o dominantes relacionadas a ciclos de 1, 30, 45, 90, 18, 22, 11, 8, 4.5, 3, 2 y 0.5 años. La aplicación de esta técnica permitió relacionar la ocurrencia de anomalías en los caudales, con ciclos hidroclicmáticas durante las dos fases del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) que se presentan en el sur de América tropical incluyendo Paraguay, entre otras.

Palabras claves: Río Paraguay, caudal, ARIMA, Fourier.

Introducción

El Río Paraguay es uno de los principales ríos de Sudamérica y es vital para la economía y el suministro de agua en la región. La cuenca hidrográfica del Río Paraguay abarca gran parte de Paraguay, así como partes de Brasil, Bolivia y Argentina. La ciudad de Asunción, la capital de Paraguay, se encuentra en la cuenca hidrográfica del Río Paraguay y depende en gran medida del caudal del río para su suministro de agua y energía hidroeléctrica [1]. El caudal del río está influenciado por múltiples factores, entre ellos las precipitaciones, la topografía, la vegetación y la temperatura. Uno de los factores más importantes que influyen en la pérdida del caudal del Río Paraguay es el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) [2]. ENSO es un fenómeno climático que afecta a gran parte del mundo y se produce cuando las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico tropical central y oriental fluctúan entre las fases cálida (El Niño) y fría (La Niña). Estas fluctuaciones pueden tener efectos significativos en el clima y los patrones de precipitación en muchas partes del mundo, incluyendo América del Sur [3]. Durante la fase cálida de ENSO (El Niño), se ha observado un aumento en las precipitaciones y un aumento en el caudal del río, mientras que

durante la fase fría de ENSO (La Niña), se ha observado una disminución en las precipitaciones y una disminución en el caudal del río [4]. El objetivo de este estudio es analizar la variabilidad temporal del caudal del Río Paraguay en la localidad de Asunción y su relación con ENSO durante el período de 1931-2020. Para lograr este objetivo, se utilizarán técnicas estadísticas y de análisis de series de tiempo para identificar patrones de variabilidad temporal y correlaciones con ENSO.

Metodología

La serie de tiempo que se utilizó en este estudio está constituida por el nivel promedio de caudal del río Paraguay, de 1931 hasta 2020 medidos por la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) o Terminal Portuaria, ubicada [-25.27566383794931, -57.643678405448654], (figura 1). Se utilizó el software libre RStudio, diseñado para hacer análisis estadísticos y gráficas [5]. Para la selección del modelo de mejor ajuste se utilizó la técnica estadística de Box y Jenkins, modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) [6], para descomponer la función en el dominio del tiempo en sus componentes de frecuencia se utilizó la transformada de Fourier [7] y para el estudio de patrones, tendencias y eventos anómalos en el caudal, se calculó las anomalías del nivel promedio de caudal estandarizado [8].

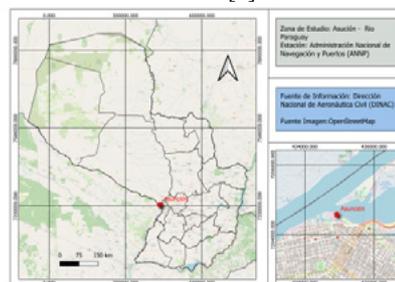


Figura 1.- Zona de Estudio, elaboración propia.

En primer lugar se procedió a completar los datos diarios faltantes mediante el método de interpolación lineal [9]. Para estimar valores intermedios dentro de un rango conocido para luego calcular el promedio mensual de la serie de tiempo. Luego se procedió a graficar la serie temporal univariada del nivel promedio de caudal, para visualizar el comportamiento temporal y cíclica, Figura 2. Para la identificación del modelo que mejor se ajusta y predecir, se utilizó la técnica estadística de Box y Jenkins, modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) [6]. Notación general: ARIMA(p,d,q), donde: p representa el orden del componente autoregresivo (AR). d representa el orden de diferenciación (I) necesario para obtener una serie de tiempo estacionaria. q representa el orden del componente de media móvil (MA). Este modelo debe satisfacer las siguientes condiciones: Estacionariedad de la serie (media constante e igual a cero, varianza constante y función de auto correlación constante a través del tiempo). Siguiendo la siguiente secuencia: identificación, estimación y verificación del modelo, y una vez verificado se procede al pronóstico o de lo contrario se rechaza el modelo. Dentro del análisis, se calculó las anomalías del nivel promedio de caudal estandarizado

mediante la fórmula [8]: $(\text{Valor Observado} - \text{Valor Medio}) / \text{Desviación Estándar}$, donde: Valor observado: es el valor real o medido del caudal en un período determinado. Valor Medio: es el promedio de los valores históricos del caudal en ese mismo período. Desviación estándar: es una medida de la conservación de los valores históricos caudales en ese mismo período. Que facilitó observar los patrones, tendencias y eventos anómalos en el caudal de un río. Un valor positivo indica que el caudal observado está por encima del promedio esperado en relación con la histórica, mientras que un valor negativo indica que el caudal observado está por debajo del promedio esperado en relación con la histórica [7]. Para descomponer una función en el dominio del tiempo en sus componentes de frecuencia, se aplicó la transformada de Fourier, que proporcionó una representación alternativa de una función en el dominio de la frecuencia, lo que permite analizar su contenido espectral. Matemáticamente se define como sigue: $F(\omega) = \int [f(t)\exp(-i\omega t)] dt$, donde $f(t)$ es la función original en el dominio del tiempo, $F(\omega)$ es su transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia, ω es la frecuencia angular, i es la unidad imaginaria [8].

Resultados

En la figura 2 se presenta la serie de tiempo original, en el cual se observa la aleatoriedad de los datos y una aparente tendencia en la media. En la figura 3, gráfico de la media móvil, se observan los ciclos que nos indica que los promedios mensuales varían mensualmente.

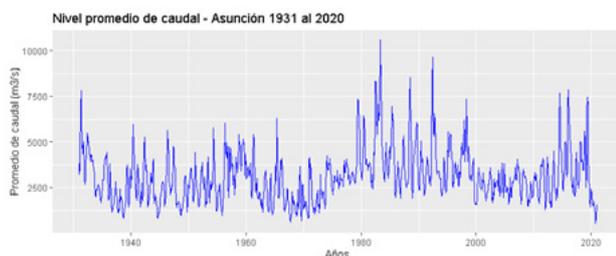


Figura 2.- Serie de tiempo del nivel promedio de caudal, 1931 - 2020 en la estación ANNP.

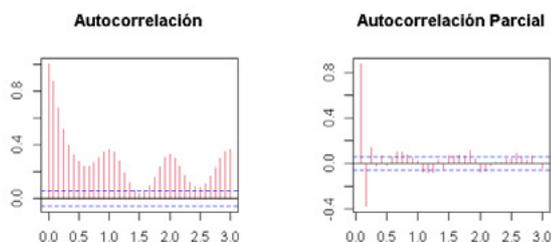


Figura 3.- Gráfico de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) de los datos originales.

Se determinó el test Dickey-Fuller = -8.5096, Lag order = 0, p-value = 0.01 < 0.05: por lo que se rechaza H_0 , la serie es estacionaria. En la figura 3, en el gráfico de autocorrelación (ACF) permitió identificar la existencia de tendencia subyacente, para remover la tendencia se transformó aplicando logaritmo natural con una diferenciación para homogeneizar la varianza. Con el comando `auto.arima` se estimó el siguiente modelo: `#ARIMA(0,0,1)(0,0,2)[12]` with zero mean `#AIC=-307.18 AICc=-307.15 BIC=-287.25`. El Test Ljung-Box para residuos $p\text{-value} < 2.2e16 < 0.05$. Con este resultado, se rechaza H_0 . Existe correlación serial, los residuos no son independientes, este modelo no es factible para la predicción o pronóstico. En la figura 4, resultados del análisis de las anomalías del nivel de caudal del río Paraguay, permitieron identificar patrones estacionales, tendencias y cambios en el nivel de caudal del río, tanto eventos de sequía prolongada (1963-1971) como inundaciones extremas (1979-2020).

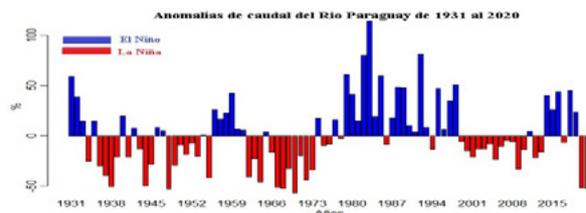


Figura 4.- Gráfico de Anomalías nivel de caudal

La Figura 5 presenta el Periodograma obtenido a partir del análisis de Fourier. Se observa que las características y patrones de variación del caudal a lo largo del tiempo están asociados a fenómenos periódicos como: 1 año – ciclo anual [9], 90 años - Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) [10], 30 y 45 años - Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) [11], 18 años puede estar relacionado con ENSO y PDO, 22, 11 y 3.5 años – ciclo solar [12], 8, 3 y 2 años - ENSO, 0.5 años – ciclo estacional [9].

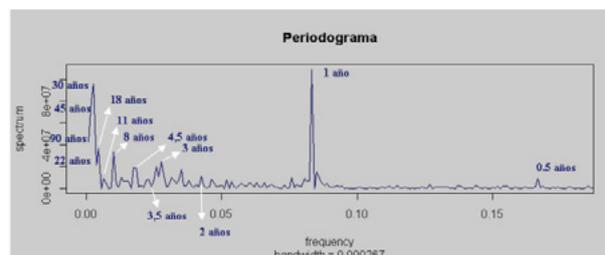


Figura 5.- Gráfico espectral de la transformada de Fourier.

Conclusión

El caudal del Río Paraguay muestra un comportamiento medio constante, afectado por patrones periódicos y varianza no constante. A partir del análisis temporal mediante el modelo ARIMA, se observó que la serie no cumple con los supuestos necesarios y se deben considerar otros modelos alternativos que incorporen explícitamente la varianza no constante, como los modelos ARIMA generalizados (GARCH). El estudio de anomalías temporales permitió identificar la presencia de eventos excepcionales y variaciones significativas en el comportamiento hidrológico de la cuenca, tanto eventos de sequía prolongada (1963 al 1971) como inundaciones extremas (1979 al 2020), los cuales tienen un impacto significativo en las comunidades locales y en la economía de la región. Cabe señalar, que la detección y el monitoreo de estas anomalías son fundamentales para la gestión efectiva de los recursos hídricos en la cuenca del río Paraguay. El análisis del espectro de Fourier resultó fundamental para comprender las características y patrones de variación del caudal a lo largo del tiempo, los cuales están asociados a fenómenos periódicos estacionales, anuales y a ciclos climáticos como el ENSO, la AMO y la PDO. Esta información resulta estratégica para generar planes de contingencia y gestión frente a eventos extraordinarios.

Bibliografía

- [1] Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., ... & Seluchi, M. (2022). El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata. Centro Común de Investigación.
- [2] Millán Cortés, S. A. (2011). Análisis multitemporal de cuerpos de agua en el eje Paraná-Paraguay de la Cuenca del Plata mediante imágenes MODIS-TERRA, NDVI (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Luján).
- [3] Pabón Caicedo, J. D., & Montalegre Bocanegra, J. E. (2017). Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos.
- [4] Suriano, M., & Seoane, R. Variabilidad climática natural y su impacto en el río Paraná y Paraguay.
- [5] Horton, Nueva Jersey y Kleinman, K. (2015). Uso de R y RStudio para gestión de datos, análisis estadístico y gráficos. Prensa CRC.
- [6] Bartholomew, D. J. (1971). Time Series Analysis Forecasting and Control.
- [7] Góez, C., & Poveda, G. (2005). Variabilidad de las anomalías y de la escala de fluctuación de caudales medios mensuales con el área de la cuenca. Avances en Recursos Hidráulicos, (12), 77-90.
- [8] Fourier, J.B.J (1888). Théorie analytique de la chaleur. Gauthier-Villars et fils.
- [9] Pastén, M., González, V., & Espinola, C. (2011). Clasificación climática del Paraguay utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite. San Lorenzo, Paraguay.
- [10] Knight, J.R., Folland, C.K. & Scaife, A.A. (2006). Impactos climáticos de la oscilación multidecadal atlántica. Cartas de investigación geofísica, 33 (17).
- [11] Hurrell, J. W., & Deser, C. (2010). North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation. Journal of marine systems, 79(3-4), 231-244.
- [12] Solanki, S.K., Inhester, B., & Schüssler, M. (2006). El campo magnético solar. Informes sobre el progreso de la física, 69 (3), 563.
- [13] McPhaden, M.J (1999). Génesis y evolución de El Niño 1997-98. Ciencia, 283(5404), 950-954.



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

04

**Ingeniería e
infraestructuras
hidráulicas**



MONITOREO SATELITAL DE SISTEMAS LAGUNARES DE TRATAMIENTO Lucas Bindelli, Nicolás Ortíz, Santiago Guizzardi, Mayra Morale, Francisco Brea y Mariano Re	390
EVALUACIÓN DE LA SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE ESCALAS PARA PECES MEDIANTE OPENFOAM Juan Cruz Álvarez Padilla, Lucio Borsellino, Jorge Prieto Villarroya y Daniel Farias	392
EVALUACIÓN DEL USO DE CENTRALES REVERSIBLES COMPLEMENTARIAS CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES NO CONVENCIONALES Maksymilian Bak Uzarowicz, Alejo Coppola, Juan Andrés María de Larminat y Claudio Fattor	394
ALTERNATIVAS DE AGUADAS PARA PRODUCCIÓN ANIMAL EN FUNCIÓN DE LOS AMBIENTES EN EL NORTE SANTAFESINO Y EN EL CONTEXTO DE UNA SEQUÍA EXTRAORDINARIA Mario Héctor Basán Nickisch y Luciano Emilio Sánchez	396
OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO A TIEMPO REAL, DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN ALTA PARA REGADÍO Attila Bibok y Paula Castellano	398
SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL COLAPSO DEL PUENTE SOBRE ARROYO LOS POZOS, MENDOZA, ARGENTINA Victor H. Burgos	400
ASPECTOS ALUVIONALES DEL SENDERO TURÍSTICO GEOLÓGICO EN CUENCA DEL A° MAURE, MENDOZA Victor H. Burgos y Matías Dalla Torre	402
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE CAUDAL LÍQUIDO EN CURSOS FLUVIALES MEDIANTE EL USO DE ESTACIONES FIJAS DE LSPIV Luca Lautaro Contreras, Leandro Massó, Antoine Patalano, Leticia Tarrab, Andrés Rodríguez y Carlos Marcelo García	404
PROGRAMA DE APROVECHAMIENTOS REGIONALES MULTIPROPÓSITO Rodolfo E. Dalmati, Ailín Pertierra, Ignacio Pereyra Yraola y Daiana C. Scasserra	406
ANÁLISIS OBRAS DE PASO CAÑADA CARRIZALES – MONJE, CUENCA DEL ARROYO MONJE, SANTA FE Pablo Del Prete, Rosana Mazzón, Gerardo Barrera, Agustina Spais, Esteban Collins, Carlos Scioli, Jorge Collins y Mariela Charlón	408
MODELACIÓN DEL FLUJO EN UN SEDIMENTADOR SECUNDARIO A ESCALA DE PROTOTIPO PARA EVALUAR SU EFICIENCIA HIDRÁULICA Melina Di Buò, Matías I. Ragessi, Andrés Rodríguez y Carlos Marcelo García	410
MODELO FÍSICO A ESCALA DE UNA PROTECCIÓN COSTERA PARA PLAYA UNIÓN, DE CHUBUT, ARGENTINA Emanuel Jesus Diaz Pereyra, Ignacio N. Buffa, Gabriela E. Pintos, Matías Eder y Andrés Rodríguez	412
MAPEO DE CASOS DE USO DE HIDROTECNOLOGÍAS ANCESTRALES EN LA REGIÓN LITORAL Oscar Duarte, Rosana Hämmerly, Mariana Romanatti y Fiorella Macor	414
EVALUACIÓN DE AMENAZAS HÍDRICAS Y DISEÑO DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO EN LA CIUDAD DE RÍO GALLEGOS Matías Eder, Nicolás Federico Guillén, Silvina A. Barbeito, Germán A. Fortunato, Ana Laura Ryzewskiy, Osvaldo Guillermo Mena	416

ALTERNATIVAS DE REFUNCIONALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CANALES MENORES, PARA OPTIMIZAR LA PROVISIÓN DE AGUA A LA ZONA SUR DE SANTIAGO DEL ESTERO Héctor Daniel Farías y Jorge Prieto Villarroya	418
ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN EN EL RÍO DE LAS VUELTAS, PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE OBRAS PROYECTADAS PARA SU APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO Héctor Daniel Farías, Juan C. Álvarez Padilla, Fabián Reuter y Jorge Prieto Villarroya	420
SISTEMA RIACHUELO: MODELACIÓN FÍSICA Y MATEMÁTICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SALIDA Claudio A. Fattor, Jorge D. Bacchiega, Martín Sabarots Gerbec y Santiago Guizzardi	422
SISTEMATIZACIÓN DE ESCURRIMIENTOS EN CUENCAS DEL ARROYO LAS MELLIZAS Germán Fortunato, Gustavo Peuser, Ana Laura Rydzewski y Osvaldo Guillermo Mena	424
ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE OBRAS TENDIENTES A MITIGAR PROBLEMÁTICAS HÍDRICAS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO Franco Leonel Gimenez, Gustavo Francisco Peuser, Matías Eder, Dayana Brizuela, Nathalie Pusseto, Anael Porro, Maribel González y Osvaldo Guillermo Mena	426
CAPTACIÓN LIBRE MEDIANTE AZUD DE GEOCONTENEDORES EN EL RÍO CONLARA, SISTEMA PASO DE LA CRUZ, SAN LUIS Andrés Grande, Fernando Sotero, Martín Manoni y Leonardo Monteagudo	428
PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA PARA EL ESTUDIO DEL PROCESO DE EROSIÓN HÍDRICA EN UNA MICROCUENCA AGROPECUARIA EN BUENOS AIRES Camila A. Gregorini, M. Guadalupe Ares, Georgina Cazenave y Magalí Fornés	430
DIMENSIONAMIENTO DE MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO EN EL FALDEO CERRO OTTO, BARILOCHE Nicolás Federico Guillén, Pablo A. Espiñeira, Osvaldo Guillermo Mena, Ana Laura Rydzewski, Germán Briñon y Giselle Fonterroy	432
METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LIMNIGRAFO- FREATÍMETRO Sofía Havrylenko, Andrés Moltoni, Nicolás Clemares, Aime Espindola y Julio. Fiorini Correa	434
REVESTIMIENTO DE CANALES DE HORMIGÓN UTILIZANDO GEOCELDAS: VENTAJAS FRENTE AL SISTEMA DE LOSAS CONVENCIONALES Nicolás Ibarra y Augusto Mendiz	436
VARIACIÓN ESPACIAL DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD A PARA FLUJO EN PRESENCIA DE MACRORRUGOSIDADES Candelaria Joaquín, Román Martino, Leticia Tarrab y Andrés Rodríguez	438
INDICADORES CLAVE DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ESTRATÉGICA. CASO ARGENTINA Y TRIÁNGULO NORTE DE CENTROAMÉRICA Ludwing Antonio Llamas Alvarez	440
OBRAS DE MITIGACIÓN SUSTENTABLES APLICADAS A INUNDACIONES URBANAS Luciano José Lopardo, Pablo Ezequiel Salvi y María Cecilia Lopardo	442
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS REVERSIBLES EN PRESAS MULTIPROPÓSITO PARA HACER FRENTE A LOS IMPACTOS DEL ESTIAJE ESTACIONAL Gilberto Colón Martínez-Rehpani	444
EFFECTO DE RÁPIDAS CONVERGENTES EN SALTOS DE ESQUÍ Julián Masson Rodriguez, Mariano de Dios y Sergio Oscar Liscia	446
PROGRAMA FEDERAL DE ASISTENCIA A MUNICIPIOS PARA OBRAS DE MACRO DRENAJE URBANO Osvaldo Guillermo Mena, Juan Carlos Bertoni, Pablo Romanazzi, Guillermo Luzzi y Ricardo Ruiz	448
DESARROLLO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Anahí J. Miner Vega, Mariana Ansaldo, Carlos Debandi, Ariel Godoy, Ricardo Fuentes, Carlos Mallea, Diego Maures, Juan Rivas, Carina Rotella y Mónica S. Ruggieri	450
SIMULACIÓN DEL FLUJO EN ALTERNATIVAS DE DISEÑOS DE UNA CÁMARA DE CLORACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO PARA EVALUAR LA MEJORA EN LOS INDICADORES DE EFICIENCIA HIDRÁULICA Sofía Luz Molina, Iván Matías Ragessi, Melina Di Buio, Laura Estefanía Motta Milesi, Andrés Rodríguez y Gerardo Hillman	452

ESTUDIO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE MACRORUGOSIDADES EN FLUJOS A ESCALA DE LABORATORIO Laura Estefanía Motta Milesi, Iván Matías Ragessi, Candelaria Joaquín, Leticia Tarrab, Román Martino y Andrés Rodríguez	454
EVALUACIÓN DE SOBREPRESIONES EN EL ACUEDUCTO DEL OESTE, SGO. DEL ESTERO. TRAMO: BARRIALITO – DOÑA LUISA Luis Olmos Isequilla y Luisina Fuentes	456
ANÁLISIS DE RIESGO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA PRESA F. AMEGHINO, CHUBUT Ailín Pertierra, Lucía Urteaga y Jorge Barja	458
AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE LA SOBREELEVACIÓN DE SUPERFICIE LIBRE POR VIENTO EN LA LAGUNA MAR CHIQUITA, ARGENTINA Cecilia Pozzi Piacenza, Román Martino, Carlos Marcelo García y Andrés Rodríguez	460
ADECUACIÓN DEL EJE CANAL ALVARADO. JUJUY. ARGENTINA: UN CAMBIO DE PARADIGMA EN EL ABORDAJE INTEGRAL DE DESAGÜES PLUVIALES SOSTENIBLES Jorge Prieto Villarroya, Marcelo Borsellino, Diego Moreno, Juan Cruz Álvarez Padilla, Guillermo Vera, Lucio Borsellino, Susana Chalabe y Guillermo Sadir	462
SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCURRIMIENTOS EN EL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE RÍO COLORADO Adán Quisbert, Lucas Mena, Ana Rydzewski y Osvaldo Guillermo Mena	464
PROGRAMA DE ACCESO AL AGUA, EL SANEAMIENTO Y LA HIGIENE EN ZONAS RURALES DISPERSAS José María Regueira, Rolando Buccini y Franco Maestri	466
METODOLOGÍA PARA PRONÓSTICO DE NIVELES DE EMBALSE MEDIANTE UNA TÉCNICA DE MACHINE LEARNING Exequiel Santucho y Flavia Bazzano	468
IRRI-DRIPPER: SISTEMA VIGÍA DEL RIEGO PRESURIZADO – FASE 1 Carlos Schilardi, Luis Chiamonte y Diego Molina	470
DISEÑO ÓPTIMO DE RIEGO POR GOTEO POR HIDRO-ZONAS CON MODERNAS TÉCNICAS DE LA INFORMACIÓN Carlos Schilardi, Leandro Martín y Rocío Hernández	472
APLICACIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO BASADO EN LAS ECUACIONES RANS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD EN CANALES – CASO TRAMO URBANO ARROYO LA CAÑADA Rodrigo Schöninger, Juan Weber, Leticia Tarrab, Leandro Massó, Antoine Patalano y Andrés Rodríguez	474
ANÁLISIS DEL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO: PRESUPUESTOS, OBRAS Y DATOS DE PRESTADORES Damiano Tagliavini	476
ADAPTACIÓN DE UNA BOMBA HIDROKINÉTICA EN EL ÁREA RURAL DE GENERAL GÜEMES, SALTA Fabián G. Tejerina Díaz, Carlos F. Arias y Lucas Zanovello	478
MODELACIÓN FÍSICA DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA TIPO ARQUÍMEDES Juan Francisco Varvasino, Joel Sutin Freiman, Arturo Rivetti, Mauricio Angulo, Cecilia Lucino, Sergio O. Liscia	480
INFLUENCIA DE LOS EVENTOS DE ROTURA DEL GLACIAR PERITO MORENO EN LAS CRECIDAS DEL RÍO SANTA CRUZ, ARGENTINA Brenda Vath, Sergio O. Liscia, Mariano de Dios y Pablo Cacik	482
OBRAS PARA GENERAR OFERTA HÍDRICA EN RÍO ATUEL Gustavo Villegas	484

MONITOREO SATELITAL DE SISTEMAS LAGUNARES DE TRATAMIENTO

Aguerreberry, Emiliano¹; Maestri, Franco¹; Platzek, Gabriel²; Giri, Danilo²; Hepp, Yanil²

¹Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, Argentina; ²INVAP S.E., Argentina
 eaguerreberr@obraspublicas.gob.ar , fmaestri@obraspublicas.gob.ar , gplatzek@invap.com.ar , dgiri@invap.com.ar ,
 yhepp@invap.com.ar

Introducción

Durante 2019 y 2020 la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) realizó un Relevamiento Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (RNPTAR), donde se relevaron 376 plantas de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de conocer el estado de las plantas, caracterizar el sector, y elaborar una herramienta de priorización de acciones frente a los déficits identificados en cuanto a su necesidad de ampliación, rehabilitación o fortalecimiento.

Entre los principales resultados se observa que los sistemas lagunares representan 61% de los sistemas de tratamiento, seguidos por tecnologías como barros activados y lechos percoladores (Fig 1).

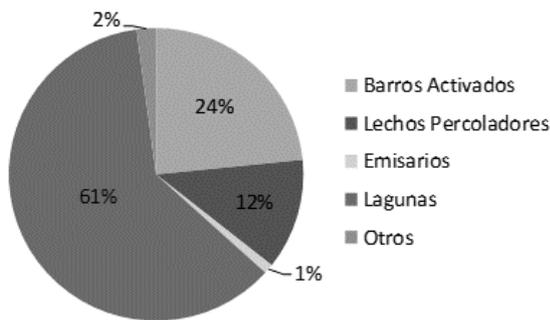


Figura 1.- Distribución de tecnologías de tratamiento en Argentina

Una de las principales dificultades de estos sistemas se encuentra asociado al ingreso de sólidos a las lagunas y la falta de instrumentos que permitan realizar un seguimiento de los niveles de colmatación.

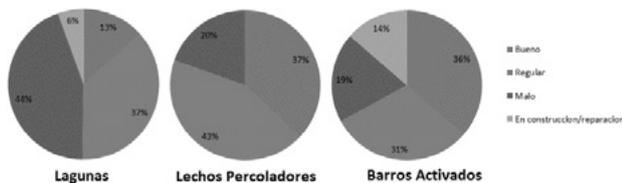


Figura 2.- Estado de los sistemas de tratamiento del RNPTAR, donde los sistemas lagunares son los más afectados (81%).

La elaboración de herramientas de monitoreo de estos sistemas a partir de la adaptación de las metodologías de Batimetría Derivada por Satélite (SDB) desarrolladas por el Dr. Richard Stumpf (Stumpf, 2003) y de otros autores en su aplicación en

aguas someras permite implementar un seguimiento con grandes ventajas frente a las metodologías usuales de medición batimétrica.

Así, el objetivo de este estudio fue determinar la aplicabilidad de la SDB en sistemas lagunares de tratamiento de aguas residuales.

Metodología

El estudio se encuentra actualmente en desarrollo. Para esta experiencia, se seleccionaron 4 sistemas lagunares de tratamiento representativos de distintas escalas de servicio y administración: 1) Trenque Lauquen (Buenos Aires), 2) Rio Tercero (Córdoba), 3) Campo Espejo (Mendoza) y 4) San Isidro (Catamarca).

El relevamiento *in situ* consiste en realizar una batimetría para determinar los niveles de colmatación de cada laguna de los sistemas lagunares. Estas mediciones se realizaron con una lancha-dron, que cuenta con un sensor sonar. A su vez, se realizó una captura de imagen multiespectral con las cámaras de dron a 30 y 60 metros.

Estas mediciones se comparan con las obtenidas por las imágenes obtenidas por los sensores multiespectrales de Landsat-8 y Sentinel-2, las cuales requieren de un procesamiento para encontrar la mejor sensibilidad de lectura.

Finalmente, ambas mediciones se contrastan en una correlación lineal iterativa hasta encontrar el nivel de ajuste deseado. El proceso de análisis se presenta en la Figura 3, donde se observa que luego de la medición, existen instancias de validación de la correlación.

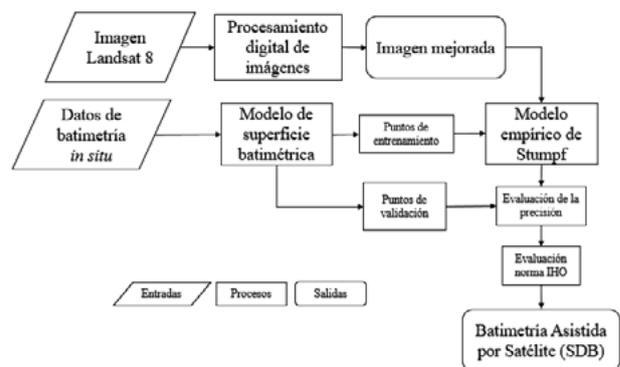


Figura 3.- Proceso de obtención de la medición satelital de la SDB en sistemas lagunares

Resultados esperados

Habiendo realizado 3 de los 4 relevamientos se encuentran los resultados parciales de las mediciones y correlaciones realizadas.

Una vez finalizado el relevamiento se tomará una quinta laguna de tratamiento, donde se conozcan los datos de batimetría, para realizar la validación final del modelo.

A su vez, el sensado remoto permite medir otras variables de operación, como el volumen total, el nivel de eutrofización, potenciales derrames, entre otros.

Desarrollar esta herramienta de monitoreo sobre los niveles de colmatación de los sistemas lagunares de tratamiento permitirá:

- Contar con la información sobre el estado de colmatación de las lagunas de manera ágil y centralizada
- Acceder de forma gratuita e inmediata, sin intermediación y costos elevados de logística
- Sin riesgo para los operarios de las plantas
- Poder realizar la evaluación y seguimiento de la colmatación, para reducir su impacto y aumentar la eficiencia de los sistemas

Referencias

Stumpf, Richard P., Holderied, Kristine, Sinclair, Mark, (2003), Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 1, part, 2, doi: 10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547.

Jagalingam P, Akshaya B J and Arkal Vittal Hegde (2015), Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2015). *Procedia Engineering* 116 (2015) 560 – 566

EVALUACIÓN DE LA SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE ESCALAS PARA PECES MEDIANTE OPENFOAM.

Álvarez Padilla, Juan Cruz¹; Borsellino, Lucio¹; Prieto Villarroya, Jorge^{1,2}; Farias, Daniel¹

¹ Instituto de Recursos Hídricos. FCEyT - UNSE. Santiago del Estero, Argentina

² Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. IEADER - UNSE. Santiago del Estero, Argentina
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar alvarezpadillajuancruz@gmail.com irhi.fceyt.unse@gmail.com

Introducción

La construcción de un dique o azud representa un “Efecto Barrera” para la circulación natural de la ictiofauna, reduciendo significativamente la diversidad de peces, especialmente de aquellas especies que deben realizar sus migraciones pre-reproductivas aguas arriba, y que se encuentran, por tanto, con el obstáculo y pérdida de franqueabilidad que representa la aparición de una obra hidráulica en el cauce.

Las escalas de peces son estructuras hidráulicas diseñadas para permitir que los peces superen obstáculos artificiales y continúen su migración. Una de las principales medidas correctoras del “efecto barrera” consiste en la introducción de las “escalas de peces”, que actúan como sistema de transferencia con el objeto de mitigar la discontinuidad vertical introducida en el río.

Objetivos

El presente trabajo tiene por finalidad, analizar la comparación de la respuesta hidrodinámica de tres diferentes geometrías de escalas, mediante simulación realizada con modelos numérica.

El trabajo se centra en la comparación de la respuesta hidrodinámica de 3 diferentes geometrías de escalas de peces mediante la simulación realizada con modelización numérica: (A) Escala de estanques sucesivos o vertederos sumergidos. (B) Escala de hendiduras o escotaduras verticales (C) Escalas con deflectores de velocidad tipo Denil. Este enfoque permite analizar y comprender mejor la hidrodinámica de las diferentes tipologías de escalas y su impacto en la migración de los peces.

Para ello, se ha empleado el software libre de simulación OpenFOAM, una herramienta de dinámica de fluidos computacional (CFD) que utiliza un modelo numérico de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes, que describen el comportamiento de los fluidos en movimiento.

Fundamento Teórico de CFD

La Mecánica de Fluidos Computacional (CFDs) es una disciplina que consiste en la resolución de problemas de fluidos y otros fenómenos relacionados, mediante técnicas computacionales.

Ligado al desarrollo de las herramientas y técnicas de simulación en las últimas décadas, la rama de la mecánica de fluidos computacional (CFDs) ha contribuido con una gran cantidad de avances tecnológicos en distintas disciplinas de la ingeniería. Los CFDs ya forman parte del ciclo de diseño de muchos procesos de ingeniería, pero aún tienen muchas posibilidades de desarrollo en numerosas aplicaciones donde obtener resultados numéricos consistentes es aún un reto complejo. Además, permiten ahorrar elevados costos de experimentación, reduciendo la necesidad de construir modelos a escala.

Caracterización Ecohidráulica de las Escalas

Cada una de las tipologías de escalas para peces consideradas en el trabajo presenta características específicas que influyen en la hidrodinámica y en la capacidad del pez para superar obstáculos.

A. Escala de estanques sucesivos: Tipología de escalas que utiliza

una serie de escalones o artesas sumergidas en el agua. Estas artesas están diseñadas para crear una secuencia de pequeñas caídas de agua, permitiendo que los peces las utilicen para superar obstáculos. La principal característica de esta tipología es la formación de líneas de flujo preferente a lo largo de los escalones, lo que ayuda a guiar a los peces aguas arriba a medida que avanzan en su migración. Además, la presencia de las artesas sumergidas reduce la energía cinética del agua, lo que contribuye a facilitar el remonte de los peces.

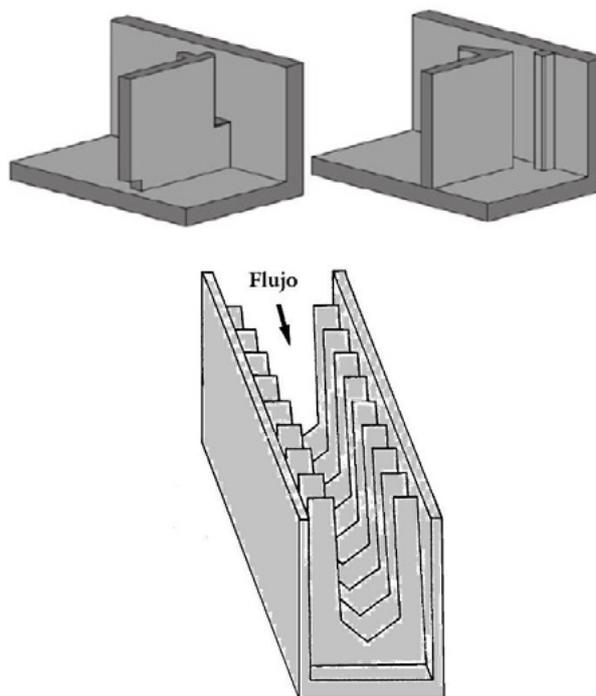


Figura 1.- Vista de Escala de Estanques Sucesivos (izqda.), Escala de Hendiduras Verticales (dcha) y Escala tipo Denil (abajo) (Azagra, 1999)

B. Escala de escotaduras verticales: Estructura con hendiduras verticales dispuestas a lo largo de la pared del canal. Estas ranuras proporcionan espacios estrechos y alineados en los que los peces pueden nadar para superar el obstáculo. La principal característica de esta tipología es la generación de corrientes de agua direccionales a través de las hendiduras, lo que facilita el ascenso. Además, permite la formación de zonas de recirculación en la parte posterior de las hendiduras, proporcionando áreas de descanso para los peces durante su migración ascendente.

C. Escalas con deflectores de velocidad tipo Denil: Estructuras que utilizan una serie de deflectores colocados sobre la base del canal en ángulo incidente sobre el flujo. Estos deflectores redirigen el flujo, creando turbulencia y zonas de menor velocidad. Los peces pueden utilizar estas zonas para avanzar aguas arriba y superar el obstáculo. Su principal característica es la creación de zonas de remanso y descanso para los peces, lo que les permite recuperar energía antes de continuar su migración. Además, los deflectores de velocidad favorecen la dispersión del agua y distribución uniforme de los peces a lo largo de la escala.

Metodología y Herramientas

OpenFOAM es un software libre de código abierto pensado para resolver de forma general problemas de mecánica de fluidos. En realidad, OpenFOAM, abreviatura de "Open Source Field Operation and Manipulation" es un conjunto de librerías pensadas para poder construir a partir de ellas aplicaciones "ejecutables" de acuerdo a las necesidades del usuario.

Para hacer más sencillo este proceso, las versiones de OpenFOAM disponen de aplicaciones pre-construidas, con 2 funciones: (1) Resolver un problema específico de la mecánica de fluidos; los "solvers". (2) Realizar tareas de manipulación o transformación de datos (pre y postproceso); las "utilities".

OpenFOAM se basa en un enfoque de "volúmenes finitos", que divide el dominio en pequeños volúmenes discretos (Figura 2) y aplica ecuaciones diferenciales parciales para describir el comportamiento del flujo dentro de esos volúmenes.

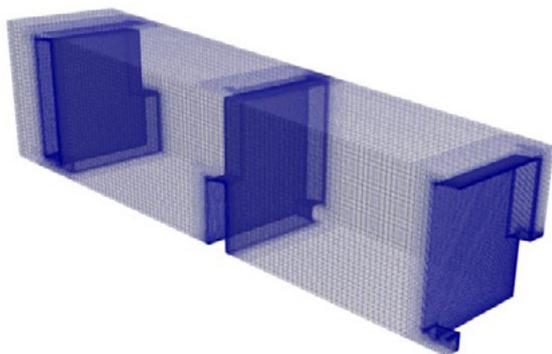


Figura 2.- División del dominio en volúmenes discretos

En todos los casos, las geometrías fueron generadas empleando el mallador SnappyHexMesh mediante archivos en formato STL y diferentes niveles de refinamiento. Cabe destacar el requerimiento de un mallado con niveles de refinamiento superior para la escala tipo Denil con respecto a las otras tipologías, con el fin de evitar errores en el mallado en zonas con ángulos pronunciados.

El mallado proporciona 2809358 elementos para la escala es estanques sucesivos, 3858674 elementos para la escala de escotadura vertical, mientras que 4153236 elementos para la escala tipo Denil.

Todas tipologías fueron simuladas con un caudal constante de 0.175 m³/seg, pendiente constante de 13.60%, y un ancho constante en todos los casos de 1.25 m. Con respecto al modelo de turbulencia, se empleó el modelo k- ω perteneciente a la familia de modelos RAS (Reynolds Averaged Stress).

Las simulaciones fueron ejecutadas en paralelo empleando 4 núcleos para un tiempo de cálculo de 300 segundos mediante el solver InterFoam; sin embargo, las simulaciones alcanzaron un régimen de flujo estable alrededor de los 30 segundos.

El solver interFoam resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes para dos fluidos inmiscibles isotérmicos e incompresibles. Esto significa que las propiedades del material son constantes en la región ocupada por cada fluido, excepto en la interfase.

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos permiten observar las pautas ecohidráulicas de funcionamiento de las tres tipologías de escala (Figuras 3), y sus principales variables vinculadas a la migración: disipación de energía en las aristas de la escala, turbulencia, velocidad, la creación de líneas de flujo preferentes o la presencia de zonas de recirculación y/o descanso para los peces.

Empleando un mismo caudal de diseño, pendiente de la base y anchura entre tabiques de la escala, se puede observar los resultados obtenidos de modo comparativo. EN el caso de la velocidad de remonte que deben superar los peces (la mayor de las limitaciones de diseño), puede observarse que la de escotaduras verticales representa el diseño que menores velocidades requiere, además de generar mayor disipación de energía, definir con mayor claridad las líneas de flujo y generar espacios de recirculación para el descanso durante el remonte.

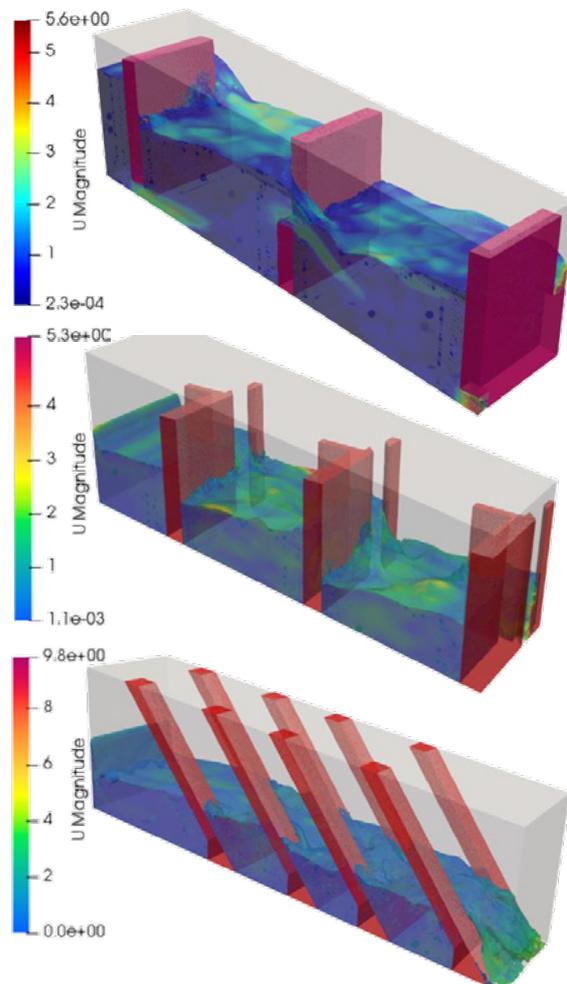


Figura 3.- Resultados para Estanques Sucesivos (Sup.), Escotadura Vertical (centro) y Ralentizados de velocidad tipo Denil (inf.)

Los resultados obtenidos muestran cómo el modelo hidráulico OpenFOAM no sólo puede ser utilizado para simular el diseño de escalas para peces, sino que además permiten obtener información útil para optimizar su eficiencia, posibilitando comprender mejor cómo los peces interactúan con ellas y cómo se puede mejorar su diseño para hacerlas más efectivas en la facilitación de la migración de peces.

La elección de la tipología adecuada dependerá también, además de las cuestiones estrictamente hidráulicas reflejadas en el modelo, de diversos factores, como las especies de peces objetivo, las condiciones del río y los objetivos de conservación.

Referencias Bibliográficas

- García Díaz, Ricardo. (2016). "Escalas y pasos de Peces". Ministerio de Agricultura, pesca, Alimentación y Medio Ambiente. España
- Larrier, M., Porcher, J.P., Travade, F., Gosset, C., (1998). *Passes a poissons. Expertise conception des ouvrages de franchissement. Collection Mise au Point*, Conseil Superior de la Pêche. Francia. 336 p.
- Martínez de Azagra (1999). "Apuntes de Escalas para Peces". Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias Universidad de Valladolid.

EVALUACIÓN DEL USO DE CENTRALES REVERSIBLES COMPLEMENTARIAS CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES NO CONVENCIONALES

Maksymilian Bak Uzarowicz¹, Alejo Coppola¹, Juan Andrés María de Larminat¹ y Claudio Antonio Fattor^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina “Santa María de los Buenos Aires”
Alicia Moreau de Justo 1300, Buenos Aires, Argentina

²Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua
AU Ezeiza-Cañuelas, Tramo Av. J. Newbery, Km 1.62 – (1804) Ezeiza, Argentina

e-mail: m.bakuzar@gmail.com, alecoppo@hotmail.es, jlarminat@gmail.com, claudiofattor@uca.edu.ar

Introducción

La Agenda 2030 tiene entre uno de sus objetivos propender a la sostenibilidad energética, lo que ha derivado en el uso creciente de fuentes de energía renovables no convencionales (ERNC). En ese marco, y a la par de los avances tecnológicos, la última década se ha caracterizado por el incremento en el empleo de la generación eólica y solar, las que presentan intermitencias en el suministro de energía que son inherentes a su tipología.

La generación hidroeléctrica a partir de centrales de acumulación por bombeo (centrales reversibles) incorpora la posibilidad de producción de energía por medio de procesos de generación y bombeo entre dos reservorios emplazados a distinta cota, aprovechando en tal sentido la diferencia de costos entre el despacho de energía y el consumo requerido para el bombeo. Este tipo de proyectos, de creciente implementación en Estados Unidos y Europa, brinda gran flexibilidad operativa y cuenta con la virtud de posibilitar la generación de energía con el trasvase diario o semanal de volúmenes de agua acotados, aspecto significativo desde el punto de vista del balance hídrico, articulando de manera efectiva la generación de energía con otras fuentes de energía renovables tales como la eólica o solar.

En este contexto, el presente artículo establece lineamientos generales del desarrollo de un anteproyecto de central de acumulación por bombeo, desarrollado en el marco de un trabajo final de grado de la carrera de ingeniería civil, en el que se plantean las singularidades de este tipo de aprovechamientos, con importancia creciente en el ámbito de la transición energética.

Marco Conceptual

Una central hidroeléctrica de acumulación por bombeo es un caso especial de las centrales hidroeléctricas que está compuesta por dos embalses. El agua que se encuentra contenida en el embalse inferior es bombeada hacia el embalse superior durante las horas de menor demanda de energía, es decir, donde la energía eléctrica tiene un menor costo con el fin de posteriormente turbinarla generando energía en las horas de mayor consumo eléctrico.

En otras palabras, lo que se busca es almacenar el excedente de energía del que puede disponerse en las horas del día para poder devolverlo en las horas pico de la demanda. De esta manera el reservorio superior funciona como una especie de “batería natural de gran capacidad”, acumulando energía potencial a través del agua y utilizándola cuando sea conveniente y/o requerido.

Esto no es normal para una red eléctrica ya que casi todos los sistemas funcionan en base a la generación constante para suplir la demanda inmediata que requiere la red. Las CAB son un caso particular ya que son los mayores almacenajes de energía, por lo menos renovables, que se acoplan a la red para estabilizar la curva de consumo de energía. Son de gran uso porque acercan los valles a los picos disponiendo del sobrante de energía en un momento particular del día para luego reutilizar ese sobrante en los momentos de pico.

Lo anterior, constituye una forma de optimizar económicamente la explotación de una red de suministro eléctrico, permitiendo

con ello una gestión más apropiada de la energía.

Las CAB suelen operar como centrales de punta, son muy apreciadas en mercados donde se ha optado por tener una adecuada seguridad y suficiencia en el sistema. Esto se debe a que, por sus características de diseño y operación, generalmente, entregan una serie de servicios complementarios, tales como nivelación de carga, control de frecuencia, capacidad de arranque en cero.

Esto otorga estabilidad al sistema en la operación diaria y también ayuda en situaciones inesperadas que afecten a la red, tales como la caída inesperada de alguna central o el mantenimiento programado en algún punto del sistema.

A modo esquemático, una CAB presente los componentes que se exhiben en la Figura 1.

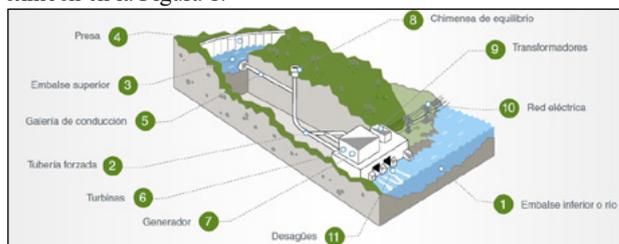


Figura 1.- Central de Acumulación de Bombeo. Fuente: IBERDROLA.

Un ejemplo de CAB de gran potencia instalada se aprecia en la Figura 2, correspondiente a Ludington, Michigan, USA.



Figura 2.- CAB Ludington, Michigan, Estados Unidos

El primer tramo de la cámara divergente se desarrolla horizontalmente, para luego alcanzar el tramo final con un ángulo divergente de 5° que salva una diferencia de cota de 2,27 m.

Metodología

En el contexto del desarrollo de una tesis final de grado, se abordó la temática específica del anteproyecto básico de una central de acumulación por bombeo, alternativa técnicamente apta en su factor de complementariedad con fuentes de ERNC.

A tal efecto, se procedió a una secuencia de evaluaciones destinadas a la preselección del sitio de emplazamiento de la CAB, su predimensionamiento y una evaluación técnico-económica básica.

Las consideraciones sobre el sitio de emplazamiento tienen en cuenta la disponibilidad del recurso hídrico, la cercanía con el Sistema Argentino de Interconexión, la relación entre la longitud de las tuberías forzadas y el desnivel entre los depósitos superior e inferior, la conveniencia de contar con desniveles superiores a 30 metros en sistemas abiertos y 90 metros en sistemas cerrados, cercanía con embalses o lagos, cercanía a la red vial, minimización de movimientos de suelos, áreas no protegidas, entre otros.

Estudio de caso

A partir de la evaluación de seis posibles sitios en el territorio argentino, se preseleccionó un sitio cercano al aprovechamiento hidroeléctrico Alicurá, situado sobre el río Limay, Argentina. Para su selección primaria primaron muchos de los aspectos tratados previamente.

Se avanzó seguidamente con su predimensionamiento, para lo cual se procedió a:

- El análisis de la resolución 440/2020 y su modificación.
- Definición de la potencia instalada.
- Determinación de los volúmenes de los reservorios.
- Definición de las geometrías y movimiento de suelos para su conformación, teniendo en cuenta aspectos topográficos locales.
- Evaluación y preselección de número, diámetro y material de las tuberías.
- Predimensionamiento de diámetro y altura de la chimenea de equilibrio.
- Definición de tipología de equipamiento hidromecánico: grupo turbina – bomba unificado o unidades independientes.

A partir de estas evaluaciones primarias, se presenta un esquema en planta con la disposición de los dos reservorios.

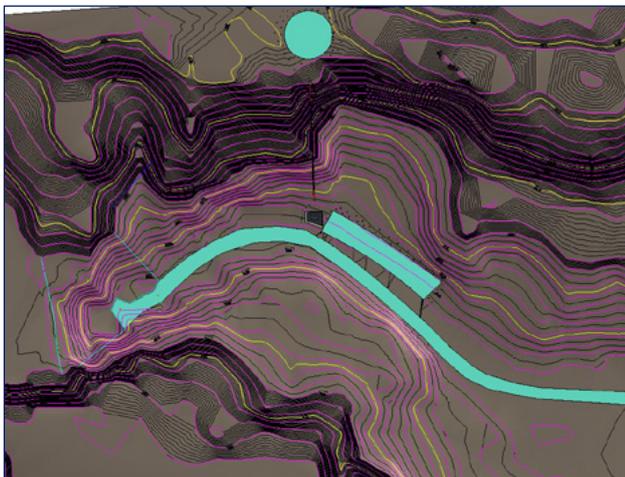


Figura 3.- CAB Alicurá – Planta esquemática

Las principales características de este proyecto, enmarcado en una tesis final de grado, resultan las siguientes:

- Potencia instalada: 50 MW.
- Salto máximo: 212 m.
- Volumen de cada reservorio: 662.600 m³.
- Cantidad de ramales: 2.
- Material de las tuberías: acero.
- Longitud total de tuberías de acero: 2460 m.
- Diámetro de tuberías: 3000 mm.
- Chimenea de equilibrio de 27 m de diámetro.

- Dos equipos turbinas – bombas reversibles de 25 MW de potencia instalada cada uno.

Conclusiones

El desarrollo de un trabajo final de grado de alumnos de la carrera de Ingeniería Civil consistió en abordar el anteproyecto básico de una central de acumulación de bombeo, arribándose a las siguientes conclusiones:

- Se planteó la presente temática en el contexto de transición energética, considerando el uso de fuentes de energía renovables.
- Se efectuó el análisis primario de alternativas, teniendo en cuenta una serie de factores técnicos, lo que condujo a elegir un sitio cercano al aprovechamiento hidroeléctrico Alicurá.
- Se planteó el predimensionamiento de esta central, efectuándose posteriormente un análisis económico del proyecto que muestra que su implementación es económicamente viable, en el actual contexto, sólo si se firmara un contrato entre entidades públicas y privadas, principalmente CAMMESA, que fijen tarifa y ganancias por determinada cantidad de años.
- Finalmente, se destaca la importancia de interesar e involucrar a los alumnos a puntos de egresar en estas líneas temáticas, tan importantes para el desarrollo sostenible del país.

Referencias Bibliográficas

- Connolly, D.** (2009). *Locating Potential Sites for Pumped Hydroelectric Energy Storage*. University of Limerick - Charles Parsons Initiative.
- Koritarov, V.** (2017). *Developing valuation guidance for pumped storage projects*. Argonne National Laboratory, USA.
- Witt, A.; Chalise, D.; Hadjerioua, B, Manwaring, M. and Bishop, N** (2016). *Development and Implications of a Predictive Cost Methodology for Modular Pumped Storage Hydropower (m-PSH) Projects in the United States*. U.S. Department of Energy.

ALTERNATIVAS DE AGUADAS PARA PRODUCCIÓN ANIMAL EN FUNCIÓN DE LOS AMBIENTES EN EL NORTE SANTAFESINO Y EN EL CONTEXTO DE UNA SEQUÍA EXTRAORDINARIA

Basán Nickisch, Mario Héctor; Sánchez, Luciano Emilio

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Reconquista
Ruta Nacional 11 Km 773, CP: 3560, Reconquista, Santa Fe, República Argentina

TE: +54 9 11 34382177

basannickisch.mario@inta.gov.ar; sanchez.emilio@inta.gov.ar

Introducción

La ganadería bovina en el norte de Santa Fe, Argentina, presenta cíclicamente condicionantes en calidad de agua para el abrevado animal, donde los productores experimentan mermas en el stock de cabezas y pérdidas económicas importantes. Desde el año 2010 el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) investiga sobre mejoramiento de la calidad química del agua para consumo ganadero, articulando con diversas instituciones (Basán Nickisch et al, 2016). Los estudios se realizaron en el norte santafesino, en los Departamentos 9 de Julio, Vera, General Obligado y San Javier (Basán Nickisch, Sánchez, 2015).

Desarrollo

Bajo la consigna de Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) se implementaron demostradores en los diferentes ambientes: Domo Occidental, Zona de Transición, Depresión Central, Cuña Boscosa/Domo Oriental (Figura 1 y Tabla 1.-).

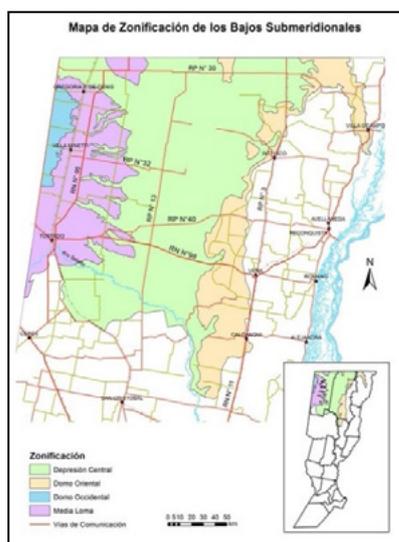


Figura 1.- Mapa de la región de los Bajos Submeridionales con los diferentes ambientes.

En los proyectos de agua para el diseño técnico hay que partir identificando el problema. Se necesita cuantificar la demanda y la oferta. Cuantificar la demanda consiste en calcular la dotación diaria máxima de proyecto y la del período crítico en el año, si se maneja agua de lluvia. Y la oferta es elegir la o las fuentes de donde se va a extraer el agua en cantidad y calidad.

La estrategia consiste en utilizar el agua de lluvia más el agua superficial y/o subterránea, en base a los ambientes, donde se prioriza que los sistemas funcionen a la demanda en lo que hace a cantidad y calidad. El manejo de la calidad es prioritario para obtener una producción eficiente y sustentable (Bavera, 2011), especialmente en situaciones hídricas críticas de escases.

El agua subterránea en gran parte del norte de Santa Fe tiene condicionamientos por excesos de sales, excepto en el Este, donde se encuentra el acuífero Puelche, con agua deficiente en

sales para la ganadería bovina y el cual permite extracciones importantes de agua sin alterar su calidad.

Las estrategias propuestas consisten en utilizar las fuentes disponibles en cada lugar, a escala predial, sin descuidar el manejo de cuenca, respetando las normativas vigentes. Analizar alternativas utilizando tecnologías apropiadas capaces de ser instaladas, operadas y mantenidas por los propios usuarios. Se considera estratégico capacitar a los productores, técnicos locales y decisores políticos acerca del manejo del agua según los ambientes y en función de la demanda. Donde el agua subterránea presenta tenores salinos que condicionan la producción, necesariamente se debe recurrir a fuentes alternativas: aguas superficiales o de lluvia (Basán Nickisch, 2012).

Para utilizar correctamente el agua de lluvia se manejan alternativas de represas o reservorios con áreas de captación sistematizadas, ya sean camellones o caminos doble propósito. Una propuesta que se considera superadora es plantear caminos doble propósito paralelos (Figura 2.).

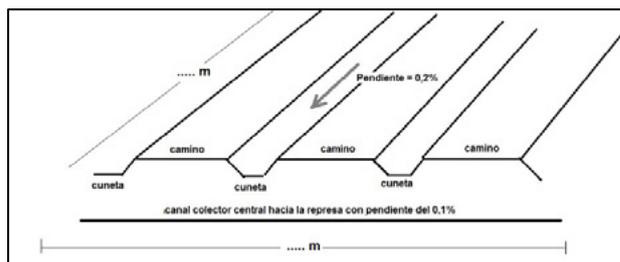


Figura 2.- Área de captación sistematizada compuesta por caminos doble propósito paralelos.

El tamaño de la superficie de captación sistematizada será en función de la demanda de los animales más las pérdidas del reservorio (evaporación e infiltración de paredes y base), donde a la precipitación promedio anual se la deberá afectar por un coeficiente de escurrimiento, el cual estará calculado en función del tipo de suelo y de la pendiente general. A su vez, el valor obtenido se lo deberá afectar de un coeficiente en función del período de retorno (T_r) de la precipitación. Para estos casos el mismo debiera ser bajo, para garantizar el llenado del reservorio la mayor parte de los años. Se toma $T_r = 1,25$ años.

La vegetación debe ser controlada para minimizar el coeficiente de rugosidad, pero lo suficiente para no provocar cárcavamientos puntuales. El mantenimiento de este sector debe estar planificado en función de los pronósticos a corto plazo de las precipitaciones, debiendo estar preparados con la vegetación bien controlada, para así lograr el mayor escurrimiento superficial posible.

Las represas deben diseñarse con la menor superficie posible expuesta al sol, para contrarrestar las pérdidas por evaporación, así como también las pérdidas por infiltración en los taludes y piso, teniendo en cuenta el máximo período sin precipitaciones durante el año, calculando la máxima carga animal prevista.

Una alternativa es utilizar a la represa como mecanismo de recarga del acuífero. Así se logran varias ventajas: el agua recargada no se evapora como en superficie. Se produce su filtrado natural. La temperatura del agua es más estable durante

el año. Se contamina menos bacteriológicamente que estando expuesta en superficie. El agua de lluvia se mineraliza y el agua subterránea con exceso de sales se desconcentra.

Pero si hidrogeológicamente no es posible recargar el acuífero a través de la represa, o no se puede recuperar el agua que se infiltra, se recomienda impermeabilizarla para almacenar y disponer del mayor volumen de agua de lluvia. Los materiales probados por INTA que constituyen alternativas válidas para lograr la impermeabilización consisten en utilizar silobolsas aplicados a toda la superficie, piso y paredes, con técnicas sencillas de aplicación. Pero para subsanar el efecto negativo de los rayos ultravioletas del sol y el pisoteo de los animales, se recomienda tapar el silobolsa del piso con tierra, con un espesor como mínimo de 10 cm. Para los taludes se debe aplicar suelocemento para protegerlos, con un espesor entre 5 y 10 cm. A su vez, la represa debe tener un cercado perimetral para evitar el ingreso de animales. El suelocemento se logra disgregando tierra y mezclándola con una proporción de 6 a 8 partes de tierra y 1 parte de cemento portland, con agua a discreción.

En el caso particular de la Depresión Central de los Bajos Submeridionales, con suelos salinos de baja permeabilidad, inundables y con marcado hidromorfismo, baja pendiente de escurrimiento, napa freática alta y salina, con vegetación típica de humedales y predominio de espartillares y leñosas adaptadas, se plantea la posibilidad de hacer reservorios de tierra con alto porcentaje de arcilla elevados y con la compactación necesaria de las maquinarias de construcción, en este caso tractores con palas hidráulicas de arrastre, que permiten la construcción de reservorios sobre elevados del terreno natural 1 a 1,5 metros de altura su base, con una capacidad efectiva de 800.000 litros, más el préstamo de construcción transformado en represa, para almacenar las tormentas locales. El agua de esa represa, pasadas unas horas de almacenada, se eleva con mecanismos de bombeo al reservorio, el cual queda con una presión hidrostática suficiente para distribuir el agua a bebederos dispuestos estratégicamente en el sector de pastaje de los animales.

El agua de lluvia por sí sola es considerada deficiente en sales para la ganadería bovina (Tabla 1.).

Tabla 1.- Concentraciones máximas tolerables para ganadería bovina.

Clasificación de las aguas para bebida de bovinos (g/l)						
Cria	Para Inverne - Tambo		Sales	Cloruro	Sulfato	Magnesio
			Totales	de Sodio		
Deficiente	Deficiente	Menos de	1	----	----	----
Muy buena	Muy buena	Más de	1	0,6	0,5	0,2
Muy buena	buena	Hasta aprox.	2	1,2	1	0,25
Buena	Aceptable	Hasta aprox.	4	2,4	1,5	0,3
Aceptable	Maia	Hasta aprox.	7	4,2	2,5	0,4
Mala		Hasta aprox.	11	6,6	4	0,5
Condicionada		Hasta	13	10	7	0,6

Fuente: "Manual de Aguas y Aguadas para el Ganado" 4ta Edición 2011 Guillermo Bavera

A su vez, para lograr el acceso al agua subterránea, para complementar la calidad química del agua para los animales, se propone realizar perforaciones mediante maquinaria adaptada a esos ambientes, de movimiento rotativo, con inyección de lodo, donde se ocupa cañería de PVC, tanto para su encamisado como para la construcción de los filtros ranurados, acordes con el material del acuífero. Siempre se recomienda utilizar material de prefiltrado que rodee la zona de filtrado, para lograr bombear agua sin sedimentos. Y es esencial realizar un correcto desarrollo del pozo, una vez terminado, determinando también el caudal de diseño, en función de evaluar cantidad de agua extraída, teniendo en cuenta la calidad del agua. Esto último se considera muy importante, ya que no es el caudal de diseño convencional, donde solo importa la cantidad máxima posible de ser bombeada, sino que también hay que tener en cuenta la cantidad de agua que permita el bombeo de agua con la calidad que se considera apta para el consumo la necesaria para efectuar mezclas con otras fuentes de agua. Ese caudal variará según la época del año y el año hidrológico, ya que nunca se debe sobreexplotar el acuífero, con consecuencias muchas veces irreversibles.

Se propone sistemas "patas de araña" con 2 o más perforaciones

para contrarrestar la baja permeabilidad de los acuitardos. Esto vale para el Domo Occidental, Zona de Media Loma y Cuña Boscosa/Domo Oriental. A las perforaciones se les incorpora drenes horizontales para recargar el acuífero libre con agua de lluvia, donde el agua subterránea tiene exceso de sales. De esa manera se mineraliza el agua de lluvia y se desconcentra el exceso de sales en el acuífero. Para un adecuado diseño de un sistema "patas de araña" hay varias premisas a tener en cuenta: Las perforaciones deben estar separadas lo suficiente para no competir entre ellas. Que la disposición no sea simétrica, ya que la naturaleza no es simétrica. Que responda su ubicación a los mejores lugares de calidad de agua. Que a cada perforación se la afore en cantidad y calidad. Esto último permitirá saber la cantidad de perforaciones necesarias para dar respuesta al volumen de agua necesario para satisfacer la demanda planificada y dar respuesta al mecanismo de bombeo. Además, permitirá dimensionar las cañerías de succión necesarias de extracción de cada perforación.

Se plantean mecanismos de bombeo que funcionan con energías renovables, eólicos o solares, o convencionales. Para los sistemas "patas de araña" lo recomendable es utilizar molinos o bombas a diafragma, ya que son robustos, eficientes y permiten el bombeo de agua no necesariamente libre de sedimentos, con mantenimientos simples. Para bombeos con energías renovables se planifican almacenamientos o reservas de 5 días o más, para prever velocidades de viento mínimas o días nublados. Esos tanques o reservorios son importantes también para efectuar las mezclas de agua de diferentes fuentes para lograr un agua mineralizada para llevar a cabo una producción eficiente y sustentable. La proporción en que se deben mezclar debe responder a los análisis fisicoquímicos periódicos que es conveniente se hagan, bajo protocolo (Basán Nickisch et al, 2012) acompañados de un conductímetro que debiera tener cada operador encargado del manejo de las aguadas.

Se considera estratégico en las aguadas planificar una adecuada distribución de agua para las diferentes parcelas. Para ello, se debe realizar un estudio analizando los diferentes apotreramientos, donde es recomendable que el animal camine lo menos posible para abastecerse de agua mientras consume el alimento sólido. Las mejoras logradas en la calidad del agua permiten afirmar que los resultados son positivos, habiendo alcanzado el autoabastecimiento de agua y la sustentabilidad en el tiempo de los establecimientos utilizados como demostradores. Ejemplo de esto es la Tabla 2.- con la identificación de establecimientos ganaderos que se utilizan como demostradores de buenas prácticas ganaderas (BPG).

Tabla 2.- Establecimientos bajo normativas de BPG.

Establecimiento	Hectáreas	Referente/s	Provincia	Dpto.	Latitud	Longitud
El Bosch 1	2160	Fabián Cian	Santa Fe	Vera	28°13'56"S	60°03'04"O
La Cordobesa	4700	Ángel David Comiso	Santa Fe	Vera	28°22'16"S	60°03'21"O
Los Teritos	940	Omar Stacul	Santa Fe	Vera	28°24'55"S	59°56'24"O
Peludá La Loca	2893	Luciano Quintana	Santa Fe	Vera	28°43'05"S	60°22'04"O
Charrúa	2500	Rubén, Andrés y Damián Puccini	Santa Fe	9 de Julio	29°01'12"S	61°07'04"O
María del Carmen	1320	Myriam y Adriana Baudino	Santa Fe	9 de Julio	29°44'41"S	61°36'13"O
Don Antonio	440	Gerardo Seib	Santa Fe	9 de Julio	29°12'28"S	61°49'06"O
Don Benjamín	623	Eugenio Robetto	Santa Fe	9 de Julio	29°15'04"S	61°39'47"O

Referencias Bibliográficas

- Basán Nickisch, M.** (2012) Manual de manejo de los recursos hídricos para áreas de secano – 2da. Edición. INTA, Argentina
- Basán Nickisch, M.; Gallo Mendoza, L; Zamar, S; Rosas, D.** (2012) Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples. INTA, Argentina.
- Basán Nickisch M. y Sánchez L.** (2015) Alternativas de manejo de los recursos hídricos para ganadería en el norte de Santa Fe. Revista Voces y Ecos de INTA Reconquista, Argentina
- Basán Nickisch, M.; Lahitte, A.; Tosolini, R.; Sánchez, L.; Sosa, D.** (2016) Aguadas para Ganadería Bovina en los Bajos Submeridionales y áreas de influencia. INTA. Argentina.
- Bavera Guillermo** (2011) Aguas y Aguadas para el Ganado. 4ta. Edición, Argentina.

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO A TIEMPO REAL DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN ALTA PARA REGADÍO

1^{er}. Attila Bibok y 2^{do}. Paula Castellano

1^{er}. Kisters North America, Roseville, CA, 95661, Estados Unidos

2^{do} Kisters Ibérica, Valladolid, 47014, España

paula.castellano@kisters.es

Introducción

La solución se basa en la adaptación y acceso de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD – Valladolid, España) y otras partes implicadas, a una plataforma en la nube, que permite funcionalmente conseguir los objetivos propuestos y funcionar como el núcleo de la información y explotación. Esta investigación tiene el objetivo de resolver el problema de optimización en tiempo real del Sistema de explotación Órbigo – Barrios de Luna, de la CHD. Este sistema de agua altamente complejo posee múltiples regantes, plantas hidroeléctricas y objetivos basados en la conservación del flujo ecológico. La cuenca en cuestión muestra una alta estacionalidad en las precipitaciones y en la demanda de riego. El embalse de Barrios de Luna fue puesto en servicio en el año 1956 y tiene por objetivo principal regular las aguas del río Luna, que a partir de su confluencia con el río Omaña pasa a denominarse Órbigo. La presa, de más de 80 metros de altura, fue construida aprovechando una profunda y estrecha garganta, habiéndose creado un embalse de 308 hm³, con los que se riegan más de 50.000 hectáreas dedicadas, fundamentalmente, al cultivo de maíz, remolacha y lúpulo.

Con el fin de maximizar la producción de energía hidroeléctrica, cumplimentar los caudales ecológicos necesarios y asegurar el abastecimiento de la demanda de riego para los cultivos, se utilizó un sistema de optimización multiobjetivo. Durante este proyecto piloto se priorizó utilizar los mismos datos de entrada que están disponibles para los operadores del sistema de explotación Órbigo, al tiempo que se optimizó y automatizó la actual estrategia de control y distribución del agua antes basada en un modelo estático en archivos xls. Esto permitiría un mayor ajuste y una implementación práctica simplificada y menos disruptiva de las prácticas actuales.

Se aplicó un enfoque continuo para resolver este problema de optimización no-lineal y encontrar la estrategia de control óptima. Además, se utilizó una plataforma basada en la nube para ajustar los “hiperparámetros” y visualizar los resultados de la optimización. Para ello, se utilizaron dos años de datos operativos para la evaluación.

Materiales

La disponibilidad de datos topológicos fue limitada en el proyecto de investigación, por lo tanto, se requirió una metodología robusta, fácil de adaptar y de actualizar posteriormente según la disponibilidad y la mejora en la calidad de los datos.

Topología: La topología del sistema se proporcionó en archivos “shapefile”, con pocos o ningún atributo. Las áreas de riego constan de múltiples canales paralelos y retornos. Esto introduciría una complejidad innecesaria a los modelos, por lo que fueron agregados en un solo canal, con un único caudal de retorno. El sistema cuenta con 9 embalses en el río principal, para los cuales se introdujeron elementos de almacenamiento en el modelo. Existen 5 plantas hidroeléctricas operativas en la cuenca modelada, donde 3 de ellas son alimentadas por el mismo canal. Su caudal y potencia de salida dependen de la demanda de riego suministrada hasta el canal.

Series de tiempo: Los datos de entrada para las ejecuciones de optimización provinieron de múltiples fuentes. Los datos de demanda de riego estaban disponibles desde 2010 en archivos xls. Sin embargo, los datos de caudal solo estaban disponibles desde 2018. Se desarrolló un script de Python para realizar ETL en el conjunto de datos inicial, por lo que las series temporales de demanda resultaron equidistantes.

La temporada de riego comienza en mayo y termina en septiembre. Fuera de la temporada de riego, la gestión de nivel y caudal de los embalses no requiere la coordinación de las autoridades locales.

Métodos

Modelo de balance de masa: Basándose en la calidad y cantidad de los datos numéricos y topológicos disponibles, se aplicó un modelo de balance de masa para calcular los flujos en los canales y arroyos. Sin embargo, RTO también es capaz de resolver un enrutamiento completamente hidráulico al utilizar un esquema semi-implícito de las ecuaciones 1D de Saint-Venant. Por lo tanto, el modelo de balance de masa se construyó más robusto de lo necesario, por lo que enrutamientos más avanzados se pueden aplicar con facilidad.

Se introdujeron condiciones de barrera del nivel y caudal en las entradas y salidas laterales para las demandas de riego. Las centrales hidroeléctricas y los flujos de retorno fueron modelados con estructuras de flujo controlado (Figura 1).



Figura 1.- Trazado esquemático de los canales de riego gestionados.

Optimización multiobjetivo: El método de continuidad aplicado en este artículo se basa en la aproximación lineal de las ecuaciones de aguas poco profundas. Una de las ventajas de este enfoque es que da como resultado un único óptimo global, que es reproducible. Otros métodos directos y algoritmos evolutivos sufren de falta de reproducibilidad debido a la naturaleza aleatoria en la búsqueda de la solución. Como pueden dar lugar a múltiples soluciones, se dificulta la interpretación de los resultados en la práctica. Debido a estas consideraciones, optamos por aplicar el método de continuidad introducido en las ecuaciones de aguas poco profundas por Baayen et al.

Por otro lado, fue fundamental priorizar los objetivos múltiples para imitar un mecanismo de toma de decisiones similar a la referencia proporcionada por las decisiones de los operadores. Un resumen de los objetivos priorizados se muestra en la Tabla 1. Cuanto menor es el número de prioridad, más importante resulta cumplirlo.

Tabla 1.- Múltiples objetivos y su prioridad en la ejecución de la optimización.

Prioridad	Objetivo	Tipo	Total
1	Caudal ecológico	caudal aguas abajo	3

2	Irrigación	caudal aguas abajo/arriba	14
3	Hidroeléctricas	caudal aguas abajo/arriba	3
4	Reservorio	nivel aguas abajo/arriba	9

Marco en tiempo real: Algunos cauces con afluencia lateral tenían medidores instalados para el caudal y nivel, proporcionando datos casi en tiempo real. La incorporación de estas series temporales se realizó utilizando un marco de integración de modelos en tiempo real, el RTO de KISTERS. El marco puede albergar un adaptador de modelo arbitrario, con muy pequeñas restricciones en la codificación. El adaptador en python carga los resultados de la ejecución de optimización en una plataforma en la nube para su visualización y revisión. Este marco de integración de modelo flexible permite la generación de informes, que se pueden utilizar para comunicar a las partes interesadas y enviar el plan de asignación de agua a todas las partes involucradas.

El portal web se configuró de manera que también permita la entrada manual de datos, para que los operadores puedan ingresar valores arbitrarios a los parámetros de entrada.

Plataforma de visualización

La plataforma web de visualización se configuró con los objetivos de: proporcionar las dotaciones de agua, proporcionar los resultados del modelo de los caudales de todos los ríos y canales, proporcionar los consumos, visualizar información de: planes hidrológicos, caudales del SAIH, variables meteorológicas, proporcionar funciones de notificación, alarmas e informes configurables e ingresar observaciones manuales de interés.

Se integraron los siguientes datos a la plataforma web:

Planes Hidrológicos: Se integraron los datos de 2015-2021. Los datos son caudales en m^3/s para las estaciones de La Magdalena, Cebrones del Río y Azud de Sta. Marina.

SAIH: Son datos del SAIH, están a tiempo real y son 10 minutos. Los datos son caudales en m^3/s .

Peticiones de los regantes, caudales y otras variables de operación: Son datos de los resultados de la ejecución del modelo y las peticiones de caudal que realizan los regantes.

Consumos: A partir de las peticiones de los regantes se calcularon los datos de consumo y de consumo acumulado. Los datos son volúmenes en m^3 . Se cuenta con datos históricos desde el 2010.

Meteorológicos: Se encuentran incorporadas las estaciones y datos de las variables meteorológicas medidas por AEMET.

Capas GIS: Se incorporaron capas GIS de los canales y de las áreas de los regantes.

Resultados

Los resultados de los dos últimos años muestran un importante potencial en el modelo para mejorar la gestión del agua. Esto podría resultar en una mejor utilización de la energía hidroeléctrica mientras se aseguran los caudales mínimos ecológicos. Como se puede ver en la Figura 2, el flujo optimizado de las plantas hidroeléctricas muestra una alta demanda, mientras se proporcionan los caudales ecológicos y el abastecimiento de las demandas de riego.

Los resultados demuestran que existen flujos en exceso no utilizados por los generadores de energía hidroeléctrica, ya que estas se encuentran en sus capacidades máximas. Siendo que el

objetivo para el nivel del agua es mantener el nivel operativo, aún deja potencial para el mejoramiento.

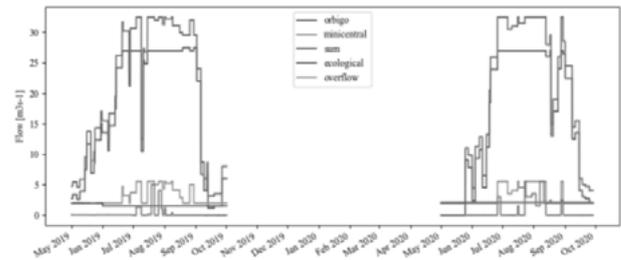


Figura 2.- Caudales ecológicos y caudales de generación hidroeléctrica.

Además, la herramienta de visualización resultó ser intuitiva y fácil de utilizar permitiendo que el operador introduzca los datos del modelo en la aplicación de RTO y lo ejecute para luego visualizar estos resultados junto a los demás (SAIH, planes hidrológicos, etc.).

Conclusiones

Los resultados de la optimización muestran que la asignación de agua se puede automatizar y optimizar incluso en un intervalo de tiempo diario. El método de continuidad aplicado en este estudio resolvió el problema de optimización multiobjetivo. Los tiempos de ejecución cortos dejan potencial en la introducción de modelos más detallados tanto en escala temporal como espacial.

Cada ejecución de optimización tardó alrededor de un minuto, incluidas todas las operaciones como obtener datos, ejecutar los scripts ETL y almacenar en caché las series temporales. Considerando un día como horizonte temporal de simulación, la velocidad de cálculo es adecuada. Por otro lado, para obtener una optimización horaria más detallada, se requiere tener los antecedentes en infraestructura hidráulica para incorporar al modelo generado.

Para utilizar mejor los datos de volumen de precipitación disponible, el volumen de almacenamiento de los embalses podría ser utilizado para aumentar el caudal antes de que el evento de lluvia se produzca, si los datos de pronósticos pueden predecir los eventos de precipitación excesivos que darán lugar a aluviones.

La plataforma web utilizada para la operación y visualización del modelo hidráulico y del Sistema de explotación Órbigo permite optimizar el flujo de trabajo dentro de la CHD. A su vez, se encuentra abierta a mejoras (incorporación de cámaras web, datos ráster, informes personalizados). Por otro lado, la plataforma web es de libre acceso para todos los regantes y personal de la CHD haciendo del flujo de información más transparente.

Referencias Bibliográficas

- J. H. Baayen, T. Piovesan, and J. VanderWees. (2019). "Continuation method for PDEconstrained global optimization: Analysis and application to the shallow water equations". *ArXiv e-prints: 1801.06507v6*
- J. H. Baayen, J. Marecek. (2020). "Mixed-Integer Path-Stable Optimisation, with Applications in Model-Predictive Control of Water Systems". *ArXiv e-prints: arXiv:2001.08121*
- Jenq-Tzong Shiau, Fu-Chun Wu. (2007). "Pareto-optimal solutions for environmental flow schemes incorporating the intra-annual and interannual variability of the natural flow regime". <https://doi.org/10.1029/2006WR005523>
- Álvarez-Vázquez, L.J., García-Chan, N., Martínez, A. et al. (2010). "Multi-objective Pareto-optimal control: an application to wastewater management". *Comput Optim Appl* 46, 135–157 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10589-008-9190-9>

SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL COLAPSO DEL PUENTE SOBRE ARROYO LOS POZOS, MENDOZA, ARGENTINA

Victor H. Burgos

Instituto Nacional del Agua – Subgerencia Centro Regional Andino – INA SCRA, Grupo Reducción de Riesgos a Desastres Hídricos
vburgos@ina.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La madrugada del 27/02/2021, se produjo una crecida aluvional, que causó el colapso de las pilas derechas y superestructura del puente de RN N°40 (S) Tramo: Tunuyán - Luján de Cuyo (Mendoza) sobre Arroyo Los Pozos. Afortunadamente no hubieron víctimas.

Por convenio con la Dirección Nacional de Vialidad, se encargó al INA SCRA estudiar el fenómeno, por lo que el objetivo fue analizar con modelos hidráulicos y/o ecuaciones empíricas las socavaciones producidas en el puente sobre A° Los Pozos. Se presentan los resultados principales obtenidos y algunas conclusiones o hipótesis de rotura.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el departamento de Luján de Cuyo, provincia de Mendoza, en la zona comprendida entre los 33°16'S y 33°20'S y entre 69°04' W y 68°55' W. En Figura 1 se presenta el área de estudio.



Figura 1.- Área de estudio

METODOLOGÍA

Se realiza modelación hidrológica con Arhymo (Maza et al, 1993), estimando áreas de aporte superficial (Burgos, 2015) y caudales para eventos de precipitación de diseño con recurrencias de 2 a 200 años.

Se consideró decaimiento espacial de la tormenta y se utilizó el mapa de CN (Burgos, 2008), actualizando coberturas vegetales con imágenes satelitales L8 y S2A (Takeuchi, 2005).

Se utilizó información topográfica de 10 m de resolución espacial, interferométrica TandemX (DLR, 2016) y restitución aerofotogramétrica de detalle (con 15 y 10 cm de resolución) en situación previa al evento (Marzo 2020) y posterior al evento (Marzo 2021).

Obtenidos los hidrogramas y caudales pico para dichas recurrencias, se simuló en HEC RAS 6.0 (beta) las zonas inundables, usando el modo bidimensional en régimen variable, con flujo mixto (subcrítico a supercrítico) y utilizando las ecuaciones de aguas someras (Brea, 2003, Spalletti, 2000).

Se realizaron grillados de 20 m (para toda la cuenca), y de 2m y 1m para la zona del puente. Se mejoró la resolución de la grilla en zonas características (mediante breaklines o condiciones

internas de borde o subgrillas). Las mallas creadas van desde los 10.000 a 250.000 celdas aproximadamente. Los pasos de tiempo de cálculo van de 0.1 a 15 segundos, con hidrogramas o caudales con un DT de 5 minutos.

Se consideró utilizar como condición de borde, tanto los hidrogramas resultantes del estudio hidrológico, como la precipitación sobre toda la cuenca (tanto en forma total como efectiva) a los efectos de corroborar los resultados de caudal obtenidos por transformación lluvia-caudal. Los descuentos por infiltración y abstracciones iniciales (Ia) se realizaron por el método del CN. Se calibraron los coeficientes de rugosidad de Manning y de Ia.

Luego de estabilizar el modelo hidrodinámico con agua clara y ajustar el coeficiente de Manning para el pico del hidrograma (Figura 2), se realizaron corridas con flujo bifásico de tipo no newtoniano (agua y sedimentos) con modelo reológico de tipo Bingham y lluvia total aplicada en toda la cuenca (90.1 mm para TR=200 años y 81.5 mm para TR=100 años) y, descontando pérdidas con método de CN (ajustando el coeficiente de abstracción inicial).

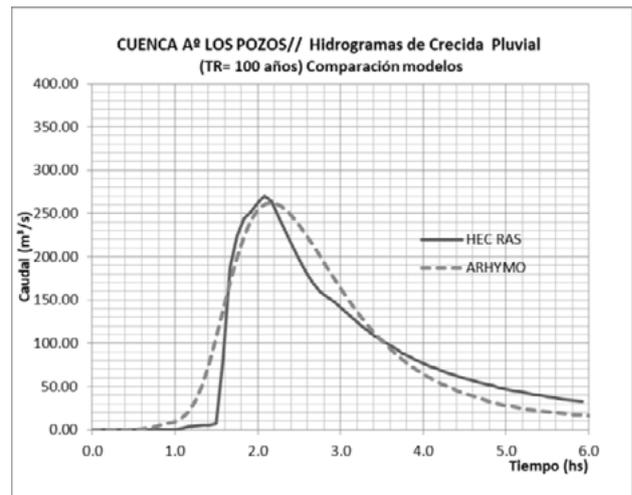


Figura 2.- Comparación de hidrogramas (simulados en Arhymo y HEC RAS)

Se corrieron tres modelos hidráulicos, el primero a escala de cuenca, uno intermedio analizando un tramo de 2.1 km de arroyo, y uno de detalle para 100 m aguas arriba y abajo del cruce.

RESULTADOS

Las máximas velocidades (del perfil transversal del puente Este) se presentan en el estribo izquierdo del puente Este, llegando a los 7.07 m/s. Para la pila derecha (colapsada) las velocidades se estiman en 6.33 m/s.

Los puntos críticos de erosión están en la línea del pedraplenado con piedras articuladas (obra hidráulica existente). Las erosiones se estiman entre 4.88 y 5.60 m durante más de 6 hs, por lo que pudo causar la rotura del pedrapleno por ese lugar (brecha no modelada en el presente estudio) mediante esfuerzo de tracción de los anclajes en estribo izquierdo y esfuerzo cortante en los cables de acero de las piedras centrales.

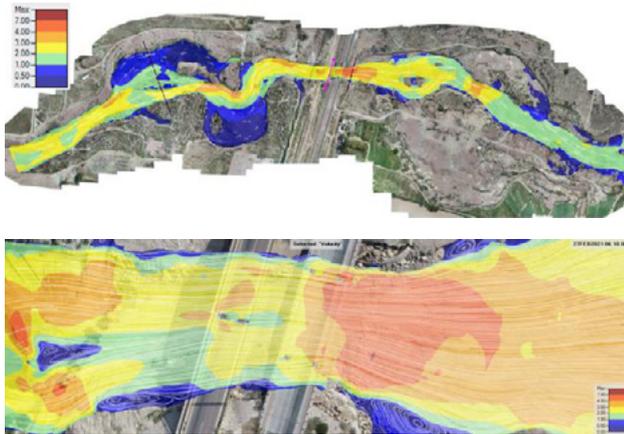


Figura 3.- Mapa de velocidades (sup. Modelo 2, inf.: Modelo 3)

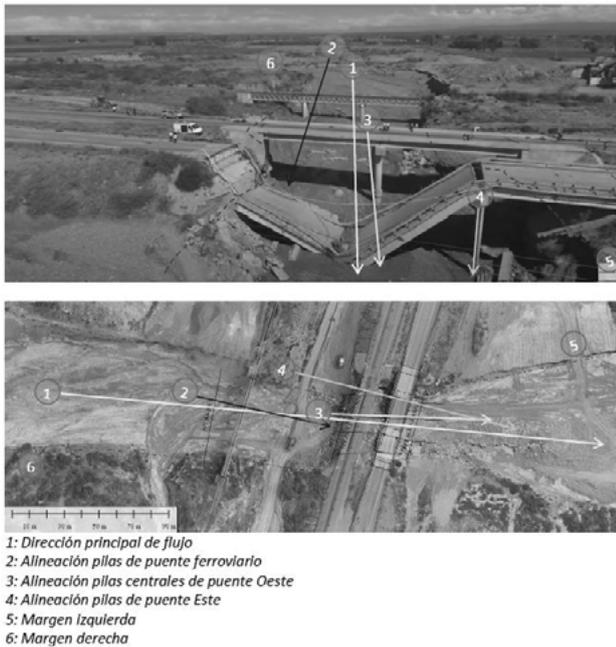


Figura 4.- Diferentes alineaciones y esvajes

HIPOTESIS DE ROTURA

Se pueden considerar las siguientes hipótesis de colapso:

- Aporte de caudal externo, provocado por trasvase de cuenca y/o cambio de uso de suelo de la cuenca superior: La subcuenca R308 (cuya superficie llega a los 14.4 km² (18% del total) podría considerarse como un aporte adicional de la cuenca (que en principio no existía), ya que se evidencia un canal aluvional que trasvasaría parte del caudal al A° Los Pozos. Por otro lado, se estimó que esta subcuenca R308 aporta con una onda de crecida trasladada por cauce aluvional que se superpondría al pico del resto, impactando en el caudal total en un 32%. Además, existe una diferencia importante para el caudal de 200 años (cuando la precipitación aumenta un 11% al pasar de TR100 a TR200 el caudal (modelado hidráulicamente) aumenta un 45% (cuando el impacto en el modelo hidrológico llega al 16%), lo que indicaría un comportamiento hidráulico diferencial, quizás por la superposición de efectos.
- Posible endicamiento (o taponamiento) en canal aluvional y brecha, que produjera una onda de crecida que supere al hidrograma natural de respuesta de la cuenca.
- Mal funcionamiento de pedraplén articulado existente, presentando fallo de anclaje en estribo izquierdo de puente Este, provocando una brecha que rompió la defensa, liberación de rocas y erosión retrocedente hasta descalzar la

pila Este de margen derecha, provocando el colapso del puente.

- Diferentes alineaciones de pilas y estribos de los tres puentes: La alineación de pila izquierda de puente ferroviario en dirección a la pila derecha de puente Este (colapsado); alineación de pila central de puente Oeste hacia pila derecha de puente Este y estribo derecho de puente Oeste con dirección a estribo izquierdo de puente Este) que hayan provocado direcciones de flujo preferenciales hacia las pilas o estribo de puente Este (Figura 4).
- Intensidad y/o duración de la tormenta: Al no poseer registros de la precipitación ocurrida no se puede emitir opinión si la causa del colapso fue el caudal originado por un evento pluvial extremo. En el presente estudio se utilizaron las curvas IDF desarrolladas por el INA SCRA para el piedemonte del Gran Mendoza, validadas mediante método de escalamiento, siendo incluso algo superiores a las intensidades estimadas para la zona bajo estudio. Mención aparte le corresponde a la duración del evento pluvial. En el presente estudio se utilizó 1 hora de duración, cuando los tiempos de concentración se estimaron mayores. El tiempo al caudal pico en general ronda las 2 hs, por lo que quizás sea conveniente estudiar en profundidad su incidencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar los cambios en el potencial de infiltración en los últimos diez años, para evidenciar o descartar el aumento de caudales de respuesta de la cuenca, producto del cambio de uso de suelo.

Analizar y evaluar posibles obras de atenuación de crecidas en canal colector escudo (canal aluvional recto) que conectaría la cuenca R308 con salida al A° Los Pozos, podría disminuir considerablemente el caudal de llegada al puente bajo análisis.

Con los modelos hidráulicos calibrados se pueden analizar propuestas de obras de control (azud) para mitigar los efectos de erosiones.

La incidencia de las canteras de áridos no ha sido evaluada, por falta de datos principalmente. Si bien es de conocimiento general, el desbalance que produce la extracción de un diámetro o rango de diámetros característicos causando un desequilibrio de los sólidos transportados durante crecidas, se considera son de menor cuantía respecto de los cambios de uso de suelo de la cuenca superior.

Referencias Bibliográficas

- Brea, J. D., y Spalletti, P. D.** (2003). Flujos densos e hidráulica de ríos. In Nuevas tendencias en Hidráulica de Ríos. Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Buenos Aires. Argentina.
- Burgos, V.H.** (2008) Estimación de la distribución espacial del Número de Curva en cuencas pedemontanas del Gran Mendoza aplicando técnicas SIG, en Workshop Internacional de Aplicaciones SIG en Hidrología, FICH UNL, Santa Fe, 2008
- DLR German Aerospace Center,** (2016). TanDEM-X IDEM Dataset / Project ID DEM_HYDR1884: "Landslide and flash flood risk assessment on informal foothill settlements at western of Mendoza and Catamarca province, Argentina" © DLR <2016>
- Maza, J.; L. Fornero; C. Litwin y P. Fernández,** (1993). ARHYMO. Manual del Usuario. INCyTH-CRA. Mendoza
- Spalletti, P. D., y Brea, J. D.** (2000). Validación de una metodología para estimación de producción de sedimentos. In Memorias XVIII Congreso Nacional del Agua, Santiago del Estero, Argentina.
- Takeuchi, W. y Yasuoka, Y.,** (2005). "Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data" Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 43 (6): 7-19.

ASPECTOS ALUVIONALES DEL SENDERO TURÍSTICO GEOLÓGICO EN CUENCA DEL A° MAURE, MENDOZA

Victor H. Burgos^{1,2}, Matías Dalla Torre^{3,4}

¹Instituto Nacional del Agua – Subgerencia Centro Regional Andino – INA SCRA, Grupo Reducción de Riesgos a Desastres Hídricos

²Instituto Regional de Estudios del Agua – IREA - Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

³Municipalidad de Godoy Cruz, Dirección de Planificación Urbana,

⁴Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, CEHA- Centro de Estudios del Hábitat Humano, Universidad Nacional de Cuyo
vburos@ina.gov.ar, matiasdallatorre@gmail.com

Introducción

Las primeras plataformas de pensamiento: apologética, precautoria y adaptativa constituyeron las bases de la plataforma científico-céntrica del turismo (Jafari, 2001) que dieron paso a la plataforma de Interés Público y con el correr del tiempo, al turismo científico o ecoturismo, presentado como un conjunto de alternativas al turismo de masas, comercializado o duro. Abbondio (2019) indica que el turismo científico, genera valor agregado mediante la inserción de conocimiento, y es antagónica al turismo masivo, al procurar actividades poco concentradas en cantidad de personas, tiempo y espacio. Según J. Ripalda (2020) se pueden resaltar los siguientes objetivos de los senderos:

- Reducir el impacto humano en áreas naturales.
 - Recuperar el patrimonio cultural e histórico.
 - Incentivar la educación ambiental como un recurso didáctico.
- En línea con estos objetivos, el Municipio de Godoy Cruz, inauguró recientemente el Sendero Geológico Turístico en inmediaciones del Puesto Las Trancas, al oeste del ejido urbano, en zona de piedemonte.

Objetivo

El objetivo del trabajo fue identificar, inventariar y valorar aspectos institucionales e hidrológicos del sendero turístico, desarrollado por el Municipio de Godoy Cruz en el piedemonte al oeste de la ciudad, para fomentar el turismo científico.

Área de estudio

El área de estudio se localiza al E de la Sierra de Uspallata y al O del área urbana de Godoy Cruz (32°55'30" S; 69°00'00" O), a 13 km al norte del río Mendoza, provincia de Mendoza, Argentina.



Figura 1.- Ubicación área de estudio, límite administrativo, área urbana (zona gris oscura) y Subcuencas A° Maure (zona gris clara)

Descripción aluvional de la región

El sendero se ubica en la cuenca Zanjón Maure, de 7092 has de superficie. En la cuenca se encuentra el Dique Maure, que regula una superficie de 5875 has. Las descargas del dique son recibidas por el colector principal Zanjón Maure hasta su punto de vuelco en el canal matriz Cacique Guaymallén.

El dique Maure es una presa de atenuación de crecidas ejecutada en el año 1940, cuyo principal objetivo es amortiguar el efecto aluvional, reteniendo escorrentías y erogando de manera controlada hacia la ciudad (Infante et al, 2020). Tiene un coronamiento de 239 m y 20 m de altura sobre el cauce con paredón seco escollero. Tiene una capacidad original de 0,53 Hm³ y posee dos torretas de descarga por orificio con capacidad

de 38 m³/s y un vertedero lateral con canal de evacuación en hormigón armado con capacidad para 200 m³/s (López et al, 2008, Guisasola, 2010).

Estudios recientes indican que los cambios de uso de suelo, como la urbanización del piedemonte o los incendios, generan graves impactos hacia aguas abajo. Los principales son el aumento de escorrentía, aumento de velocidades de flujo, y disminución de tiempos de arribo de la crecida aluvional, llegando a multiplicar hasta por 6 veces el caudal original (Burgos, 2019, 2021).

Entre los principales servicios ecosistémicos que presta la zona (y que hay que preservar), se destacan los siguientes:

- Servicios de regulación: reducción del riesgo aluvional, prevención de erosión y control del balance de sedimentos.
- Servicios de producción de agua: recarga de acuíferos.
- Servicios de provisión: biomasa y recurso hídrico superficial (vertientes), materias primas, sombra y abrigo.
- Servicios de soporte: Aquellos que mantienen la biodiversidad, formación de suelos, material genético, polinización, nutrientes, etc.
- Servicios culturales: Recreación, educación, espiritualidad y deportes (senderismo, ciclismo de montaña, etc).

Farreras (2014) estima que un incremento del 1% del riesgo aluvional equivale en una pérdida de 6% de bienestar individual.

Por otro lado, por la emergencia sanitaria Covid-19 agregó el requerimiento social de contar con espacios públicos abiertos (a contraposición del encierro y cuarentena) por lo que preservar estas áreas es primordial.

Aspectos institucionales

El Plan Municipal de Ordenamiento Territorial de Godoy Cruz - PMOT (Ord.6876/2018) define metas y acciones basadas en ejes estratégicos alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en cumplimiento de los lineamientos del Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) según Ley 8999/17.

En relación al área del piedemonte, el PMOT clasifica el área en: 1) "Zona con características especiales de urbanización" y 2) "Zona especial de conservación natural municipal". Ésta última, es una zona protegida con usos restringidos permitiendo actividades de conservación, educación, investigación y monitoreo del ambiente.

Esta clasificación pretende mitigar la intensa presión urbana sobre esta área. La zona urbana del departamento no cuenta con terrenos urbanos disponibles, lo que hace inevitable la expansión hacia el piedemonte. Esta situación podría agravar los riesgos ambientales si no se regula y controla adecuadamente, considerando además que esta área carece de servicios básicos para el desarrollo urbano.

Aspectos hidro-geomorfológicos

El sendero se ubica en la subcuenca 0602 del Maure (INA-CRA, 2019), con una superficie de drenaje de 802 ha, (11 % de la superficie total de la cuenca) recibiendo aportes del faldeo norte del C° Melocotón por la quebrada de la Tranca. Iniciando en el

Puesto Ortega (actual Pto. Las Trancas), a unos 13 km al oeste de la ciudad, y tras recorrer unos 850 m se arriba al antiguo Pto. Las Trancas, punto que marca la mitad del recorrido. Esta zona es coincidente con la intersección entre la precordillera y el piedemonte, y el knickpoint o ápice del abanico aluvional producido geomorfológicamente por una escarpa de falla (Moreiras et al, 2014). El ascenso máximo es de unos 50 m, con pendientes que van entre 6 y 16% (Figura 2).

El recorrido del sendero se completa descendiendo por la quebrada, con pendientes que entre 5 y 7 %. Esta quebrada junto con los aportes del faldeo sur del C° Melocotón, 1400 m aguas arriba del Puesto Punta del Agua, forma la quebrada de Pardo, que llega hasta el Dique Maure luego de transitar unos 10 km.

En la quebrada se pueden observar en ambas márgenes, vestigios de antiguos aluviones con taludes casi verticales formados por fanglomerados (mezcla heterogénea formada por clastos de gran tamaño, fragmentos de roca, ligeramente desgastados por el agua, con una matriz rica de arenas y limos).

Se puede identificar en la zona, suelos de tipo entisoles torrifluventes y torriortentes típicos y pequeñas vertientes, o descargas de agua subsuperficial, reconocidas por la vegetación típica (cortaderas o halófitas genéricas) ubicadas en pequeñas geoformas donde la humedad puede permanecer más tiempo. La erosión está muy extendida en el área y la alta erodabilidad de los suelos contribuye a la aceleración del proceso de denudación resultante (Masotta y Berra, 1996).

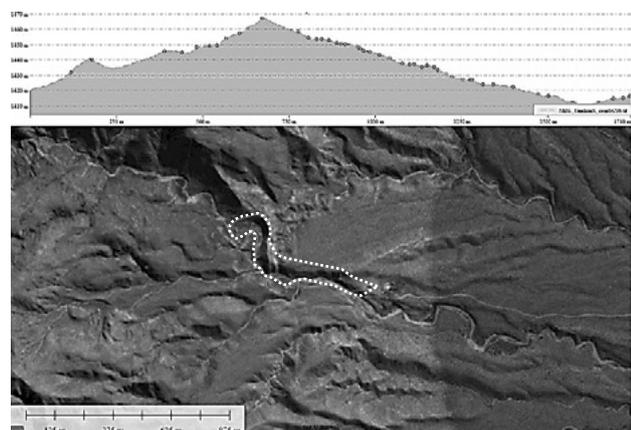


Figura 2.- Sup.: Perfil topográfico del sendero Inf.: Planimetría

Tabla 1.- Precipitaciones medias y máximas anuales en estaciones pluviométricas cercanas (seg/registros de la red telemétrica del INA)

Estac.	Denom.	Período	Long [Años]	PMA [mm/año]	PMDA [mm/día]
500	El Peral	1983 –2018	35	357.6	75
600	El Chambón	1983 –2004	22	301.1	76
1000	Punta de Agua	1983 –2002	19	308.5	56

Aspectos hidrológicos

Las precipitaciones son de tipo convectivo en su mayoría, de corta duración (menores a 90 minutos) y de gran intensidad (existen eventos que superan los 5 mm/min). La precipitación media anual es de 316 mm (Tabla 1). La zona alta de la cuenca, recibe las mayores lluvias (por efectos orogénicos) y debido a las altas pendientes de su red de drenaje (superiores al 15%) las escorrentías adquieren velocidades erosivas, transportando sedimentos hacia aguas abajo.

Las precipitaciones máximas diarias de la zona oscilan entre 56 y 76 mm/día, siendo los mayores eventos los siguientes:

- El Peral: 75 mm (9/3/1991), 65 mm (23/12/1984), 62 mm (21/11/1985), 60 mm (7/3/1990), 50 mm (10/11/2015).
- El Chambón: 76 mm (21/11/1985), 51 mm (13/4/1998), 50 mm (18/2/1998), 49 mm (16/4/2000).
- Punta del Agua: 56 mm (2/3/1987), 49 mm (8/2/1990), 48 mm

(4/3/2001), 47 mm (24/9/1986), 40 mm (6/1/1991).

Conclusiones y Recomendaciones

Dentro de las actividades de extensión de la Universidad Tecnológica Nacional se encuentra la difusión del conocimiento sobre los recursos hídricos, y mediante charlas técnicas realizadas durante las actividades turísticas propuestas, se promueve la educación ambiental y la concienciación sobre las amenazas aluvionales del piedemonte mendocino.

Colaborar en la difusión y educación de programas y proyectos en búsqueda de una mayor concientización de los problemas hídricos, es también objetivo del Instituto Nacional del Agua.

En consonancia con la legislación vigente, una de las propuestas de manejo del piedemonte es relativa a la educación ambiental, por lo que el geosendero cumpliría dicha función.

Promover la observación, reconocimiento y conservación de servicios ecosistémicos aluvionales, puede potenciar estas actividades turísticas en el piedemonte del Gran Mendoza.

Referencias Bibliográficas

Abbondio, F. G. Relevancia de los centros de investigación para el desarrollo del turismo científico: un caso de estudio en el Centro Nacional Patagónico (CCT CONICET CENPAT), Puerto Madryn. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina (2019).

Burgos V.H. “Impactos hidrológicos causados por urbanización en piedemonte del área metropolitana de Mendoza y propuestas sostenibles de mitigación” 1er Congreso Interuniversitario I+D+i Mendoza (2021).

Burgos V.H., Gärtner N. Salcedo A.P., Martínez L.J., Rapali, N. “Análisis multicriterio de amenazas aluvionales al oeste del área metropolitana de Mendoza” en 14° Encuentro del International Center for Earth Sciences - ICES (2019).

Farreras, V. ; Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el piedemonte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. Rev. FCA UNCUYO 46(2): 113-133. ISSN 1853-8665 (2014).

Jácome Ripalda, K.A. Diseño de senderos interpretativos enfocados al Turismo Científico (Turismo de Lupa). Caso de estudio: Refugio de vida silvestre Pasochoa. Universidad Central del Ecuador. Quito (2020).

Jafari, J. The Scientification of Tourism. Host and Guest Revisited: Tourism issues of the 21st Century. Chapter 2, 28-41 (2001).

Guisasola, L.E., “Situación Aluvional de la Ciudad de Mendoza, su Sistema de Mitigación de Crecidas”, p 165 - 191 Capítulo 9 del Libro “Amenazas Naturales de Origen Hídrico en el Centro – Oeste Árido de Argentina” Vich, A.; Gudiño M.E. (editores) Edit. Fund. Univ. Nac. de San Juan (2010).

INA-CRA “Evaluación de amenazas aluvionales al oeste del Área Metropolitana de Mendoza” IT191-CRA. Proyecto de Cooperación Técnica GRT/MC 14 303-AR (2019).

Masotta, H. T., & Berra, A. B. Los suelos de la cuenca del Arroyo Maure, provincia de Mendoza. Multequina, (5), 57-76. (1996).

Moreiras, S. M., Giambiagi, L. B., Spagnotto, S., Nacif, S., Mescua, J., & Toural, R. El frente orogénico activo de los Andes centrales a la latitud de la ciudad de Mendoza (32°50’-33°S). Andean Geology 41 (2): 342-361. (2014)

Infante, P., Guisasola, L., Rodríguez, S., Barchiesi, W., Delgado, J., & Moretti, P. “Situación Aluvional del Gran Mendoza”. En Libro de Actas X EnIDI, pp126-133. Compilado por Javier Gitto; ISBN 978-950-42-0197-7 (2020).

López, P. M.; J. Maza; R. Seoane; C. Moyano; G. Almeida; V. Burgos; A. Callau P.; M. Nuñez. “Estudios de Actualización Hidrológica del Proyecto: Complejo de Obras Presa Chacras de Coria para Atenuación de Crecidas y demás Obras Complementarias”. IT N° 110-CRA (2008).

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE CAUDAL LÍQUIDO EN CURSOS FLUVIALES MEDIANTE EL USO DE ESTACIONES FIJAS DE LSPIV

Contreras L. Lautaro^a, Massó Leandro^{a,b}, Patalano Antoine^{a,b}, Tarrab Leticia^a, Rodríguez Andrés^{a,b} y García C. Marcelo^b

^a LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

^b IDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCFyN, Córdoba, Argentina.

E-mail: luca.contreras@mi.unc.edu.ar

Introducción

La estimación de caudales en una sección transversal de un río para un rango de profundidades de flujo, es de una gran importancia en la ingeniería fluvial, y como tal, ha atraído la atención tanto de ingenieros como científicos, quienes intentaron reconstruir la relación entre H , tirante local del agua, y Q , descarga volumétrica del río. La curva $H-Q$ para una sección de un tramo de río es necesaria en lo que respecta a la gestión y manejo de los recursos hídricos, no sólo porque vincula descargas con niveles de agua, sino porque es utilizada para analizar crecidas o eventos extraordinarios. Si bien en la práctica la relación se obtiene a partir de aforos sistemáticos en una determinada sección de control para distintos estados del río, la realidad indica que dicha práctica es sumamente costosa y complicada de realizar en casos de eventos extremos (crecidas o estiajes) con los instrumentos convencionales. Los avances tecnológicos en lo que respecta a mediciones mediante sensores remotos (cámaras fijas, vehículos aéreos no tripulados -drones-, etc) han permitido avanzar en el desarrollo de técnicas de velocimetría por imágenes (LSPIV – LSPTV – STIV) disponibles en el estado del arte para caracterizar flujos de agua con superficie libre durante condiciones hidrológicas extremas (Patalano, 2017).

En lo que respecta a la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV, por sus siglas en inglés), esta constituye una técnica no intrusiva que permite realizar aforos en condiciones de flujo con grandes profundidades y altas velocidades, y que a su vez resulta de bajo costo en comparación con las otras disponibles en el estado del arte. Aun así, su aplicación presenta grandes áreas de vacancia para su desarrollo y mejora, entre las que se encuentra la necesidad de un proceso de automatización en la selección de los parámetros de procesamiento, selección que en la actualidad resulta altamente subjetiva y se ve condicionada según la experiencia previa del usuario. Más aún en las denominadas estaciones fijas de LSPIV, estaciones que realizan un monitoreo automático y continuo de un curso de agua a través de cámaras de vigilancia. Es por ello que resulta oportuna la realización de un análisis de sensibilidad sobre los diferentes parámetros de entrada que se deben definir a la hora del procesamiento con LSPIV.

Materiales y Métodos

Para realizar un análisis de sensibilidad sobre los diferentes parámetros de la técnica se debe contar con datos precisos de caudales con los cuales comparar los resultados del procesamiento. Es por ello que en el presente trabajo se realizó dicho análisis sobre una estación fija de LSPIV de monitoreo del río Castor, ubicada en la provincia de Ontario, Canadá. Esta estación fue instalada y es operada por la Agencia Medioambiental y de Cambio Climático de Canadá (Environment and Climate Change Canada, ECCC por sus siglas en inglés), agencia que gentilmente compartió una base de datos para su análisis. Esta base de datos se compone de 48 videos registrados entre noviembre del 2019 y junio del 2020, de los que se cuenta con los niveles de superficie de agua de cada uno, los cuales oscilan entre los 0.62 metros y los 2.37 metros, y los

caudales asociados a cada video estimados a partir de la curva de descarga del sitio obtenida a partir de aforos con otras técnicas.



Figura 1.- Ubicación del área de estudio (río Castor, Canadá)

Específicamente, los videos se encuentran registrados con una resolución de 2048x1536 pixeles a una tasa de muestreo de 30 cuadros por segundo y además se cuenta con información topográfica relevada de una sección transversal al flujo y una nube de GRPs necesaria para la corrección de perspectiva de los resultados de velocimetría por imágenes.

Para realizar un estudio completo de los diferentes parámetros del procesamiento es necesario procesar repetidamente el set de videos variando cada parámetro. Para ello se utilizó el paquete computacional RIVeR v2.6 (Patalano, 2017) que permite el procesamiento por lotes, adaptado para el tratamiento de las grandes bases de datos multimedia que registran las estaciones fijas de LSPIV.

Se decidió realizar este análisis de sensibilidad sobre los parámetros más usuales con los que debe lidiar el usuario de LSPIV y de los cuales aún se posee cierta incertidumbre acerca de su influencia sobre los resultados finales, ellos son: la cantidad de imágenes procesadas (duración de video), la frecuencia de muestreo de las imágenes (Frame step) y el tamaño de las ventanas de interrogación y la cantidad de pasadas, siendo estos últimos, parámetros relacionados al algoritmo de interrogación en el análisis de velocimetría.

A partir de la experiencia actual sobre el manejo de la técnica, se definieron distintas configuraciones en donde se variaron los parámetros en análisis, y con el fin de analizar únicamente la incidencia de ellos sobre los resultados del procesamiento, se dejaron fijos el resto de parámetros con una configuración estándar.

Para el análisis sobre la duración de video se utilizaron 6 configuraciones distintas (Tabla 1).

Tabla 1.- Configuraciones para el análisis de duración de video.

Conf.	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6
Durac. [s]	2	4	6	8	10	15

Para el análisis sobre la frecuencia de muestreo de las imágenes, parámetro que se modifica a partir del llamado “frame step”, se definieron 12 configuraciones (Tabla 2).

Tabla 2.- Configuraciones para el análisis del frame step.

Conf.	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	B.6	B.7	B.8	B.9	B.10	B.11	B.12
Frame step	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20

Para el análisis del tamaño de las ventanas de interrogación y la cantidad de pasadas, parámetros del algoritmo de interrogación en el análisis de velocimetría y que íntimamente relacionados, se definieron 9 configuraciones (Tabla 3).

Tabla 3.- Configuraciones para el análisis de tamaño de ventana y cantidad de pasadas.

Conf.	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8	C.9
Int. Area	64	128	256	64	128	256	64	128	256
Step PIV	32	64	128	32	64	128	32	64	128
Passes	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Int2	0	0	0	32	64	128	32	64	128
Int3	0	0	0	0	0	0	16	32	64

Luego del análisis, y conocida la influencia de cada parámetro sobre los resultados finales de caudal, fue posible definir una serie de recomendaciones útiles para el usuario a la hora de definir los parámetros a utilizar para el procesamiento de una nueva estación fija.

Por último, se aplicaron dichas recomendaciones sobre una estación fija de LSPIV en operación en la provincia de Córdoba.

Resultados

En cuanto al análisis sobre la duración de video, se pudo concluir que variar este parámetro no implica un cambio sustancial en los caudales estimados a partir de LSPIV. En cuanto al tiempo de procesamiento requerido, se observó que este aumenta al incrementar la duración. Este aumento del costo computacional y la baja variabilidad de los resultados indican que es preferible utilizar la menor duración que otorgue los mayores valores de caudal y presente menor variación, ya que esto asegurará la calidad de los resultados y a su vez permitirá un rápido procesamiento.

Para el caso de la frecuencia de extracción de imágenes, se analizó la variación de los resultados al aumentar el frame step, lo que evidenció una dispersión notoria de los resultados al aumentar este valor. Luego se analizó el comportamiento general de los resultados de caudal, pudiendo así separar tres patrones de comportamiento diferentes: videos tipo 1, donde el caudal disminuye al aumentar el frame step, videos tipo 2, donde el caudal aumenta y videos tipo 3, donde el caudal permanece relativamente constante. Se hizo uso de los datos de caudal suministrados por el ECCC para analizar los errores relativos de los caudales estimados, permitiendo así definir un rango óptimo de frame step entre 1 y 6, ya que valores mayores evidencian una pérdida de la correlación cruzada y amplios errores relativos. En cuanto al tiempo de procesamiento requerido, se observó una disminución considerable del tiempo de procesamiento al aumentar el frame step hasta un valor de 4, más allá de ese valor la tendencia observada es asintótica.

Por último, se realizó un análisis en simultáneo sobre el tamaño de ventana de interrogación de la primera pasada del algoritmo y la cantidad de pasadas a utilizar. Al comparar los resultados de caudal obtenidos por LSPIV con los datos de caudal suministrados por el ECCC, se observó que se obtienen resultados con un menor error relativo al aumentar el tamaño de ventana y al aumentar la cantidad de pasadas. Por lo tanto, resulta

recomendable la utilización de un tamaño de ventana de la primera pasada del algoritmo de al menos 128x128 píxeles, siendo recomendable para el río Castor un tamaño de 256x256 píxeles. Al aumentar la cantidad de pasadas, se observó una mejora en los resultados obtenidos, mejora que resulta asintótica. El costo computacional fue analizado a partir del registro del tiempo requerido para el procesamiento del set completo de videos. Se pudo notar que este se incrementa considerablemente al aumentar la cantidad de pasadas, mientras que al aumentar el tamaño de ventana se observa una tendencia al incremento del costo computacional mucho menor.

A partir del análisis fue posible realizar una serie de recomendaciones definiendo un rango acotado de valores entre los cuales variar cada parámetro (Tabla 4).

Tabla 4.- Tabla resumen con recomendaciones para la parametrización del procesamiento.

Duración [s]	Entre 6 y 10 segundos
Frame step	1, 3 o 4
Tamaño de ventana de interrogación [px]	Mínimo 128x128 px Recomendado 256x256 px
Cantidad de pasadas	Mínimo 2 - Recomendado 3

Con el fin de demostrar la validez de dichas recomendaciones, se aplicaron las mismas sobre la estación fija “CAEIRO” (Figura 2), denominada así por el proyecto de Cazadores de Crecidas (Patalano et al., 2015), la cual es una estación de monitoreo sobre el río Cosquín, ubicada en la localidad de Santa María de Punilla, en la provincia de Córdoba.



Figura 2.- Área de estudio (estación Caeiro), con nube de GRPs y sección transversal utilizada.

Conclusiones

Se realiza un análisis de sensibilidad sobre tres de los parámetros más relevantes en el procesamiento con estaciones fijas de LSPIV, determinando su influencia sobre los resultados finales de caudal líquido y sobre el tiempo de procesamiento requerido. A partir de ello se define una serie de recomendaciones para la parametrización del procesamiento de estaciones fijas de LSPIV, estableciendo rangos acotados para un breve análisis de sensibilidad sobre dichos parámetros. Finalmente, se aplican estas recomendaciones sobre una estación fija de la provincia de Córdoba, obteniendo de manera relativamente rápida la configuración óptima de dicha estación.

Referencias

- Patalano, A. (2017). “Desarrollo e implementación a gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre”. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/6305>
- Patalano, A., Moreno, L., García, C. M., & Guillén, N. F. (2015). Desarrollo e implementación del proyecto “cazadores de crecidas” en ríos de la provincia de Córdoba. *V Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica*.

PROGRAMA DE APROVECHAMIENTOS REGIONALES MULTIPROPÓSITO (PARM): UNA HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO.

Rodolfo E. Dalmati¹, Ailín Pertierra², Ignacio Pereyra Yraola³, Daiana C. Scasserra¹

¹ Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires (FIUBA). ² ORSEP, ³ FIUBA/NTNU. Argentina
rdalmati@fi.uba.ar, apertierra@orsep.gob.ar, ipereyra@fi.uba.ar, dscasserra@fi.uba.ar

Introducción

Los aprovechamientos multipropósito representan una infraestructura estratégica para el desarrollo sustentable del país. Dentro de sus múltiples beneficios, incluye la función de generar energía hidroeléctrica que, por su capacidad de almacenamiento y flexibilidad operativa, los convierte en una solución eficaz para sustentar otras energías renovables intermitentes con limitaciones de almacenamiento. Asimismo, contribuyen al abastecimiento de agua potable, riego y uso industrial, control de crecidas, navegación fluvial, turismo y recreación, entre otras.

En Argentina, la potencia instalada de energía hidroeléctrica representa actualmente el 26% del total, muy por debajo del 46% que poseía en el año 1994, cuando alcanzó su máximo histórico (MinEM, 2017). Luego de ello le sucedieron tres décadas con escasas inversiones en nuevos aprovechamientos (casi exclusivamente potencias menores a 50 MW), resultando en la disminución en la participación de una tecnología de gran escala, eficiente y de bajo costo operativo, pero que requiere planificación integral y una gran inversión inicial.

Los efectos del cambio climático, observados y proyectados, están produciendo un impacto significativo en la distribución y concentración de los recursos hídricos y en la matriz energética del país. Se espera una fuerte disminución de la disponibilidad de agua en el Norte, el Oeste y la Patagonia, causado por el aumento de temperatura y retroceso de los glaciares andinos, y una alta frecuencia de precipitaciones extremas e inundaciones en las regiones húmedas del Noreste (MAyDS, 2017). Esto urge la necesidad de contar con embalses para atenuar los efectos de sequías prolongadas en zonas áridas y semiáridas, brindando nuevas fuentes seguras de agua dulce para abastecimiento, agricultura y ganadería, y a su vez, garantizar la protección contra crecidas de poblaciones expuestas en zonas de excedente hídrico.

En Argentina se han realizado un gran número de estudios y proyectos de presas a lo largo de los años, con distintos grados de avance, y en muchos casos, desactualizados por el paso del tiempo. El Programa de Aprovechamientos Regionales Multipropósito (PARM) es una propuesta que tiene como objetivo generar un ordenamiento de los proyectos de aprovechamientos multipropósito en cartera, para apoyar la toma de decisiones gubernamental en la construcción de este tipo de obras, y articulado como un elemento importante en la política de Estado para el cumplimiento con los objetivos de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático. Sus principales objetivos son:

- Recopilar información disponible de todos los aprovechamientos multipropósito en estudio del país.
- Evaluar bajo criterios uniformes todos los proyectos en cartera, sus cualidades y estado de desarrollo en el diseño.
- Generar una hoja de ruta como guía de planificación gubernamental de inversión en aprovechamientos multipropósito nuevos y optimización de existentes.

El programa ha sido pensado como una iniciativa que debe abarcar distintas instituciones públicas y privadas tanto a nivel

nacional como provincial a fin de tener una política de Estado en el tema. A raíz de la experiencia nacional en este tipo de aprovechamientos, eliminar la incertidumbre del costo final de un proyecto sólo se logra a través de un mayor grado de conocimiento de la obra y su medio. La visión del PARM es la de alentar el desarrollo de los proyectos de forma ordenada, optimizando los costos monetarios de inversión en estudios básicos, y la correcta planificación a nivel nacional de los proyectos hídricos multipropósito, de manera de minimizar los riesgos de abandono o estancamiento de los proyectos por causas ajenas a los aspectos de ingeniería como conflictos sociales, ambientales, políticos o económicos.

El programa ha desarrollado objetivos secundarios, como la recopilación de información del archivo histórico de los proyectos en una única base de datos y la aplicación de la metodología a una cartera de aprovechamientos multipropósito de relevancia.

Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo utilizada para la generación del ordenamiento resulta de una evaluación multicriterio para la cual se analizan diversos indicadores representativos, que abarcan gran parte de los aspectos críticos que impactan en la factibilidad técnica, económica y financiera de cada uno de los proyectos, incluyendo también su factibilidad socioambiental. El proceso de selección de criterios y valoración está basado en un enfoque multidisciplinario, generando un espacio de debate que reúna a todos los actores relacionados con la gestión integral del agua.

El programa no pretende desarrollar estudios técnicos faltantes, sino hacer una evaluación de la suficiencia y grado de avance de la información existente de manera de estudiar la situación actual de cada proyecto, sus fortalezas y debilidades.

Todos los proyectos seleccionados cuentan con producción hidroeléctrica, teniendo además otras funciones como control de crecidas, riego y abastecimiento de agua para poblaciones o industrias, que impactan en el desarrollo regional.

Las etapas de desarrollo del trabajo han sido las siguientes:

I. Recopilación de antecedentes

Esta instancia inicial consistió en unificar toda la información disponible sobre proyectos de generación hidroeléctrica y multipropósito a nivel nacional en una base de datos única, para luego evaluar en forma general la información técnica disponible de cada proyecto con su respectivo grado de avance.

Para ello se han consultado distintas fuentes relevantes, tales como el Centro de Documentación e Información de Energía (CeDIE), dependiente de la Secretaría de Energía, donde se encuentran los antecedentes de proyectos de las ex empresas estatales Agua y Energía S.E. e Hidronor S.A., archivos de organismos y empresas, e informes resultantes del Programa de Estudios del Sector Eléctrico (PESE).

A partir de esta recopilación, se ha elaborado una base de datos con el fin de crear una fuente sólida de información que contenga, para cada proyecto, la totalidad de los estudios

realizados, informes y documentos gráficos. Este trabajo tiene un valor en sí mismo, al proponer una base de datos nacional digital unificada con el fin de facilitar la información disponible del conocimiento que posee el país de este tipo de proyectos.

II. Matriz de Comparación

Se elaboró una matriz de comparación, donde para cada proyecto se relevó información clave de acuerdo con criterios que los caracterizan globalmente. El fin de esta matriz es el de comparar los proyectos de forma expeditiva y clasificarlos. A su vez, ha permitido analizar qué aspectos de estos son relevantes para diseñar una metodología de evaluación multicriterio por puntajes.

III. Evaluación Multicriterio

Se ha decidido realizar un análisis multicriterio, considerando dos ejes temáticos independientes: ambiental por un lado y técnico-económico por el otro. Estos dos aspectos son puntuados en una escala de cero (0) a diez (10) y resultando en un par de valores utilizado para comparar los proyectos entre sí, considerando así ambos ejes exclusivos y de igual significancia. Por lo tanto, tal como muestra la Figura 2, los proyectos prioritarios serán aquellos con bondades en ambos aspectos.

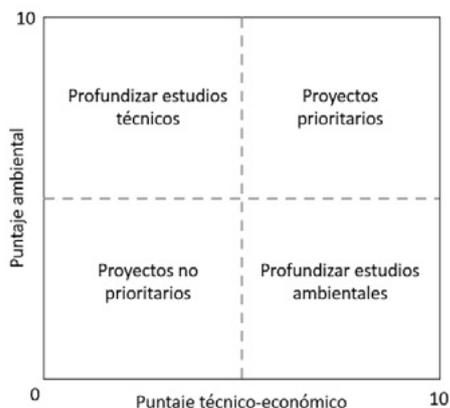


Figura 1.- Enfoque Metodológico de la evaluación multicriterio

Este tipo de técnica ha sido reconocida como de gran utilidad especialmente en etapas de evaluación y planeamiento de proyectos, para detectar aquellos casos de proyectos poco deseables, y planificar la concentración de recursos a aquellos de mayor potencial (Aylward et al., 2001). Para este caso en particular, el proceso de evaluación se ha realizado principalmente por el juicio de expertos, considerando tanto la opinión de los autores como de referentes en las distintas disciplinas.

Para la obtención de ambos puntajes, técnico-económico y ambiental, cada aspecto está compuesto por distintos criterios relacionados, los cuales reciben un puntaje individual para cada proyecto analizado. Cada uno de los criterios describe los aspectos y sus características más críticas, atendiendo a las recomendaciones internacionales y buenas prácticas para el desarrollo de este tipo de aprovechamientos (Ledec, G., Quintero, J. D., 2003). La selección de criterios se hizo de manera que éstos fuesen aplicables a todos o la gran mayoría de los proyectos y procurando que sean comparables y no redundantes. A su vez, cada criterio recibe un peso relativo dentro de ambos puntajes globales, presentados en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1.- Criterios socio-ambientales del PARM

ID	Índice	Un.	Ponderación
1.1	Superficie a Inundar / MW	[ha/MW]	10.1%
1.2	Población susceptible de recibir impacto	[pers.]	13.6%
1.3	Tiempo de residencia	[día]	6.9%
1.4	Afectación de hábitats naturales críticos	[-]	11.5%

1.5	Afectación a pueblos originarios	[-]	10.3%
1.6	Aprovechamientos ubicados en el mismo río	[-]	5.1%
1.7	Especies vulnerables o en peligro de extinción	[-]	11.1%
1.8	Riesgo sísmico	[-]	7.2%
1.9	Afectación de rutas existentes	[km]	4.1%
1.10	Protección de crecidas	[pers.]	10.3%
1.11	Nivel de avance de estudios socio-ambientales	[-]	9.9%

Tabla 2.- Criterios técnico-económicos del PARM

ID	Índice	Un.	Ponderación
2.1	TIR (Tasa Interna de Retorno)	[%]	72.7%
2.2	Riesgos constructivos	[km de túnel]	27.3%

IV. Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos con la Matriz Multicriterio, es posible identificar aquellos proyectos que resultan favorables para su implementación. A partir de esta definición es posible definir aquellos proyectos en los que resulta conveniente profundizar estudios, para contar con un nivel de conocimiento de los mismos tal que permitan ser contemplados en un plan de inversiones en el sector a corto plazo.

Conclusiones

El programa es una propuesta para planificar el uso de los recursos hídricos de manera integral, abordando su aprovechamiento desde el punto de vista multicriterio. En este sentido, uno de los beneficios del PARM ha sido la oportunidad de contar con una mesa abierta de debate con participantes de distintas instituciones y expertos de distinta formación relacionados con el agua. A su vez, el PARM analiza la gran mayoría de los proyectos multipropósito de los que se dispone de información en el país. Esto hace que el rango asumido sea representativo y permita diferenciar un proyecto de otro y, por lo tanto, elegir una escala que permita comparar uno de otro. Por otro lado, se ha recabado y clasificado información de gran cantidad de proyectos sistematizando su contenido en una única base de datos compartida entre los distintos organismos participantes.

Palabras Clave: aprovechamientos multipropósito, evaluación multicriterio, desarrollo sustentable, planificación, cambio climático.

Referencias Bibliográficas

- Aylward, B., Berkhoff, J., Green, C., Gutman, P., Lagman, A., Manion, M., Markandya, A., McKenney, B., Naudascher- Jankowski, K., Oud, B., Penman, A., Porter, S., Rajapakse, C., Southgate, D., and Unsworth, R. (2001); *Financial, Economic and Distributional Analysis, Thematic Review III.1.* prepared as an input to the World Commission of Dams, Cape Town (www.dams.org).
- Ledec, G., Quintero, J. D., (2003). *Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects.* Sustainable Development Working Paper N° 16. The World Bank, Latin America and Caribbean Region.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina, (2017). *Segundo informe bienal de actualización de la República Argentina a la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.* <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico>
- Ministerio de Economía de la Nación, (2017). Secretaría de Energía. *Estadísticas de Hidroelectricidad en Argentina: Series Históricas de Energía Eléctrica. Potencia instalada 1976-2017.* <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia>

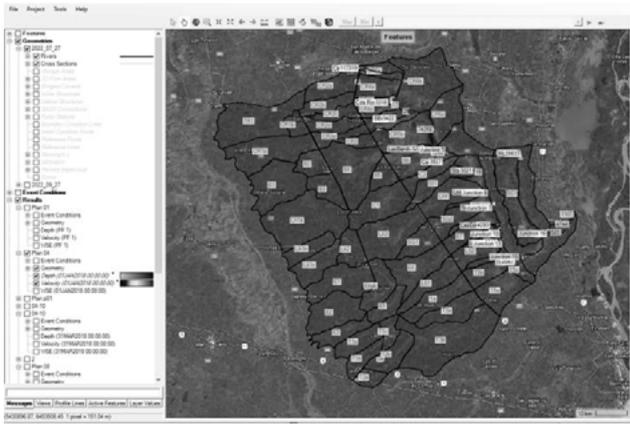


Figura 2.- Esquema topológico cuenca Monje Cañada Carrizales – A° Monje

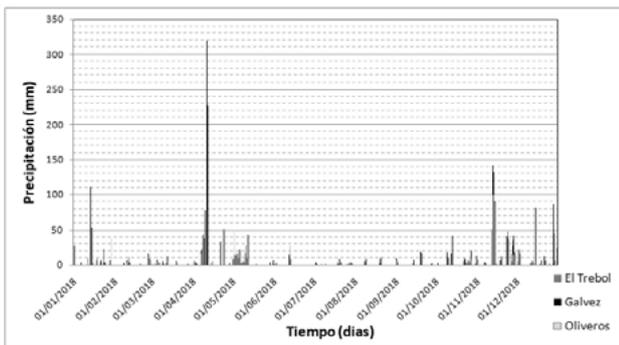


Figura 3.- Precipitaciones registradas en el año 2018.

Luego se realizaron corridas considerando el sistema actual y la tormenta de diseño TR 100 años (ESC1), la lámina promedio total es del orden de 295 mm, distribuida en cuatro días. Se consideraron condiciones de flujo no permanente.

Por último, en la etapa de explotación, se modelaron seis escenarios con diferentes alternativas de rediseño en el tramo Carrizales – Monje. A modo de ejemplo se presentan dos escenarios, el ESC2 y el ESC3.

- Segundo Esc. (ESC2): Sistema Actual Cañada Carrizales con rectificación Tramo final (tr100). Entre autopista y desembocadura adoptando una pendiente de fondo de 0.000615 m/m y ancho de rectificación de 20m, sin intervenir en mayor medida las márgenes del cauce principal. En este caso no se modificaron las secciones actuales de puentes sobre C. Carrizales
- Tercer Esc. (ESC3): Rediseño puentes autopista y Ferrocarril (FFCC)-con rectificación Tramo final (tr100). Se incrementó la luz del puente FFCC hasta igualar la apertura de la RN11, de 160 m. En la autopista se incrementó la luz del puente a 200m.

Resultados

Se presentan resultados de funcionamiento del sistema actual-evento del año 2018 y evento tr100 - y dos escenarios considerando rediseño (tr 100 años).

- Situación actual y año 2018: Se observan cortes en la calzada en secciones correspondientes a ruta NAC. N° 11, AUT. Santa Fe-Rosario, RP. N° 10, RP N° 65, RP 40-S, RP41-S, RP 66, RP 42 y RN° 80. Figura 4.

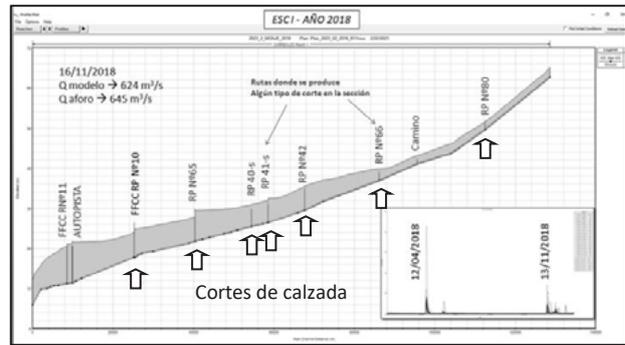


Figura 4.- Perfil longitudinal tramo Carrizales-Monje (Año 2018)

- Primer escenario (ESC1): Situación actual – tr100, se repiten los cortes de calzada del escenario anterior menos la RP 65.
- Segundo escenario (ESC2): Rectificación del tramo final. Se observa disminución de niveles de la superficie del agua en el tramo final del A. Monje, desde autopista hacia aguas abajo. Los descensos máximos son de 1.58 m, lo cual implica una reducción de ancho anegado desde 3550 m a 500 m (RECTIFICADO), Figura 5. En el tramo correspondiente a la Cañada Carrizales se repite el mismo comportamiento del sistema, reproduciendo los cortes de ruta de los escenarios anteriores.

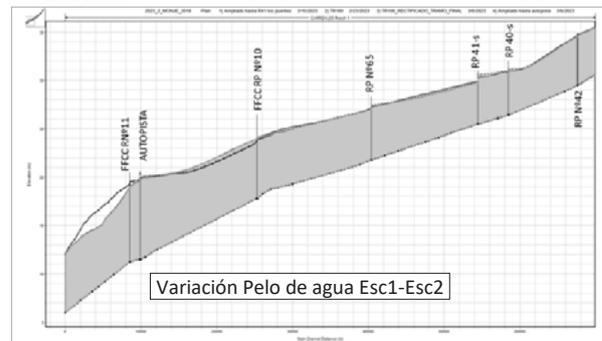


Figura 5.- Perfil longitudinal con rectificación tramo final (tr100 Años)

- Tercer escenario (ESC3): Rediseño puentes autopista y Ferrocarril (FFCC) - con rectificación Tramo final. Disminuyen los anchos de inundación en cercanía a ambos puentes, con una reducción de 400 m en la zona aledaña al puente de autopista. Se observan, en el tramo final, descensos del orden de 0.30 m y disminución de los anchos de anegamientos. En los tramos superiores e inferiores el sistema no sufre mayores variaciones, permaneciendo con interrupciones de camino las mismas secciones que en los escenarios anteriores.

Conclusiones

La metodología descrita permitió realizar un diagnóstico del funcionamiento hidráulico de la red principal – C. Carrizales, A. Monje - y los puentes, para eventos del año 2018 y una tormenta de tr=100 años. A partir de los resultados obtenidos se plantearon y analizaron alternativas de rediseño de obras, que permiten mejorar la capacidad de descarga del sistema contemplando un manejo sustentable de los excedentes hídricos.

Referencia Bibliográfica

- Hec- Ras User's (2023) Hydrology Engineering Center's River Analysis System. Hec- Ras User's Manual, Hydraulic reference manual.

MODELACIÓN DEL FLUJO EN UN SEDIMENTADOR SECUNDARIO A ESCALA DE PROTOTIPO PARA EVALUAR SU EFICIENCIA HIDRÁULICA

Di Buò, Melina^{1,2,3}; Ragessi, I. Matías^{1,2}; Rodríguez, Andrés^{1,2,3} y García, Carlos Marcelo^{1,3}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC.

³ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).

E-mail: melina.dibu@unc.edu.ar

Introducción

La Tecnología de Lodos Activados (CAS, por sus siglas en inglés) se lleva a cabo en una serie de etapas. En primer lugar, el agua residual se introduce en un tanque de aireación, donde se mezclan los microorganismos y se suministra oxígeno para mantener una condición aeróbica. En este proceso, bacterias y aguas residuales están en contacto (mezcla) en un reactor con el fin de reducir la cantidad de material orgánico y otros nutrientes como nitrógeno y fósforo. Esta biomasa (lodos activados) crece y forma flóculos biológicos que deben ser separados del agua tratada. Esto generalmente se realiza mediante gravedad en un clarificador, también llamado Tanque de Sedimentación Secundaria (SST, por sus siglas en inglés) (Valle Medina, 2019) y constituye en esencia, una de las etapas más críticas de la depuración.

En este trabajo se presenta el estudio de un SST, cuyo diámetro es 55,4 m y su forma de succión es vertical (SV). (Figura 1)



Figura 1.- Sedimentador Secundario simulado.

Actualmente, como parte de la puesta en marcha de una de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de la ciudad de Córdoba, se observaron problemas de re-suspensión de barros en el SST. Esto produce una reducción en la eficiencia del tratamiento de depuración. Como posibles hipótesis a plantear sobre la re-suspensión mencionada, se detallan: velocidades de entrada mayores a la de diseño, distribución no uniforme de caudales al ingreso del SST, problemas de bulking (calidad del barro), etcétera.

Este trabajo se enfoca en estudiar la hidrodinámica que se desarrolla dentro del SST, en particular, se estudia el tiempo de permanencia y las velocidades admisibles.

Por lo expuesto anteriormente, se aplicó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para reproducir la hidrodinámica del flujo en un modelo 3D a escala prototipo y con ello obtener la curva de distribución de tiempos de permanencia (RTD) y la hidrodinámica del flujo dentro del sedimentador. Concretamente, se utilizó el parque libre y abierto OpenFOAM®.

Los resultados demostraron que las velocidades (en algunas zonas) exceden a las admisibles según el diseño y, a partir de la incorporación de un escalor pasivo como trazador, se registró la

existencia de un amplio rango de tiempos de permanencia.

Por lo expuesto anteriormente, se estimaron indicadores de eficiencia hidráulica (HEIs) para estudiar el rendimiento del SST.

Materiales y métodos

Se simuló el SST completo en un modelo 3D. La malla se realizó en el software Gmsh® y se discretizó cada 10 cm, refinando en la zona de entrada, en las paredes y en el fondo del sedimentador. La altura de este es de 3,55m y el caudal procesado es de 1083 m³/h repartido en 4 ventanas de ingreso de 0,80 m de alto. Estas ventanas se encuentran dentro de la cañería central de $\varnothing=1,13$ m. A su vez, este SST presenta una campana tranquilizadora, cuyo diámetro es de 4,36 m y de altura 4,30 m. (Figura 2).

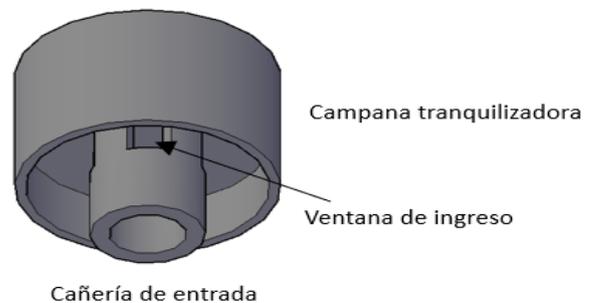


Figura 2.- Ingreso del SST.

Se utilizó el solver PIMPLE de OpenFOAM® para flujos no estacionarios, para densidad y viscosidad constantes. Este solver combina los algoritmos SIMPLE y PISO para resolver el Sistema de ecuaciones.

En las simulaciones se incorporó la propagación de un campo escalar no reactivo, con el fin de estimar los HEIs del SST en su estado actual en comparación con el patrón de flujo idealizado (flujo pistón).

El uso de trazadores permite examinar el avance del flujo. De esta forma, los mismos son utilizados para calcular el tiempo de permanencia del fluido en un reactor, detectar recirculaciones, cortocircuitos y permiten evaluar el grado de mezcla de un contaminante (Crittenden, 2012).

Resultados

CAMPO DE VELOCIDADES

Para estudiar el campo de velocidades, se analizó el SST en secciones cada 45° (de 0° a 315°) subdividiendo el diámetro total cada 3 m.

En este tipo de unidades, el flujo de agua se divide en dos regiones: la zona de entrada, donde el agua ingresa al tanque y se distribuye en la superficie y la zona de sedimentación, donde las partículas suspendidas se depositan en el fondo del tanque. El campo de velocidades puede variar significativamente en cada una de estas regiones.

Según el diseño actual del SST las velocidades máximas admisibles a la entrada y en el fondo del sedimentador son 0,2 m/s y 0,03 m/s, respectivamente. En la Tabla 1 se observan las velocidades al ingreso del SST y en la Tabla 2 las velocidades correspondientes al fondo (se realizó un promedio de los valores en cada ángulo, obteniendo 56 perfiles de velocidad).

Tabla 1.- Velocidades al ingreso del sedimentador

Velocidad de ingreso [m/s]							
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0,20	0,19	0,21	0,18	0,22	0,18	0,23	0,18

Tabla 2.- Velocidades al fondo del sedimentador

Velocidad al fondo [m/s]							
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,04	0,03

Como se observa en las tablas anteriores, las velocidades en ambos casos varían entre los ángulos analizados, es decir, que el campo de distribución de velocidades no es uniforme. En algunos casos las velocidades no superan a las admisibles y en otros casos, sí. En este contexto, las partículas se re-suspenden dentro de la unidad y, por lo tanto, se reduce la eficiencia del sedimentador.

En la zona de entrada, el agua se mueve a través del tanque a una velocidad relativamente alta debido a la presencia de deflectores/campanas que son diseñados para distribuir el efluente de forma uniforme. Por otro lado, en la zona de sedimentación, el flujo se ralentiza y el campo de velocidades es más lento, lo que permite entonces que las partículas sedimenten en el fondo del tanque (Figura 3).

En la Figura 3 se analizó el campo de velocidades [m/s] en el fondo del SST. El objetivo es verificar en detalle, a partir de que distancia desde la campana tranquilizadora, las velocidades cumplen con las de diseño.

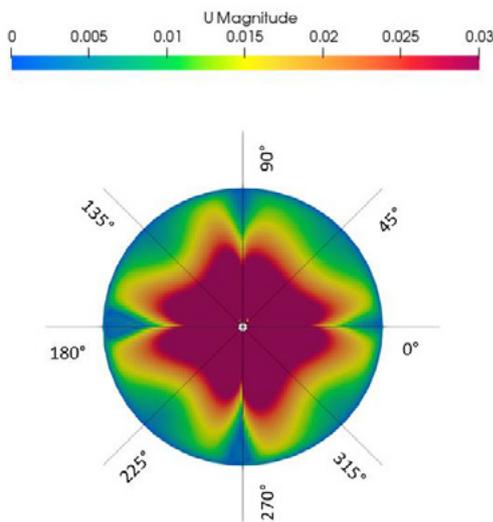


Figura 3.- Campo de velocidades en el fondo del SST.

Al tener un campo de velocidades no uniforme, la distancia (d [m]) en cuestión varía de acuerdo con el ángulo analizado: $15 < d < 20$. Cabe destacar que la unidad presenta un radio de 27,7 m, por lo tanto, como la velocidad se estabiliza lejos de la entrada, las partículas no tienen tiempo suficiente para sedimentar en el fondo, lo cual, nuevamente provocaría una deficiencia en el tratamiento.

En trabajos futuros se analizará, si variando las características de la entrada del sedimentador (altura y diámetro de la campana) esta distancia es menor.

TIEMPOS DE PERMANENCIA

En la Tabla 3 se comparan los tres HEIs utilizados para estimar la eficiencia del sedimentador actual (Teixeira, 2008; Farjood, 2015).

- θ_{10} : tiempo normalizado desde la inyección para el paso del 10% de la masa del trazador inyectado a través de la sección de control.
- M_o : índice de Morrill
- σ^2 : índice de dispersión

Donde el indicador $\theta_{10} = t_{10}/T_p$ sirve como una medida de la severidad de la interrupción de la conectividad mientras que el índice de $M_o = \theta_{90}/\theta_{10}$ indica la cantidad de mezcla en el tanque de desinfección. Por otro lado, el índice de dispersión se calcula como $\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{t_{mean}^2}$. El primer índice es un indicador de cortocircuito y los restantes de mezcla.

Tabla 3.- Indicadores de eficiencia hidráulica

Indicador	Valor	Rango
θ_{10}	0,3	(0-1)
σ^2	0,90	(0-1)
M_o	7,88	(1-21,9)

Para que la unidad sea eficiente, los valores deben asemejarse a valores de flujo en pistón (PF), ya que, en este tipo de sistema, se maximiza el tiempo de contacto entre los sólidos y el líquido, lo que permite una mejor separación de estos. Por lo que, θ_{10} debe converger a 1, σ^2 debe asemejarse a 0 y el índice M_o a mayor número, mayor es la mezcla.

Como se observa en la Tabla 3, ninguno de los 3 índices tiende a un comportamiento de flujo en pistón. El valor de θ_{10} indica que parte del fluido se escapa de la unidad por vía preferenciales, antes de cumplir con el tiempo de retención promedio. Mientras que, los valores de los índices σ^2 y M_o (mezcla) indican que parte del fluido queda atrapado en zonas muertas y en zonas de recirculación, reduciendo la eficiencia de la unidad de tratamiento.

Al igual que con el análisis del campo de velocidad, se analizará, si variando las características de la entrada del sedimentador, los índices mejoran.

Conclusiones

La comprensión del campo de velocidades en un SST es importante para el diseño y la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales. Un campo de velocidades adecuado puede garantizar una sedimentación eficiente de las partículas suspendidas, reduciendo la carga en el proceso de tratamiento del efluente y mejorando la calidad del agua tratada.

Por otro lado, los indicadores de eficiencia hidráulica mostraron una tendencia a un comportamiento de mezcla completa, más que un flujo pistón, reduciendo así la optimización en la remoción de sólidos.

En general, es importante asegurarse de que las velocidades y los indicadores en el sedimentador se correspondan con los límites admisibles para garantizar un proceso de sedimentación eficiente y seguro.

Referencias

Crittenden, J. C., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). MWH's Water Treatment Principles and Design (Third Edit.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Farjood, A., Melville, B.W., Shamseldin, A.Y, Adams, K.N & Khan, S. Evaluation of hydraulic performance indices for retention ponds. Water Sci Technol (2015) 72 (1): 10–21.

Maria Elena Valle Medina. Secondary settling tanks modeling: study of the dynamics of activated sludge sedimentation by computational fluids dynamics. Chemical and Process Engineering. Université de Strasbourg, 2019. English. ffnNT: 2019STRAD044ff. fftel-02526921f.

Teixeira, E. & do Nascimento Siqueira, R.2008 Performance assessment of hydraulic efficiency indexes. Journal of Environmental Engineering 134 (10), 851–859.

MODELO FÍSICO A ESCALA DE UNA PROTECCIÓN COSTERA PARA PLAYA UNIÓN, PROVINCIA DE CHUBUT ARGENTINA

Díaz Pereyra, Emanuel Jesús¹, Buffa, Ignacio N.¹, Pintos, Gabriela E.¹, Eder, Matías¹ y Rodríguez, Andrés^{1,2}

¹LH- CETA. Laboratorio de Hidráulica - Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina;

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Argentina.

E-mail: Emanuel.diaz@mi.unc.edu.ar

Introducción

Ante la problemática de erosión continua existente en la localidad costera de Playa Unión, en la provincia de Chubut, desde el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba, se proyectó, como medida de protección estructural a corto plazo, una defensa tipo escollera sobre el corredor costero. Dada la escasez de material pétreo en la zona, con capacidad resistente para este tipo de estructuras, se proyectó una defensa con elementos premoldeados de hormigón y se adoptó como unidad para ejecutar la coraza de la escollera a la denominada como “AKMON”, unidad desarrollada por la Universidad Tecnológica de Delft; en tanto que las capas protectoras consisten en cubos de hormigón.



Figura 1.- Playa Unión, Chubut.

La deriva litoral juega un rol clave en el transporte y acumulación de partículas finas en la costa, equilibrando el balance sedimentario (Laboratorio de Hidráulica 2021). Este fenómeno se ve afectado por la construcción de obras costeras como puertos, escolleras, jetties, etc. que interfieren directamente en su corriente de movimiento. Como consecuencia se generan zonas con déficit sedimentario y zonas con acumulación de partículas. La interacción entre el oleaje y la zona de rompiente, es un fenómeno que genera problemáticas de erosión y se presenta en todas las costas del mundo, en mayor o menor medida. El conjunto de condiciones ambientales provenientes de la energía del sol, generan olas que oscilan desde el océano lejano hacia el continente, descargando al final de su recorrido, toda su energía. Esta interacción provoca erosión y transporte de sedimentos descalzando obras civiles aledañas a la zona costera (US Army Coastal Engineering Research Center, 1973). En este trabajo se presenta una posible solución estructural a la problemática mencionada en la costa de Playa Unión en el sector ubicado inmediatamente al norte de un espigón corto.

Para verificar el diseño de esta estructura, se decidió ejecutar un modelo físico a escala utilizando mantos monocapa y bicapa para los ensayos con la ayuda de la pala mecánica generadora de oleaje del Laboratorio de Hidráulica (LH-UNC).

Uno de los objetivos principales del modelo fue determinar el valor del coeficiente de estabilidad “Kd” de Hudson, cuyo método fue utilizado para el prediseño de la estructura de protección para cada configuración estructural y los parámetros relacionados al nivel de daño de Hudson, “D_{1%}”, y al coeficiente “N_{od}” de Van der Meer. (1988b). Finalmente, se relaciona el porcentaje de daño estructural de cada uno de los ensayos con el coeficiente Kd. (Hughes, S. A. 1993).

Materiales y Métodos

Configuración experimental

Los experimentos se realizaron en un canal vidriado de configuración estructural rectangular de dimensión 50 cm de ancho por 90 cm de altura y 20 m de largo. En el cual se instaló en un extremo la defensa costera con una inclinación de 30° con respecto a la horizontal que contiene una capa de cubos y una capa protectora monocapa o bicapa dependiendo el caso compuesta por akmons (Figura 2). La pendiente de fondo del modelo conforme al prototipo (1%) utilizando placas fibrocemento con rugosidad específica. En el otro extremo del canal se encuentra la pala mecánica generadora de oleaje (Figura 3). La escala de longitudes del modelo es de 1:14,93.



Figura 2.- Perfil de playa.

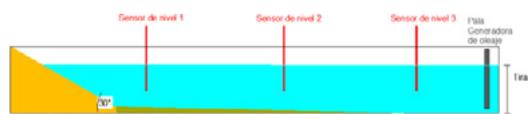


Figura 3.- Ubicación de instrumentos de medición, pala mecánica y defensa costera dentro del canal de oleaje.

Utilizando los datos de los escenarios de oleaje de diseño, se configuró un oleaje regular sin absorción. Los parámetros del oleaje incidente sobre la estructura se midieron con sensores de nivel. Los movimientos de las unidades desplazadas de cada escenario fueron capturados por una cámara digital GoPro Hero5. La cámara se colocó en un soporte ubicado sobre las pasarelas del canal. Esta se ubicó de tal forma que permita garantizar una visión completa del ancho del canal y permita identificar a los akmons desplazados. Se pintaron de diferentes colores las unidades de protección para identificar rápidamente los desplazamientos (Figura 4).



Figura 4.- Construcción del modelo físico.



Figura 5.- Modelo físico en funcionamiento.

Técnica de ensayo del modelo

Se generaron olas por 1200 segundos para cada ensayo en particular, replicando una tormenta de 300 olas aproximadamente.

Utilizando los sensores de nivel, se obtuvieron datos de oleaje que sirvieron para obtener el coeficiente de estabilidad K_d de Hudson, el cual presenta alto grado de incertidumbre, dado que es un parámetro que se define, usualmente, de manera experimental. El término K_d es función de variables como la altura de ola significativa, peso específico del bloque, relación entre el peso específico del bloque y el peso específico del agua y el ángulo con respecto a la horizontal, entre otras.

Se utilizaron los datos de diseño para setear la pala mecánica y producir el oleaje (Tabla 1). Para cada configuración estructural se ensayaron los 2 escenarios en las mismas condiciones.

Tabla 1.- Escenarios de oleaje.

Escenario 1	Escenario 2
Tirante: 44 cm	Tirante: 48 cm
Altura de ola: 17 cm	Altura de ola: 19 cm
Periodo: 3,84 s	Periodo: 3,84 s
Frecuencia: 0,26 Hz	Frecuencia: 0,26 Hz

Aplicando el método de cuantificación de daño volumétrico de Hudson $D\%$ y el método de análisis de daños Nod de Van der Meer (1988b) se obtuvo el nivel de daño al cual estuvo sometida la estructura de protección luego de cada ensayo, definiendo el momento de *inicio de averías* e *inicio de destrucción* como parámetros indicadores de la propia funcionalidad estructural.

En estructuras doble capa el inicio de averías se ha definido como el instante en donde en la segunda capa se producen daños por la caída de pocas piezas del manto de protección, dejando expuesta la primera capa a la acción oleaje. El inicio de destrucción se produce cuando se ha alcanzado un inicio de averías en la primera capa, sin producirse la exposición de las capas inferiores.

En estructuras monocapa se define el inicio de averías como el momento en el que se cae la primera pieza de la sección de colocación. La situación de destrucción se define como el momento en el que se comienza la erosión de la primer capa interior (cubos).

Como último paso se relacionó el coeficiente de estabilidad K_d con el daño estructural generado en la defensa.

Resultados

Se analizaron los datos tomados por el sensor de nivel más próximo a la estructura de protección para así luego obtener la altura de ola significativa $H1/3$, el cual fue útil para calcular el coeficiente K_d de Hudson (real) en cada caso en particular. El K_d teórico para el caso de la estructura bicapa se obtuvo de una tabla elaborada por la Universidad de Delft (A. Paape and A.W. Walther Hydraulics Laboratory Delft Netherlands), mientras que para el caso de la estructura monocapa no existen antecedentes que relacionen el daño estructural con el coeficiente K_d . Se obtuvieron diferencias numéricas entre la altura de ola de diseño y la altura de ola real medida por el sensor debido a fenómenos de reflexión y refracción. A continuación, se muestra una tabla comparativa con los valores obtenidos del parámetro K_d , del daño volumétrico y del parámetro Nod (Tabla 2).

Tabla 2.- Resultados y comparación entre coeficiente K_d y daño estructural $D\%$.

Manto doble capa				
Escenarios	K_d teórico	K_d real	$D[\%]$	Nod
Escenario 1	~14	12,17	3,58	0,81
Escenario 2	~14	17,36	4,09	1,39
Manto monocapa				
Escenarios	K_d teórico	K_d real	$D[\%]$	Nod
Escenario 1	-	8,30	0,00	0,00
Escenario 2	-	25,25	6,75	2,54

En el caso de la estructura monocapa, para el escenario 1 la defensa no sufrió erosión, debido a que ningún akmon de la coraza fue desplazado más de un diámetro de distancia. En el escenario 2 se experimentó el inicio de destrucción, debido a que la zona de cubos fue erosionándose a medida que avanzó el ensayo. Una de las zonas más afectadas fue la zona media de la zona activa.

Para poder utilizar este tipo de estructura monocapa como defensa de protección, se debería aumentar el peso de las unidades premoldeadas con el fin de cumplir con la resistencia requerida. Este tipo de configuración estructural funciona predominantemente por peso y no por trabazón. Se puede concluir de los ensayos que este tipo de estructura podría funcionar como una alternativa frente a la estructura bicapa.

En la estructura con manto bicapa, se llegó al inicio de averías en los 2 escenarios, pero no al inicio de destrucción. Los valores medidos en los ensayos del coeficiente K_d se mantienen en el orden de los antecedentes experimentales, por lo que el diseño del prototipo fue verificado mediante los ensayos.

Referencias

- [1] Laboratorio de Hidráulica LH. (2021). Estudio de la dinámica costera de Playa Unión y propuesta de protección para la costanera, provincia de Chubut.
- [2] US Army Coastal Engineering Research Center. (1973). Shore Protection Manual (Vol. 1).
- [3] Hughes, S. A. (1993). Physical models and laboratory techniques in coastal engineering (Vol. 7). World Scientific.
- [4] Van der meer, J. W. (1988b). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode. Proceedings of the Conference Coastal, Marine Structures and Breakwaters,
- [5] Hudson, R. Y. (1953, 1959, 1961). Wave forces on breakwaters. Transactions of the American Society of Civil Engineers.
- [6] A. Paape and A.W. Walther Hydraulics Laboratory Delft Netherlands

MAPEO DE CASOS DE USO DE HIDROTECNOLOGÍAS ANCESTRALES EN LA REGIÓN LITORAL

Duarte, Oscar ⁽¹⁾⁽²⁾; Hämmerly, Rosana ⁽¹⁾; Romanatti, Mariana ⁽¹⁾⁽³⁾ y Macor, Fiorella ⁽¹⁾

1 – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), Santa Fe, Argentina.

2- Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNER), Entre Ríos, Argentina.

3 – Red Arg Cap-Net, Argentina

Email: oduarte312@gmail.com

Introducción

La región costera del Litoral argentino fue habitada por diferentes comunidades a lo largo de la historia. Cuenta con una abundancia de flora, fauna y numerosos cursos de agua, que dieron lugar al uso de hidrotecnologías distintas a las que se desarrollaron en las regiones áridas y semiáridas del país.

Este trabajo presenta el inicio de un mapeo de casos de uso de hidrotecnologías ancestrales, realizado por un grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, en el marco de la Cátedra UNESCO «Agua y Educación para el Desarrollo Sostenible» y de la red Arg Cap-Net.

Entre los primeros casos relevados, se encuentran las habilidades en la construcción y navegación en canoas y la utilización de estructuras monticulares denominadas «cerros indios».

Las comunidades de pueblos originarios litoraleños se caracterizaban por sus habilidades en el desplazamiento fluvial, destacándose la utilización de técnicas precisas de remo y navegación. Estas destrezas, acompañadas por el diseño de canoas resistentes, permitieron el transporte de grandes cantidades de mercancías y personas, lo que propició el establecimiento de relaciones y actividades comerciales con otras comunidades.

Los cerros indios son geoformas acrecionales de génesis antrópica, construidas para dar habitabilidad al área ante inundaciones, especialmente en la zona deltaica. Según evidencias históricas, son sitios multifuncionales donde se desarrollaban actividades domésticas, rituales, productivas y extractivas. (Bracco *et ál.* 2008, Bonomo *et ál.* 2011).

El mapeo de casos permitió documentar la gran variedad de usos que las comunidades dieron a hidrotecnologías que fueron adaptadas para la ocupación de un territorio con dificultades hidrológicas. Este primer paso en esta investigación se considera una herramienta valiosa para entender la importancia de estas tecnologías y preservar la historia y cultura de estas comunidades en relación con la gestión sostenible del agua.

Objetivo

Presentar la identificación, la documentación y los saberes sobre las hidrotecnologías ancestrales de las comunidades originarias de la región del Litoral argentino.

Las hidrotecnologías ancestrales

El cambio climático y la falta de control en la gestión de los recursos naturales constituyen una realidad que afecta al mundo entero. Los aumentos significativos de temperatura son una consecuencia directa de la insostenible actividad humana. Por ende, es importante tomar medidas de adaptación para garantizar un futuro sostenible para las comunidades locales y regionales.

Las hidrotecnologías son técnicas antiguas de manejo del agua basadas en el ciclo hidrológico natural. Durante siglos, las civilizaciones antiguas diseñaron y construyeron sofisticados

sistemas que proporcionaron una respuesta adaptativa para hacer frente a problemas como la conservación del agua, el riego, el transporte acuático o el control de inundaciones y sequías. Hoy en día, muchos de estos sistemas aún están en uso y son una prueba tangible de la eficacia de estas técnicas ancestrales.

Los canales zenú o «camellones» en Colombia; los sistemas de siembra y cosecha de agua en gran parte de Latinoamérica y el Caribe; las maravillas hidráulicas incas en Perú y el qanat persa en Irán, son buenos ejemplos de estos sistemas. Con una gestión adecuada, estas hidrotecnologías pueden convertirse en herramientas multifuncionales para la gestión eficiente del agua, la seguridad alimentaria y sanitaria, el control de inundaciones y sequías, los servicios ecosistémicos, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo económico, entre otros beneficios.

Aunque muchas de estas técnicas ancestrales han sido abandonadas o están en peligro de desaparecer, debido a la falta de preservación por ausencia de inversiones y a la competencia con las tecnologías modernas, existen iniciativas en todo el mundo que buscan revitalizar estas prácticas y adaptarlas a los nuevos desafíos del cambio climático y la conservación de los recursos naturales. Esto incluye como uno de sus primeros pasos la identificación, la recopilación de investigaciones en la temática y el hallazgo de aquellas que permanecen ocultas u olvidadas. También es importante para la revitalización involucrar a las comunidades locales y a los tomadores de decisión en la implementación y gestión de estas técnicas.

Construcción y navegación con canoas

Las canoas monóxilas son todas aquellas embarcaciones confeccionadas mediante el proceso de ahuecamiento de un tronco (Figura 1). El uso de canoas y piraguas ha sido una parte fundamental de la vida de las comunidades que habitaban en la región Litoral. Desde tiempos ancestrales, estas embarcaciones han sido utilizadas para navegar por los ríos y arroyos que atraviesan la región, permitiendo a estas comunidades acceder a lugares que de otra manera resultaban inaccesibles.

A través del mapeo de casos, se ha podido documentar la gran variedad de usos que las comunidades ribereñas han dado a las canoas y piraguas en el delta del Paraná. Desde la pesca y la caza, hasta el transporte de mercancías y personas, estas embarcaciones han sido fundamentales para la subsistencia y el desarrollo de estas comunidades. En muchos casos, estas embarcaciones también han sido utilizadas para fines defensivos.

En la tesis *La navegación primitiva en la Cuenca del Plata: la pelota de cuero*, de Fernández, J. (1998), se analiza la importancia de la pelota de cuero como objeto tecnológico en la navegación de los pueblos originarios de la Cuenca del Plata (Figura 2). La misma consistía en un cuero seco atado por sus cuatro extremos, siendo algunas modificadas con varillaje o con armazón interno de madera. Localmente se les daba el nombre de «pelotas» y debían considerarse botes de cuero o simples flotantes. Según Urquiza Almandoz, O. (1978) se decía que el cruce de los ríos se hacía «peloteando». La embarcación era un elemento de flotación bastante inestable, confeccionada con un cuero al pelo plegado por sus bordes y con estacas de madera para

asegurar la abertura; dependiendo del tamaño, podía transportar personas y/o bultos. Comúnmente, los postillones llevaban estas pelotas en sus largas marchas entre postas.

Otras embarcaciones que los nativos llamaban «ytpayeré» se componían de varios maderos ligados entre sí con sogas, abrazaderas de hierro y clavazones. Algunas eran de gran tamaño, entre 50 a 70 varas de largo. La forma de entablado servía de suelo a una choza de madera y cueros. En la misma transportaban yerba y tabaco. No obstante, la finalidad no solo era el transporte de mercancías, sino el desarme e intercambio de madera.

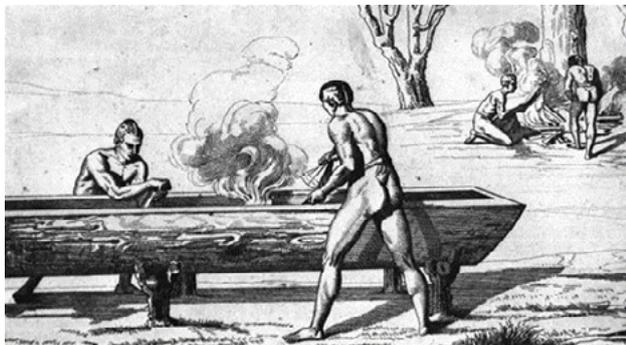


Figura 1. Construcción de canoas en poblaciones ancestrales del Litoral argentino (extraída de: <https://etniasdelmundo.com/c-otras-etnias/chana-timbues/>)



Figura 2. Navegación en pelota de cuero o peloteando

Cerros indios

Como se mencionó anteriormente, los cerros indios son estructuras para la protección de las comunidades ribereñas, en particular las ubicadas en la zona del delta del río Paraná. Las estructuras monticulares fueron reconocidas y nombradas como cerritos, aterros, túmulos o montículos (Catiñeira *et ál.* 2014), en referencia a sus caracteres morfológicos, constructivos y arqueológicos que permitían distinguirlos de sitios formados en geoformas naturales elevadas.

En la comunidad Chaná-Timbúes, las construcciones monticulares son registros característicos de la arqueología de las tierras bajas sudamericanas. Estas estructuras, en la zona del delta superior y su llanura adyacente, han sido objeto de registro, identificándose al menos 80 sitios arqueológicos (Bonomo M. *et ál.* 2019) (Figura 3).

A manera de ejemplo de utilización de estas hidrotecnologías ancestrales en el presente, se puede mencionar el diseño realizado sobre el «cerro poblacional y cerro industrial» de la localidad de Villa Paranacito, en la provincia de Entre Ríos (Dirección de Hidráulica de ER, 1988). Este diseño se realizó a similitud de estas estructuras ancestrales, posteriormente a las crecidas de la

década del 80 en toda la Cuenca del Plata, en contraposición a las técnicas desarrolladas hasta el momento en la zona de diques-terraplenes (polders).



Figura 3. Estructuras monticulares en el delta superior del Paraná. Co. de Vázquez (extraída de: Bonomo M. *et ál.* 2019)

En la zona se destaca la influencia de la dinámica hidrológica de la cuenca de los ríos Paraná y Uruguay, a través de las estrategias culturales pasadas y presentes vinculadas a la habitabilidad de la región, ya que las crecidas de estos ríos, así como de la marea luni-solar, la marea eólica y las ondas oceánicas, afectan una extensa área del territorio entrerriano, bonaerense y santafesino.

Conclusiones

Se ha podido presentar la identificación de los primeros casos de uso de hidrotecnologías en comunidades ancestrales del Litoral argentino. Esto es solo un peldaño en la caracterización de otras tecnologías, como la filtración del agua para la mejora de su calidad, los saberes sobre las condiciones climáticas e hidrológicas, y la cosecha de agua.

Referencias

- Bonomo, M., Politis, G. y Gianotti, C. 2011b. Montículos. Jerarquía social y horticultura en las sociedades indígenas del Delta del Río Paraná (Argentina). *Latin American Antiquity* 22: 297-333.
- Bonomo, M., Di Prado V., Silva C., Scabuzzo C., Ramos van Raap M y C. Castiñeira (2019) Las poblaciones indígenas prehispánicas del río Paraná Inferior y Medio. *Revista del Museo de La Plata* 2019, Volumen 4, Número 2: 585-620.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H. y García-Rodríguez, F. 2008. Un aporte crítico a partir de "Comentarios sobre montículos de la cuenca de la Laguna Merín: tiempo, espacio y sociedad". *Latin American Antiquity* 19: 325-335.
- Castiñeira C., Blasi A., Bonomo, M., Politis G. y E. Apollinaire (2014). Modificación antrópica del paisaje durante el holoceno tardío: las construcciones monticulares en el delta superior del río Paraná. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 (1): 33 - 47 (2014)
- ¿Conoces a los Chaná Timbúes? Descubre sobre ellos aquí. (2018). Conozcamos Todas Las Etnias Que Hay En El Mundo; Etnias del Mundo. <https://etniasdelmundo.com/c-otras-etnias/chana-timbues/>
- Dirección de hidráulica de Entre Ríos (1988) Diseño de Cerro Poblacional e Industrial Localidad de V Paranacito. Gobierno de ER.
- Fernández C., Jorge (1998). La Navegación Primitiva en la Cuenca del Plata. I. N.p., 1998. Anuario de la Universidad Internacional SEK, ISSN 0717-2508, N.º. 4, 1998, págs. 79-106.
- Urquiza Almandoz, O. (1978) Historia Económica y Social de Entre Ríos, Buenos Aires, Banco Unidos del Litoral, 1978.

EVALUACIÓN DE AMENAZAS HÍDRICAS Y DISEÑO DE MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO EN LA CIUDAD DE RÍO GALLEGOS

Matías Eder^{1, 2}, Nicolás Federico Guillén^{1, 2}, Silvina A. Barbeito², Germán A. Fortunato², Ana Laura Rydzewski² y Guillermo Mena^{2, 3}

¹LH- CETA. Laboratorio de Hidráulica - Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina;

²Instituto Nacional del Agua (INA), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina

³Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata, Argentina

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Macrodrenaje Urbano, con el objetivo de dar asistencia técnica a los Municipios, y elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de saneamiento pluvial. En este trabajo se presentan el estudio realizado sobre la ciudad de Río Gallegos para conocer la situación actual, y a partir de dicha evaluación se proponen soluciones, a nivel de anteproyecto, mitigatorias o correctivas de la problemática pluvial.

En primer lugar, para identificar las zonas bajo riesgo, se realizó una caracterización del crecimiento demográfico de la ciudad y un análisis de las principales amenazas hídricas. Posteriormente, para cuantificar las amenazas hídricas se realizó un análisis de frecuencia de caudales en los principales cauces fluviales y un estudio hidrológico de la cuenca externa a la ciudad.

Finalmente, con el objetivo de reducir el riesgo hídrico en el sector oeste de la ciudad, identificado como una de las zonas críticas, se proyectan medidas estructurales para mitigar los efectos de inundaciones.

Zona de estudio y amenazas hídricas

La ciudad de Río Gallegos se localiza en el extremo Sureste de la Provincia de Santa Cruz en las cercanías de la confluencia entre los Ríos Gallegos y Chico del Sud, que descargan en el denominado estuario Río Gallegos. El ejido urbano tiene una superficie de 64 Km² y el grado de consolidación se presenta en la siguiente figura.

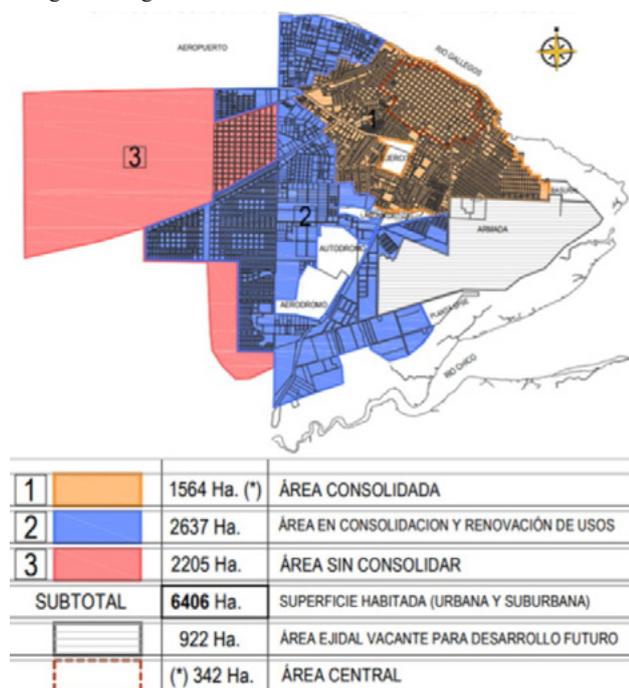


Figura 1.- Grados de consolidación urbana.

A nivel regional, la ciudad se desarrolla en el extremo Este de las cuencas hidrográficas del Río Gallegos y del Río Chico (16.700 Km²), siendo ambas cuencas transfronterizas, de desarrollo Oeste-Este y con vertiente al Atlántico.

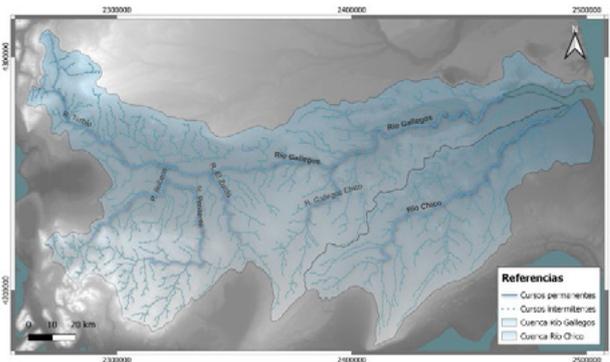


Figura 2.- Cuencas de cauces fluviales.

Para definir claramente los riesgos hídricos a los que está sometida la localidad, se analizaron las potenciales amenazas hídricas (Figura 3); y se definieron las siguientes:

- Crecidas fluviales de los cauces existentes colindantes a la localidad. En el caso de eventos de crecidas del Río Gallegos y/o el Río Chico, los caudales podrían potencialmente afectar a la localidad de Río Gallegos. Para ello, se propone estimar los caudales de proyecto asociados a diferentes tiempos de retorno en ambos cauces y analizar sus efectos sobre la localidad.
- Efecto de pleamar. Debido a la ubicación próxima al mar, es posible que en el caso de que la marea supere un determinado umbral, algunas zonas de la ciudad permanezcan temporalmente bajo agua.
- Efecto de precipitaciones severas sobre la cuenca de aporte directa a la ciudad. En este caso los escurrimientos impactan directamente sobre el sector Oeste de la ciudad.

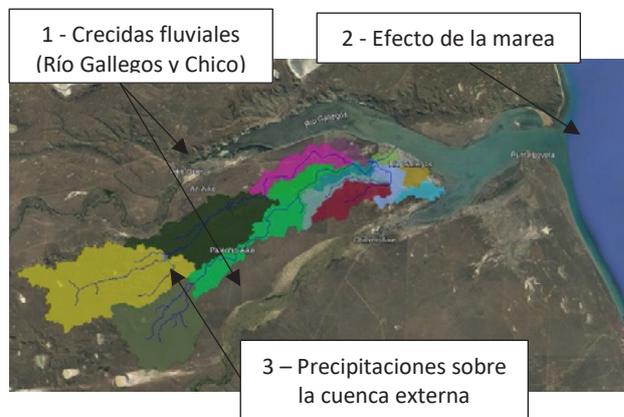


Figura 3.- Amenazas hídricas sobre la localidad

Materiales y métodos

Con el objeto de cuantificar la amenaza hídrica debido a las crecidas asociadas a diferentes recurrencias de los cauces fluviales existentes fueron recopiladas series históricas de caudales existentes en las zonas de estudio. Las mismas fueron tomadas de la base de datos de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación Argentina en el caso del Río Gallegos; y de la Dirección General de Aguas del Gobierno de Chile en el caso del Río Chico

Respecto a las mareas, se conoce que el estuario tiene mareas promedio de 6.8 m, que oscilan entre 13.40 m en pleamar máxima y 0.23 m en bajamar mínima (Servicio de Hidrografía Naval, 2017). De acuerdo a la información suministrada por la Municipalidad, no hay registros de perjuicios por inundaciones originadas en las mareas altas en la parte urbanizada de la localidad, en parte mitigadas por las obras de protección costera existente

Para evaluar la cuenca externa a la localidad se ha realizado la modelación hidrológica semi-distribuida de transformación lluvia-caudal y la modelación hidrodinámica bidimensional (2D) distribuida de la zona urbana de la ciudad de Río Gallegos y los cauces fluviales aledaños (Río Gallegos y Río Chico). Para realizar la modelación hidrológica se utilizó el software HEC-HMS mientras que para la hidrodinámica distribuida (2D) se utilizó el programa HEC-RAS, ambos del USACE.

Obras de mitigación

Se han proyectado obras para sistematizar los escurrimientos en la zona Oeste de la ciudad de Río Gallegos, las que consisten en un canal, 3 tramos de terraplenes, una alcantarilla para el cruce de la Ruta Nacional N° 3 y una estructura de disipación de energía compuesta por saltos de gaviones en la descarga en el río Gallegos



Figura 4.- Obras propuestas en la zona de estudio.

Resultados

Del análisis realizado se desprende que la principal amenaza hídrica para la ciudad de Río Gallegos es el ingreso de escurrimientos superficiales provenientes de la cuenca externa a la ciudad y, por lo tanto, el sector con mayor riesgo es el sector ubicado al Oeste hacia donde actualmente se está expandiendo la mancha urbana.

En la Figura 5 se presentan los hidrogramas de escurrimiento superficial de los 2 principales brazos de la cuenca externa para eventos de precipitación de Tr: 5 y 100 años de recurrencia obtenido del modelo hidrológico de transformación lluvia-caudal.

Por otro lado, en la Figura 6 y 7 se muestran las manchas de inundación en el sector sin y con las obras propuestas en este estudio. Lo que se observa claramente es un impacto positivo de las obras; las cuales generan una disminución tanto de la mancha de inundación como una reducción significativa de tiempo de permanencia de las inundaciones.

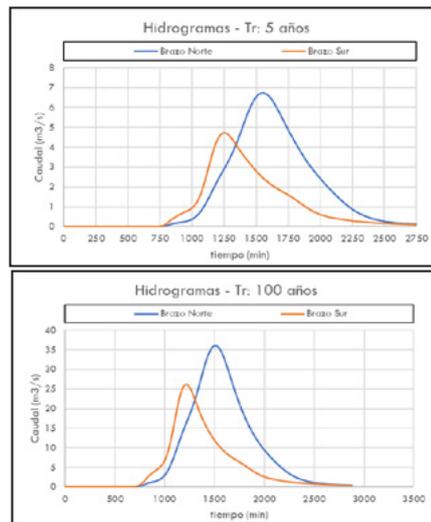


Figura 5.- Hidrogramas Tr: 5 (superior) y Tr: 100 (inferior)

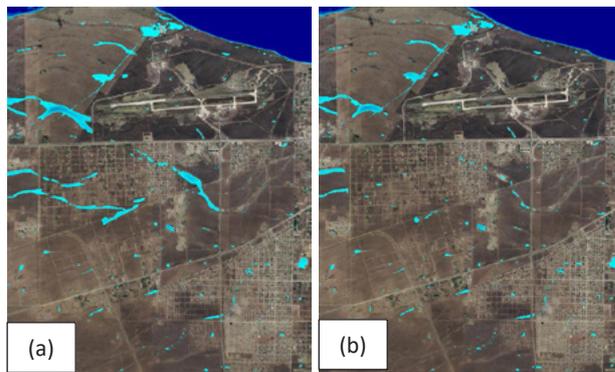


Figura 6.- Mancha inundación Tr: 5 años sin obras (a) y con obras (b)

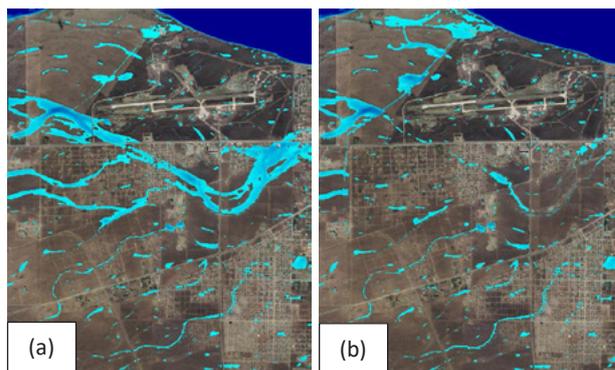


Figura 7.- Mancha inundación Tr:100 años sin obras (a) y con obras (b)

Bibliografía

- Servicio de Hidrografía Naval, (2017). <http://www.hidro.gov.ar/>
 USACE [US Army Corps of Engineers] (2022). HEC-RAS Version 6.3.1. Davis, CA Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.
 USACE [US Army Corps of Engineers] (2022). HEC-HMS Version 4.10. Davis, CA Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

ALTERNATIVAS DE REFUNCIONALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CANALES MENORES, PARA OPTIMIZAR LA PROVISIÓN DE AGUA A LA ZONA SUR DE SANTIAGO DEL ESTERO

Farias, Héctor Daniel¹; Prieto Villarroya, Jorge^{1,2}

¹ Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT – UNSE. Santiago del Estero, Argentina

² Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña. IEADER - UNSE. Santiago del Estero, Argentina
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar irhi.fceyt.unse@gmail.com

Introducción

En la provincia de Santiago del Estero, a fines de la década de los años setenta se construyó el Canal del Alto, derivado del río Dulce con toma libre desde la ribera derecha en las proximidades de Loreto y cuya traza corre paralela a la ruta provincial N° 1 abasteciendo de agua para consumo doméstico y agropecuario a la región sudeste de la Provincia.

La conducción se extiende por más de 100 Km, posibilitando el servicio de suministro de agua a las poblaciones mencionadas cercanas al canal y a los parajes rurales intermedios a lo largo del recorrido de la conducción, más de 105 Km.

El “Sistema de Canales Menores”, de acuerdo a la zonificación establecida por la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRH) de Santiago del Estero, comprende una superficie de servicio del orden de 650.000 ha. En su condición actual (Figura 1), el sistema evidencia apreciables problemas de funcionamiento en lo atinente a la eficiencia de conducción y abastecimiento a sus áreas de servicio para usos múltiples, fundamentalmente consumo pecuario y agua potable.



Figura 1.- Estado actual del Canal del Alto, con altísima concentración de algas y significativos procesos de sedimentación.

Objetivos

El objetivo fundamental de este trabajo es, por una parte, realizar un diagnóstico del estado de situación del sistema y, por otra, introducir pautas tendientes a la refuncionalización del sistema en vistas a la optimización en el manejo del agua a través de la conducción, almacenamiento temporario y distribución.

Metodología

Los cálculos estimativos se han dividido en demandas y pérdidas (Figura 2). Las demandas comprenden las estimaciones de necesidades de recursos hídricos para uso doméstico, ganadero y agrícola (y eventualmente industrial). Las pérdidas estiman las

cuantías correspondientes a flujos erogados desde el sistema por infiltración, evaporación y detracciones no autorizadas de caudal, además de la pérdida de calidad por contaminación del recurso.

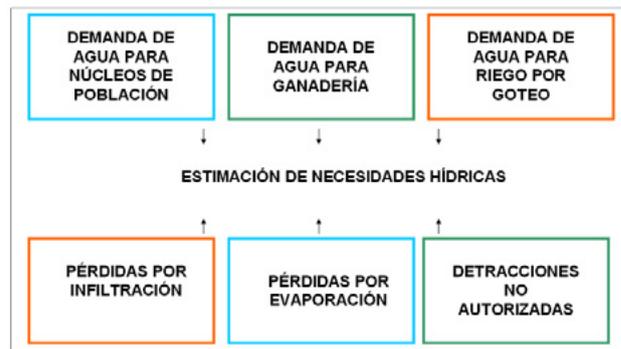


Figura 2.- Diagrama conceptual de Estimación de necesidades Hídricas basado en un modelo Pérdidas vs/Demandas.

La demanda de uso doméstico se ha estimado teniendo en cuenta un horizonte temporal de 25 años. Por su parte, la demanda de uso ganadero se ha calculado considerando las cargas máximas de aptitud ganadera admisibles según las clasificaciones existentes de aptitud de uso de suelo del INTA y Ministerio de Producción. El análisis de demanda para riego presurizado (en este caso Riego por Goteo), se ha llevado a cabo estimando una superficie de riego idealizada y preliminar (en este caso, correspondiente a una faja de territorio delineada por un semi-ancho de 100 m a cada lado del canal), si bien, tanto el criterio como la superficie exacta deberán definirse en fases posteriores de los estudios sobre el sistema tratado.

Por su parte, tratándose de un canal en tierras a cielo abierto, las pérdidas contemplan la consideración conjunta de pérdidas por infiltración, pérdidas por evaporación y pérdidas por detracciones o tomas ilegales

Ante la ausencia de datos de aforos en canal, se ha optado por la aplicación de métodos empíricos o experimentales para la estimación de las pérdidas por infiltración. La aplicación de los mismos se ha realizado mediante el uso del software HCanales 3.0 que permite la aplicación simultánea de un conjunto de fórmulas experimentales (Figura 3).

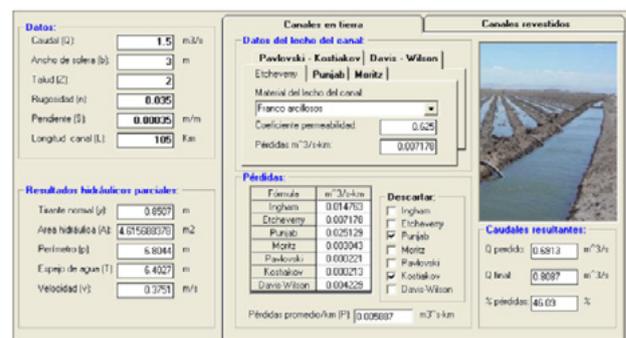


Figura 3. Cálculo de las pérdidas por infiltración a lo largo del canal

Respecto a las pérdidas por evaporación estas son muy inferiores a las pérdidas por infiltración. Según fuentes bibliográficas (Kraatz, 1977) pueden representarse como un reducido porcentaje de las pérdidas por infiltración. Para la estimación de las pérdidas de evaporación se ha considerado que éstas representan un 3% de las pérdidas por infiltración.

Cabe destacar que las pérdidas de agua correspondientes, tanto a infiltración como a evaporación, pueden ser reducidas mediante el empleo de conducciones cerradas, cuyo análisis de alternativas se realiza en fases posteriores del estudio.

A lo largo de los 105 Km del canal, son numerosas las irregularidades en forma de extracciones de caudal sin control ni autorización. Su cuantificación resulta sumamente compleja, al carecerse de registros e inventarios de esta tipología de pérdidas. En base a experiencias en otras redes de canales similares de la provincia se han cuantificado en 400 l/s.

Resultado de todo lo anteriormente expuesto (Tabla 1), pudo elaborarse la siguiente tabla de síntesis de estimación de necesidades hídricas del canal del Alto

Tabla 1.- Estimación Total de Requerimiento de Caudal

Necesidades Hídricas (l/s)		Pérdidas (l/s)	
Población	87.96	Infiltración	618
Ganadería	28.65	Evaporación	18.54
Riego	590.22	Detracciones	400
Subtotal	706.83	Subtotal	1868

En segunda instancia, una vez conocidos los requerimientos de caudal, se llevó a cabo un análisis hidráulico (basado en algunos datos topográficos obtenidos en relevamientos de campo y estimaciones con técnicas de percepción remota) con la finalidad de llevar a cabo una evaluación cuantitativa de las condiciones iniciales de operación y la capacidad actual del Canal del Alto, luego de un período prolongado de operación (con mantenimiento mínimo en algunos sectores y sin mantenimiento en otros).

La caracterización hidráulica de la conducción se realizó a través de una segmentación en tramos, en los cuales la pendiente general puede considerarse aproximadamente uniforme. Esto se realizó para poder estimar la capacidad de conducción máxima en cada sector, lo cual condiciona las capacidades de los tramos situados aguas abajo a lo largo de su desarrollo (tanto para el canal principal como para algunos canales y acequias derivadas).

Se desconocen los criterios de diseño originalmente empleados para proyectar el canal, pero puede suponerse (sin incurrir en errores significativos) que, en virtud de tratarse de un canal excavado en tierra, sin revestimiento, al cabo de un cierto período de operación continua, los procesos morfológicos generados a través de las recurrentes erosiones y sedimentaciones en distintos sectores del sistema, generaron una deformación del canal, desde la configuración inicial adecuada a una sección de geometría trapecial hacia una forma irregular, muchas veces con ondulaciones, pero con una macro-geometría de tipo curvilínea, más o menos cercana a la forma trapecial inicial.

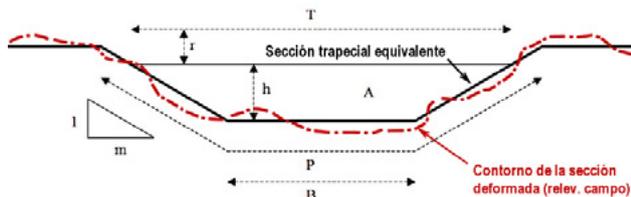


Figura 4.- Método de la Sección Equivalente

El cálculo de la capacidad de conducción se evaluó a partir del método de la sección equivalente. Con este criterio, para cada una de las secciones relevadas en campo se ajusta cada una de las mismas a una geometría trapecial (Figura 4).

Se llevó a cabo el análisis hidráulico asumiendo una variación del tirante hasta los 1,50 metros. Con ello, pudieron obtenerse las relaciones características obtenidos para la sección equivalente, es decir, la curva de descarga (Figura 5), la curva de velocidades, la de tensiones de corte y la de potencia hidráulica del flujo

Sobre los valores anteriores pudo realizarse un análisis de sensibilidad (Figura 5) según variación del coeficiente de rugosidad entre valores de $n = 0.030$ (canales con lechos parcialmente limpios con plantas acuáticas pequeñas y aisladas) y valores de $n = 0.025$ (canales excavados en tierra, con lechos sedimentarios de material granular fino, completamente libres de vegetación). Análogamente se realizó un análisis de sensibilidad en el que se contemplaron escenarios de variaciones de la pendiente "S" (en el rango de 0,0002 a 0,0005).

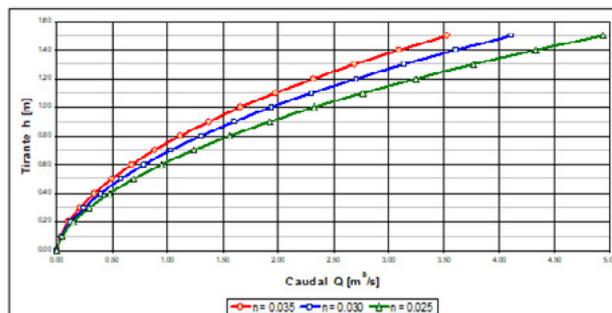


Figura 5.- Sensibilidad de la curva h-Q en la sección equivalente para variaciones de la rugosidad $n = 0.035 - 0.025$.

Resultados y conclusiones

Para los escenarios de funcionamiento planteados, las demandas hídricas del sistema para un horizonte temporal de 25 años, que incluye una población estimada de 20 mil habitantes a abastecer con agua potable, una explotación ganadera con una cobertura del orden de 250 mil hectáreas y riego presurizado a una superficie cercana a las 210 mil hectáreas, se estimaron los caudales necesarios para satisfacer las demandas, encontrándose reducciones del orden del 60% al 70% (en función de las alternativas de revestimiento y tipologías de conducciones –que se detallan en el trabajo–), propiciando un ahorro significativo de los volúmenes de agua a derivar desde el Río Dulce.

Conclusiones

En el estudio se han desarrollado alternativas de refuncionalización y puesta en valor del sistema, avanzando sobre cuatro ejes fundamentales: (1) Captación y Toma; (2) Conducción; (3) Distribución; (4) Operación y Mantenimiento.

Referencias Bibliográficas

- Kraatz, D. B. (1977). Revestimiento de Canales de Riego. FAO. Roma. Italia. 217 p.
- Land and Water Resources Research Institute & Development Corporation (LWRRDC). (2002) "Guidelines to Good Practice in Construction and Refurbishment of Earthen Channel Banks", Report Published by the Australian LWRRDC, Sidney, Australia, 473 p.
- Te Chow, V. (2005). Hidráulica de Canales Abiertos (1a. Ed.). Santafe De Bogota: Mcgraw-Hill Interamericana. Citación estilo Chicago.

ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN EN EL RÍO DE LAS VUELTAS, PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE OBRAS PROYECTADAS PARA SU APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

Farias, Hector Daniel¹; Álvarez Padilla, Juan C¹; Reuter, Fabián²; Prieto Villarroja, Jorge¹

¹ Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT – UNSE. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

² Facultad de Ciencias Forestales. INSIMA FCF - UNSE Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar irhi.fceyt.unse@gmail.com

Introducción

El Río de las Vueltas, ubicado en la Provincia de Santa Cruz, Argentina, es de gran importancia para el establecimiento de un aprovechamiento hidroeléctrico. En el trabajo se presentan los estudios llevados a cabo para estimar la producción anual de sedimentos en la cuenca del Río de las Vueltas (Figura 1) en el punto seleccionado como emplazamiento de la obra de cierre.

Previamente, es necesario señalar que en la actualidad, el entendimiento, conceptualización y cuantificación de los procesos físicos involucrados en el transporte de sedimentos dista mucho de ser el ideal. La gran mayoría de las metodologías disponibles para el cálculo de la capacidad de transporte de sedimentos y la tasa de producción de materiales por parte de una cuenca hidrográfica, tiene el carácter de “estimativos”.

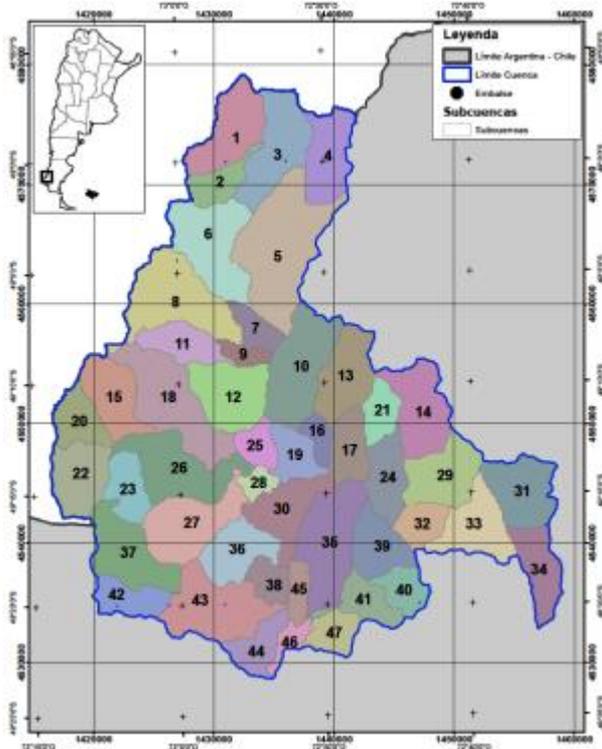


Figura 1.- Discretización en Subcuencas del Área de Estudio

Objetivos

La finalidad del estudio es la de estimar la producción anual de sedimentos en la cuenca del Río de las Vueltas y su impacto en el diseño de las obras proyectadas para el aprovechamiento hidroeléctrico, mediante los siguientes objetivos específicos:

- Aplicar técnicas alternativas para estimar la producción de sedimentos en regiones con escasos datos hidrológicos y de transporte de material sólido.
- Utilizar modelos agregados a nivel de cuencas, como el modelo Miraki y sus variantes, para obtener resultados a escala general.

- Realizar un refinamiento en unidades hidrológicas menores para obtener estimaciones más detalladas de la capacidad de transporte de sedimentos en la sección de cierre.

- Utilizar modelos hidro-sedimentológicos, como el HEC-RAS v. 6.3, para predecir la distribución espacial y temporal de los sedimentos acumulados aguas arriba de la sección de la obra.

Metodología y resultados obtenidos

En el caso del presente estudio, la metodología aplicada se basa en el uso de técnicas alternativas para regiones con escasos datos hidrológicos y de transporte de material sólido, ya que en la zona únicamente se disponen de mediciones hidrológicas limitadas

La producción de sedimentos global en un punto de la cuenca, que puede expresarse tanto en forma gravimétrica (G_{Ps}) o volumétrica (V_{Ps}), se relaciona con la tasa global de erosión potencial (E_S) a través de la expresión:

$$G_{Ps} = k_{SDR} \cdot E_S \quad [1]$$

Donde k_{SDR} se denomina “factor de entrega” (o “sediment delivery ratio”), y depende fundamentalmente de la capacidad de la cuenca (a través de su red de cauces e interfluvios) de transportar el material generado por la erosión hacia aguas abajo. En una de las situaciones en que más interesa estimar la producción de sedimentos, como lo es el tema de la deposición de sólidos en un embalse, el valor de k_{SDR} se debe evaluar en el punto de localización del reservorio. Para el cálculo de k_{SDR} , el presente trabajo mejora la fórmula potencial originalmente sugerida por Julien (1995), la cual sostiene que $k_{SDR} \sim A_c^{-0.3}$. Sin embargo, si se realiza un análisis de regresión (Figura 2) sobre los datos se encuentra que la curva de mejor ajuste resulta: $k_{SDR} = 28.63 A_c^{-0.22}$.

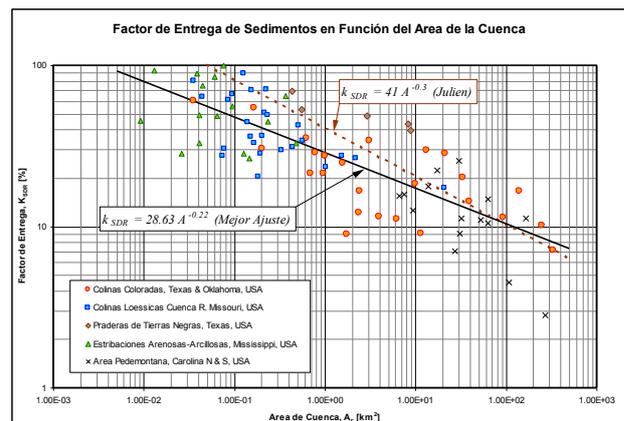


Figura 2.- Factor de Entrega de Sedimentos en función del Área de la Cuenca. Datos extractados de Julien (1995).

La aplicabilidad de un modelo de producción de sedimentos del tipo Miraki para las condiciones geográficas de cuencas en distintas regiones de Argentina, ha mostrado que los resultados que predice este modelo se encuentran dentro de los rangos admisibles (y estimativamente tolerables) para las características de las cuencas tanto en la región NOA, como en algunas cuencas

de la región cordillerana. Los antecedentes indican que existen aplicaciones para el caso de regímenes hidrológicos pluvio-nivales (como el caso del RDLV) y los resultados obtenidos han sido razonables. Se decidió la aplicación del modelo Miraki para estimar tasas de producción anual de sedimentos en la cuenca del Río de las Vueltas, para condiciones hidrológicas de media, mínima y máxima.

A continuación se presentan los resultados de los cálculos obtenidos mediante la aplicación de la metodología de Miraki convencional en sus 4 variantes. Los cálculos se elaboran para la cuenca global y cada una de las sub-cuencas seleccionadas

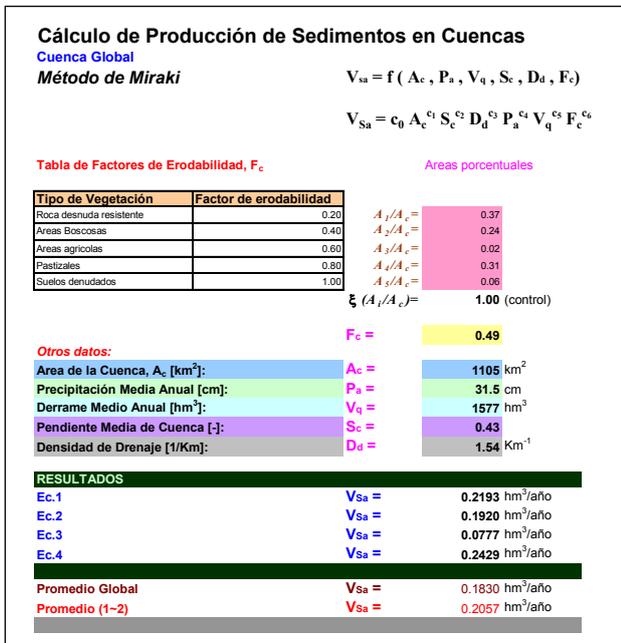


Figura 3.- Resultados de la Aplicación de Miraki

Se adoptó la Ec.1 de Miraki como la más representativa a los efectos del análisis de la producción de sedimentos en la cuenca del RDLV. De acuerdo al mismo, para el caso de cálculo por sub-cuencas, la tasa anual de producción de sedimentos para la cuenca del Río de las Vueltas se situaría en torno a $VPS = 0.22$ hm³/año mientras que la específica: 2.0×10^{-4} hm³/año/km².

Respecto al transporte de sedimentos se llevaron estudios para cuantificar la capacidad de transporte sólido del curso a través de una modelación hidráulica. La metodología aplicada para obtener la función de descarga tipo Q-Qs, o más correctamente $Q_s = f(Q)$ en una sección genérica del curso fluvial del Río de las Vueltas en la zona aguas abajo de El Chaltén fue la siguiente:

- 1.- Selección de un tramo de cauce de 3 km de longitud, sobre el que se obtuvo un conjunto de secciones transversales representativas de la geometría hidráulica del Río de las Vueltas.
- 2.- Análisis granulométricos de muestras estimadas en una zona próxima al emplazamiento del tramo en estudio (Figura 4) se obtuvieron los indicadores característicos.

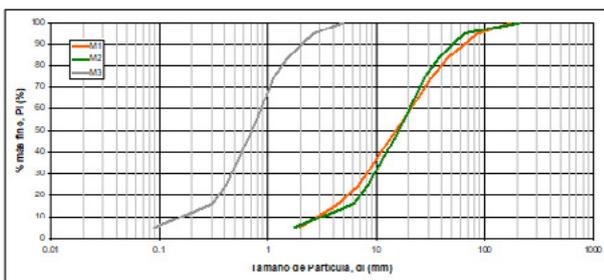


Figura 4.- Curvas granulométricas de tres muestras tomadas en campo

3.- Criterios disponibles a fin de evaluar las características friccionales y de resistencia al escurrimiento propio del río, con la finalidad de estimar el coeficiente de rugosidad representativo.

4.- Modelación hidráulica conceptual (1D, para esta finalidad) del tramo para un rango idealizado de posibles condiciones hidrológicas, usando el paquete HEC-RAS.

5.- Criterio de la sección equivalente a fin de definir una sección transversal idealizada de geometría trapecial que exhiba una curva de descarga lo más parecida posible a la real.

6.- Sobre la sección equivalente se aplicaron formulaciones para predecir la capacidad de transporte de sedimentos y de esta manera se estimó una relación $Q_s = f(Q)$.

Como resultado la capacidad de transporte de sedimentos puede expresarse mediante la ecuación del tipo: $Q_s = k_1 \cdot Q \cdot k_2$ (con $k_1 = 45.34$ y $k_2 = 1.405$), donde Q_s es la tasa volumétrica de material transportado (en t/d) y Q el caudal líquido (expresado en m³/s).

Por último, el estudio incluye una modelización hidrodinámica 2D modelo hidro-dinámico para todos los caudales analizados [35 m³/s (escenario de aguas bajas), 50 m³/s (caudal medio), 75 m³/s (aguas medias-altas), 100 m³/s (crecidas moderadas) y 200 m³/s (crecidas importantes)].

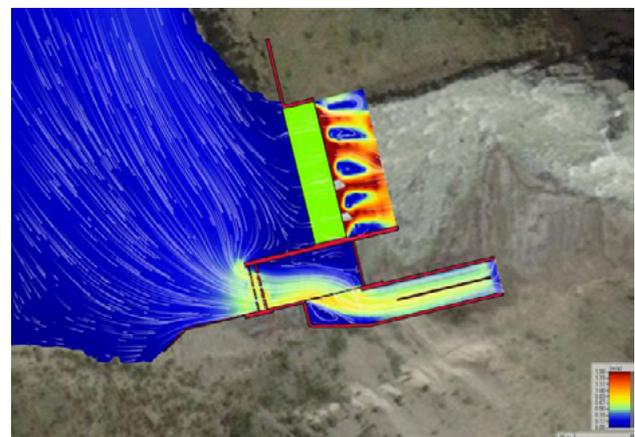


Figura 5. Velocidades campo cercano, para caudal $Q = 35$ m³/s

Conclusión

La dinámica sedimentológica de la cuenca del Río está fuertemente condicionada por la alta variabilidad hidrológica.

La capacidad total de transporte de sedimentos por parte del curso, es altamente significativa, fundamentalmente en situaciones de crecidas con picos superiores al caudal medio del río (del orden de 50 m³/s).

La producción anual neta de sedimentos es del orden de 0.2 a 0.3 hm³, valores que pueden llegar a duplicarse o triplicarse, con la ocurrencia de crecidas con picos por encima de los 100 m³/s, que pueden movilizar grandes cantidades de material sólido.

Referencias Bibliográficas

- Chakraborti, A.K. (1991). "Sediment yield prediction & prioritisation of watershed using Remote Sensing data". 12th Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, Oct. 30– Nov.
- Hydrologic Engineering Center (2018). HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.
- Van Rompaey, A., Bazzoffi, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (2005). "Modeling sediment yields in Italian catchments". Geomorphology, Vol. 65, pp. 157–169.

SISTEMA RIACHUELO: MODELACIÓN FÍSICA Y MATEMÁTICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SALIDA

Claudio A. Fattor, Jorge D. Bacchiega, Martín Sabarots Gerbec y Santiago Guizzardi

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Argentina
AU Ezeiza-Cañuelas, Tramo Av. J. Newbery, Km 1.62 – (1804) Ezeiza, Argentina
e-mail: cfattor@ina.gov.ar, jbacchiega@ina.gov.ar, mgerbec@ina.gov.ar, sguizzardi@ina.gov.ar

Introducción

El Sistema Riachuelo es un conjunto de obras destinadas a la conducción, pretratamiento y disposición final de líquidos cloacales de un importante sector de la ciudad de Buenos Aires y alrededores, que mejorará la calidad del servicio a 4,3 millones de habitantes.

El sistema está formado por tres grupos de obras. El Lote 1 incluye el desarrollo de tuberías y un túnel de 30 km de longitud para la conducción de los líquidos cloacales crudos; el Lote 2 está conformado por la Estación Elevadora de Entrada (EEE), la Planta de Pretratamiento de líquidos cloacales (PPT) y la Estación de Bombeo de Salida (EBS), en tanto que el Lote 3 cuenta con una cámara receptora de los líquidos bombeados desde la EBS y de un emisario de 12 km de longitud con 34 difusores ubicados en los últimos 1.500 metros del túnel.

Las estaciones de bombeo EEE y EBS tienen un caudal de diseño de 27 m³/s, con descargas entre 12 m³/s y 30 m³/s. Cada estación de bombeo estará provista de ocho bombas, con un caudal unitario nominal de 4,5 m³/s.

Las estaciones de bombeo presentan condiciones de borde singulares que conllevan a características muy diferentes entre sendos proyectos. En el caso de la EBS, aunque su diseño sigue las pautas generales indicadas para este tipo de obra, las condiciones de operación a las que podría verse sometida demandan un estudio hidráulico detallado, acorde con las exigencias y la envergadura del proyecto.

Descripción de la obra

La EBS está formada por una cámara de aducción divergente de 57,15 m de longitud que recibe el flujo desde los desarenadores, con un ancho inicial de 8,60 m y un ancho final de 49,80 m, generando un semi-ángulo divergente de 19,82° respecto del eje longitudinal. La Figura 1 presenta una planta general de esta obra.

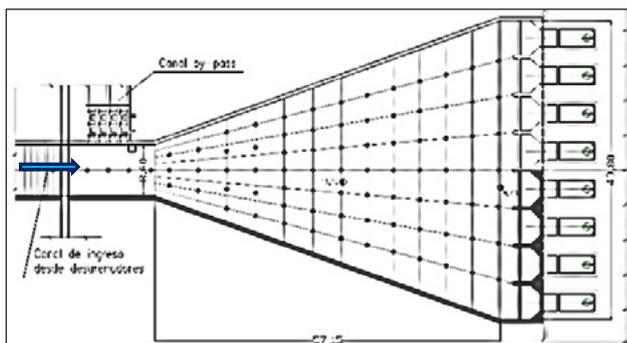


Figura 1.- EBS - Planta

El primer tramo de la cámara divergente se desarrolla horizontalmente, para luego alcanzar el tramo final con un ángulo divergente de 5° que salva una diferencia de cota de 2,27 m.

El tramo final del canal colector de los desarenadores y la cámara divergente cuentan con 85 columnas de 0,60 m de diámetro sobre las que apoyan vigas y losas que cubren este sector, manteniéndose un flujo a superficie libre. En el extremo final, aguas abajo de la cámara divergente a superficie libre, se ubican 8 dársenas de bombeo equidistantes que operan a sección llena,

previo a la llegada del flujo a la succión de cada bomba.

Condiciones de operación

El comportamiento hidráulico de la EBS debe verificarse para caudales y niveles mínimos y máximos en el interior de la dársena de aducción. Esto involucra, además, el número y disposición de bombas en servicio, generando un amplio espectro de posibilidades operativas. Aun cuando el estudio comprendió la evaluación de la EBS con caudales entre 12 y 30 m³/s, y niveles mínimos y máximos en la dársena, el presente artículo se ha planteado el análisis particular de las condiciones expresadas en la Tabla 1, considerando seis bombas en servicio:

Tabla 1.- Escenarios analizados

Condición	Ingreso desde	Q (m ³ /s)	Nivel líquido (m OSN)
Diseño	Desarenadores	27	15,90
Extraordinaria	Canal by-pass	27	13,00

Metodología

Se definió una estrategia de evaluación del comportamiento hidráulico de la EBS mediante la implementación conjunta de modelación física y matemática, lo que permite optimizar el nivel de análisis durante las fases de diagnóstico, planteo y evaluación de alternativas, así como la instancia final de su selección.

La modelación matemática tuvo el objetivo de interpretar los aspectos generales del comportamiento hidráulico, evaluando el diseño conceptual, además de identificar posibles cambios globales para conseguir las mejoras deseadas. Los modelos CFD permiten resolver las ecuaciones de Navier-Stokes para conservación de masa y de momento, recurriéndose en este caso al uso de OpenFOAM. Para realizar las modelaciones se eligieron los dominios adecuados, se efectuó el mallado tridimensional de la geometría y se hicieron los cálculos computacionales con un modelo turbulento del tipo LES (Large Eddy Simulation) que permite una mejor evaluación de las condiciones de pre-rotación del flujo (Guo (2017), Schafitzel (2008)).

La modelación física tuvo como objetivo principal la obtención de un diagnóstico hidráulico integral de la EBS, evaluando una amplia serie de escenarios, identificando singularidades del flujo que potencialmente afectarían al comportamiento hidráulico. En particular, se efectuaron evaluaciones relacionadas a la asimetría de velocidades del flujo de aproximación, la formación de vórtices superficiales y de pared/fondo, así como el flujo de pre-rotación inmediatamente aguas arriba de cada bomba en servicio (ANSI/HI9.8 (2012), Nakato (1992)). La escala de longitud del modelo físico resultó 1:15, respondiendo el modelo a la similitud de Froude y cumpliendo con las exigencias de los números de Reynolds y de Weber definidos en el ingreso a la bomba.

Los estudios en modelo físico se realizaron considerando el nivel mínimo operativo, y caudales entre 12 y 30 m³/s, lo que habilita el funcionamiento de un número variable de bombas, con múltiples posibilidades de combinación. Se abordó el comportamiento hidráulico con condiciones de ingreso normales y extraordinarias, donde la condición normal está dada por el ingreso desde el canal colector del flujo pasante por los desarenadores, y la situación extraordinaria por la alimentación

desde un canal perpendicular al eje longitudinal de las obras.

Con el fin de validar el diseño hidráulico de la EBS, se debe verificar la admisibilidad de los parámetros definidos por la norma ANSI HI 9.8 – 2012, los cuales incluyen condiciones inherentes a la velocidad de aproximación del flujo, así como pre-rotación y vorticidad.

Flujo desde desarenadores: resultados

Bajo estas condiciones, el comportamiento hidráulico observado en condiciones normales de operación muestra que, a pesar de algunas singularidades derivadas de la asimetría de disposición de obras aguas arriba del inicio de la cámara divergente, se alcanza una distribución de velocidades con baja asimetría antes de ingresar a las dársenas de aducción (Figura 2).

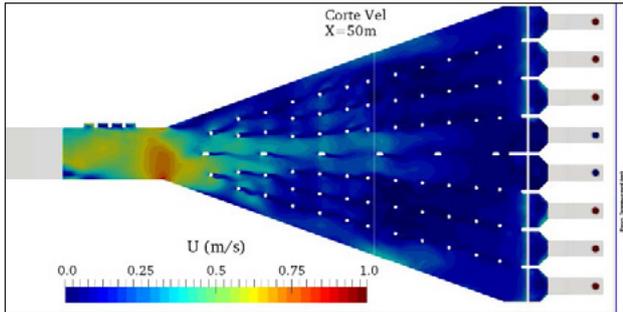


Figura 2.- Modelo numérico - $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$ (6 bombas)

Las condiciones hidrodinámicas resultantes de la modelación numérica del flujo a superficie libre expresan un comportamiento acorde con los requerimientos generales de la EBS. Los resultados obtenidos por medio de la modelación matemática permiten brindar una factibilidad primaria general al proyecto.

Los estudios sobre modelo físico permiten confirmar la factibilidad final y plantear las medidas correctivas requeridas. A modo de ejemplo, la Figura 3 permite ver la condición de llegada al flujo en una de las dársenas extremas, apreciándose el ingreso a la campana de succión, así como la disposición de los dispositivos anti-vórtices de pared y de fondo, los que mostraron su eficiencia, además de acotar el grado de pre-rotación del flujo al ingreso a la bomba. El flujo presurizado en las dársenas ordena el campo de velocidades de llegada a las bombas, contribuyendo a limitar el nivel de pre-rotación, aún en los casos en donde se presentan condiciones de operación de las unidades de bombeo con asimetría en la disposición de las bombas en servicio.



Figura 3.- Modelo físico - $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$. Ingreso a zona de aspiración

Flujo desde canal by-pass: resultados

La EBS presenta una condición muy poco probable de operación, por la cual el flujo es derivado por el canal by-pass e ingresa perpendicularmente aguas arriba de la sección inicial de la cámara de la EBS. En la Figura 4 se presenta una salida de la modelación numérica, apreciándose un flujo asimétrico en la cámara de carga. Esta configuración, con operación simétrica de las bombas en servicio, genera circulaciones de eje vertical en la

cámara a superficie libre.

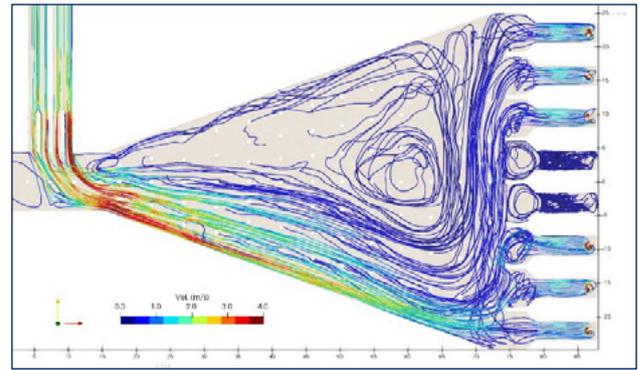


Figura 4.- Modelo numérico - $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$ (6 bombas)

Siendo la pre-rotación un parámetro relevante, en la Figura 5 se aprecia su registro en una bomba. Si bien hay valores extremos mayores a 5° , su permanencia no supera el 10% del tiempo, lo que es admisible por la excepcionalidad de la operación.

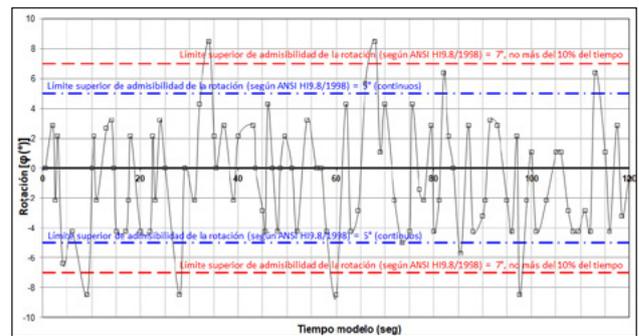


Figura 5.- Modelo físico - $Q=27 \text{ m}^3/\text{s}$ - Pre-rotación

No se detectaron vórtices que excedan los límites normativos. Los elementos anti-vórtices interrumpen la circulación y limitan el desarrollo de vórtices intensos, validando su disposición.

Conclusiones

Se realizó la modelación física y matemática conjunta, implementando un modelo numérico en OpenFOAM y un modelo físico con semejanza de Froude a escala 1:15.

La modelación matemática, evaluando configuración del flujo, campo de velocidades y niveles líquidos, brindó viabilidad al diseño conceptual de las obras y liberó su ejecución inicial.

La modelación física verificó la eficiente disposición de las bombas en dársenas individuales a presión, lo que reduce la asimetría del campo de velocidades y limita la pre-rotación del flujo de aducción a las bombas. Además, se identificaron los ajustes estructurales en la zona de aproximación a las bombas.

La modelación física - matemática conjunta brindó resultados muy importantes dentro del acotado período disponible para el proyecto y la posterior construcción de las obras.

Referencias Bibliográficas

- ANSI/HI 9.8. (2012) American National Standard for Pump Intake Design. *Hydraulic Institute*, Parsippany, New Jersey.
- Guo, Z.W.; Chen F.; Wu, P. F., and Qian, Z. D. (2017) Three-Dimensional Simulation of Air Entrainment in a Sump Pump, *J. Hydraulic Eng.*, 2017, 143(9).
- Nakato, T., and Yoon (1992), B., "A Model Study of the Proposed St. Louis County Water Company's Water Intake near River Mile 37 on the Missouri River." Report 187, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1992.
- Schafhitzel T. (2008). Topology-Preserving λ_2 -based Vortex Core Line Detection for Flow Visualization.

SISTEMATIZACIÓN DE ESCURRIMIENTOS EN CUENCAS DEL ARROYO LAS MELLIZAS

Germán Fortunato¹, Gustavo Peuser¹, Ana Rydzewski¹, y Guillermo Mena¹

¹Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina.

germanarielfortunato@gmail.com, peuserg@outlook.com, arydzewski@ina.gob.ar, omena@ina.gob.ar.

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Asistencia a Municipios, con el objetivo de elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de Macro Drenaje Urbano. Dentro de éste se encuentra el Municipio de Concepción del Uruguay, en la provincia de Entre Ríos, en el cual se generaron propuestas de obras destinadas a subsanar y/o mitigar los efectos indeseados que generan los escurrimientos en una zona de actual densificación urbana, orientadas a la sistematización del macrodrenaje principal de ésta a fines de su ordenamiento futuro.



Figura 1.- Registro Diciembre 2017 en zona de intervención propuesta. Fuente: tn.com.ar

El trabajo se compone de un análisis de la dinámica de expansión urbana, caracterización geológica y geomorfológica, identificación de principales amenazas hídricas y posibles soluciones mitigatorias.

Zona de estudio

Atendiendo a los antecedentes de anegamientos sucedidos referidos por personal del municipio de Concepción del Uruguay se dedicó el estudio sobre las cuencas de aporte del Arroyo Las Mellizas.

El Arroyo las Mellizas es un afluente intermitente del Arroyo La China, el cual a su vez desagua en el Riacho Itapé, brazo del Río Uruguay. Con una longitud de 4000 metros y un área de aporte de 425 hectáreas es de interés debido a que actualmente es hacia donde se expande la ciudad mediante la generación de loteos y provisión de infraestructura básica residencial. Consecuencia natural, ya que, una vez densificada la ciudad respecto del epicentro administrativo en torno al puerto que fuera el motor de su crecimiento de antaño y, estando limitada al norte por el río Curro y al sur por el Arroyo La China, encuentra hacia el oeste, en concordancia con la traza de la ruta provincial n°39 (acceso principal de la ciudad), el único rumbo hacia el cual expandirse.

La zona de estudio comprende las cuencas de aporte al arroyo Las Mellizas, afluente del arroyo La China. Su límite norte se ubica en coincidencia con la traza de ferrocarril, la cual

constituye una de las divisorias de aguas principales de la zona. Hacia el oeste abarca el distribuidor vial del cruce entre rutas RN N° 14 y RP N° 39. Por el sur la cuenca limita en las divisorias de aguas naturales de las distintas subcuencas aportantes al A° Las Mellizas. Al este la cuenca limita con la divisoria de aguas topográfica local.



Figura 2.- Ubicación de la cuenca del Arroyo Las Mellizas

La división en subcuencas se realizó atendiendo a la sistematización actual de los escurrimientos a fin de discriminar los caudales de aporte a los distintos elementos pluviales (canalizaciones y alcantarillas existentes). En la Figura 2 se grafica la división en subcuencas, los sentidos de escurrimientos con flechas verdes, las alcantarillas existentes en puntos rojos y la traza actual del A° Las Mellizas. Las subcuencas S5, S6 y S7 escurren superficialmente hacia el arroyo, mientras que las subcuencas S1, S2 y S3 conducen y concentran los escurrimientos al norte del terraplén de la RP n°39 hasta encontrar la alcantarilla de cruce identificada como "AE5", mientras que la S4 se suma aguas debajo de ésta.

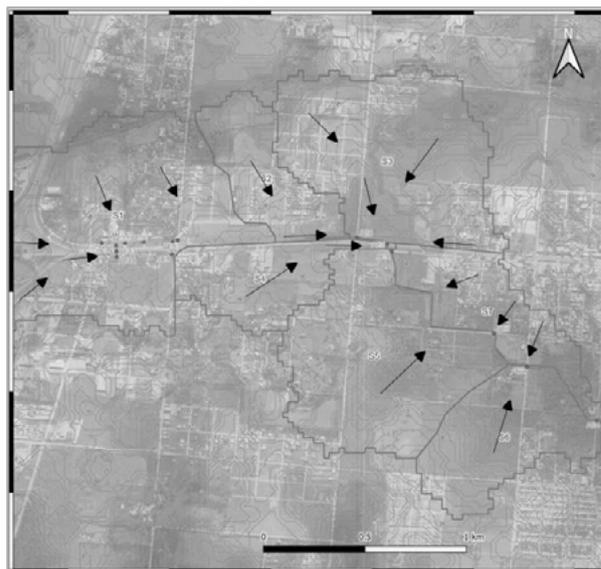


Figura 3.- División en subcuencas, sentidos de escurrimiento e infraestructura existente

Evaluación y diagnóstico

A partir de curvas I-D-F del departamento de hidráulica de la provincia de Entre Ríos (Zamanillo, et al, 2008), de la caracterización de los suelos realizada en el estudio geomorfológico (Rydzewski, 2023), de la caracterización de la cobertura de suelo y grado de impermeabilización mediante análisis de imágenes satelitales, y caracterización morfológica de las subcuencas se realizó una modelación hidrológica para determinación de caudales y otra bidimensional para identificación de manchas de inundación de la situación actual para tiempos de recurrencia de 5, 10 y 25 años.

Para la modelación bidimensional se realizó un relevamiento aerofotogramétrico a partir del cual se generó un modelo digital de elevación (MDE) de resolución 0,125m y precisión vertical promedio 0,17m, el cual se le realizó un filtrado de vegetación y, en la modelación, se modelaron las infraestructuras existentes.

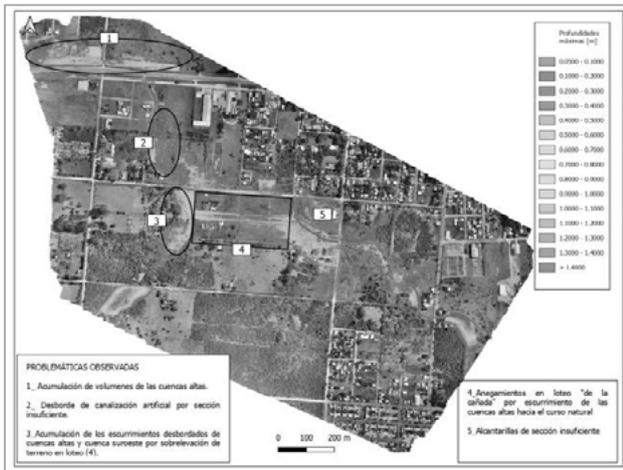


Figura 4.- Resultados de modelación bidimensional (Tr 25 años)

Medidas estructurales propuestas

Del análisis de los resultados obtenidos se formuló una solución a las problemáticas observadas. Para ello, se propuso un sistema de reservorios de atenuación que colecta los escurrimientos del 65% del área y reducen el pico del hidrograma en un 43% para lluvias de recurrencia 5 y 10 años y un 21% para lluvias de 25 años de recurrencia. Además se propone la restitución de la traza del arroyo a la su original (ya que la misma fue desviada sin criterio ni resultados satisfactorios), y la ampliación de la sección de este más el alcantarillado necesario.



Figura 5.- Esquema de obras propuestas

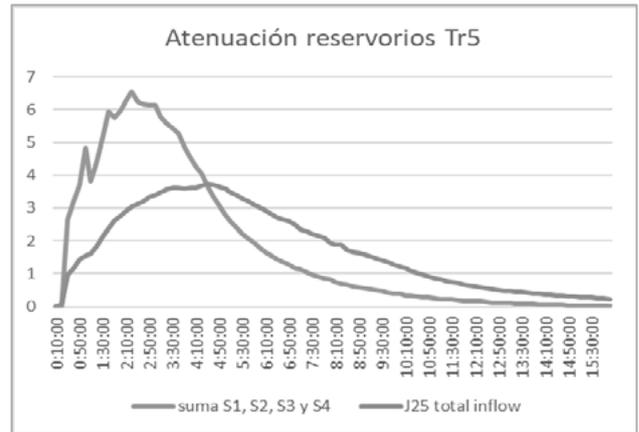


Figura 6.- Efecto de atenuación de los reservorios propuestos (Tr 5 años)

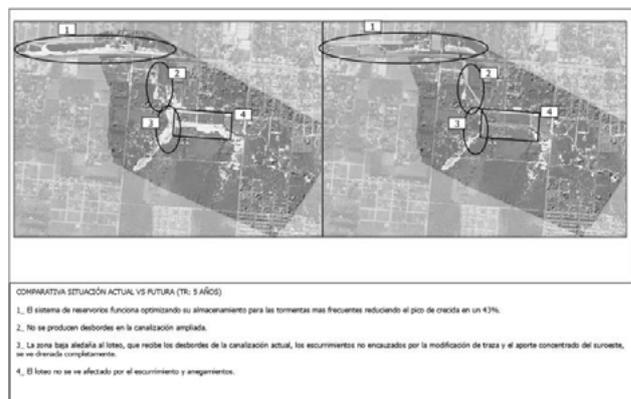


Figura 7.- Comparativa situación actual versus futura (con obras para Tr 5 años)

Referencias Bibliográficas

Zamanillo E.A. y Larenze G.R (2008). *Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos*. Univ. Tecnológica Nacional, 2008., Buenos Aires.

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE OBRAS TENDIENTES A MITIGAR PROBLEMÁTICAS HÍDRICAS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DEL ESTERO

Franco Leonel Gimenez⁽¹⁾⁽²⁾, Gustavo Francisco Peuser⁽¹⁾, Matías Eder⁽¹⁾, Dayana Brizuela⁽¹⁾, Nathalie Pusseto⁽¹⁾, Anael Porro⁽¹⁾, Maribel González⁽³⁾, Osvaldo Guillermo Mena⁽¹⁾⁽²⁾

(1) Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina.

(2) Grupo de Investigación en Hidráulica (UTN FRLP), Argentina.

(3) Facultad de Arquitectura y Urbanismo (UNLP), Argentina.

gimenez.fl@outlook.com, peuserg@outlook.com, matiaseder@unc.edu.ar, dayanajbrizuela@mi.unc.edu.ar, nathaliepusseto@gmail.com,

anaelarp@gmail.com, maribelgonzalez6777@gmail.com, guillermena@gmail.com

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Asistencia a Municipios, con el objetivo de elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de Macro Drenaje Urbano. Dentro de este plan se encuentra la ciudad de Santiago del Estero, capital y principal urbe en cantidad de habitantes de la provincia homónima.

En este trabajo se presenta el estudio realizado sobre la ciudad de Santiago del Estero cuyo objetivo es mitigar uno de los principales inconvenientes vinculados al drenaje pluvial urbano.

A continuación, se presenta una descripción de la situación actual, las medidas estructurales propuestas para mitigar los efectos de los anegamientos y la modelación numérica de las obras propuestas para evaluar sus efectos en forma cualitativa.

Ubicación

La ciudad de Santiago del Estero como capital de la provincia homónima, es el centro político, administrativo financiero, comercial y proveedor de servicios más importante de la misma. Se localiza en la llanura aluvial, en la margen derecha del río Dulce, el cual constituye un borde para su crecimiento hacia el este y es el límite natural que la separa de la ciudad de La Banda.

Situación Actual

La ciudad cuenta con dos problemáticas identificadas: las inundaciones de calles debido a precipitaciones locales, las cuales se han incrementado en frecuencia y severidad debido al gran aumento de la impermeabilización de las cuencas urbanas, a causa de un importante acrecentamiento poblacional en las últimas décadas y las inundaciones ribereñas por desborde del río Dulce.

En este trabajo se desarrolla una propuesta de intervención estructural cuyo fin es mitigar la primera problemática planteada, priorizada por el municipio de Santiago del Estero, en el sector céntrico de la ciudad.

El sistema pluvial existente en la zona a intervenir cuenta con un conducto que se extiende por la calle Juana Manuela Gorriti desde la calle Pellegrini hasta la avenida Diego De Rojas, la avenida Pedro Pablo Olaeche desde la avenida Diego de Rojas hasta la avenida Alsina y continuando por la avenida Alsina hasta su descarga final en el Río Dulce.

Además, el municipio cuenta con un proyecto pluvial aguas arriba del sistema existente sobre la calle Jujuy entre la calle Leandro Alem y la calle Juana Manuela Gorriti.

Medidas estructurales propuestas

Para mejorar el funcionamiento del colector existente y, a su vez, captar con mayor eficiencia las áreas sin obras de conducción, se propone la sistematización de los desagües pluviales en un sector del casco urbano de la ciudad de Santiago del Estero y la

implementación de un parque lineal costero. Se distinguen, entonces, dos intervenciones denominadas “Sistema calle Jujuy” y “Sistema calle Chaco y Parque Lineal Costero”.

● El Sistema calle Jujuy tiene una longitud de 1035 metros, compuesto por un conducto de sección rectangular de 1.00 x 1.40 metros, que descarga directamente sobre el colector Gorriti en la intersección con la calle Pellegrini.

● El sistema calle Chaco y parque lineal Costero intercepta parte de la cuenca de aporte al conducto existente mediante la construcción de un conducto enterrado que se desarrolla sobre la calle Chaco, desde Hipólito Yrigoyen hasta la Avenida Núñez del Prado, empalmando con el sistema principal, denominado Parque Lineal Costanero, en donde adopta una sección a cielo abierto que descarga en el conducto existente en la intersección de la calle Alsina y la Av. Núñez del Prado.

El conducto sobre la calle Chaco tiene una longitud de 975 metros y su sección transversal está constituido por un conducto rectangular de dos celdas de 2.00 x 1.00 metros.

El denominado Parque Lineal Costanero corre paralelo a la Av. Núñez del Prado en un sector que actualmente se encuentra parquizado, sobre el que se propone la construcción de un canal sin revestir con una longitud de 1985 metros, de sección transversal trapecial con 30 metros de ancho de fondo, 0.8 metros de profundidad y taludes 1:4. El suelo en este lugar es altamente permeable, favoreciendo la infiltración para reducir los caudales de aporte al conducto existente.

Este sistema no solo cumpliría con la función tradicional de conducir y descargar las aguas hacia un cuerpo de agua receptor, sino que también generaría un área costera para el uso y esparcimiento de los vecinos de la ciudad, que a su vez funcionaría como reservorio, obteniendo así una medida estructural tendiente al Impacto Hidrológico Cero.

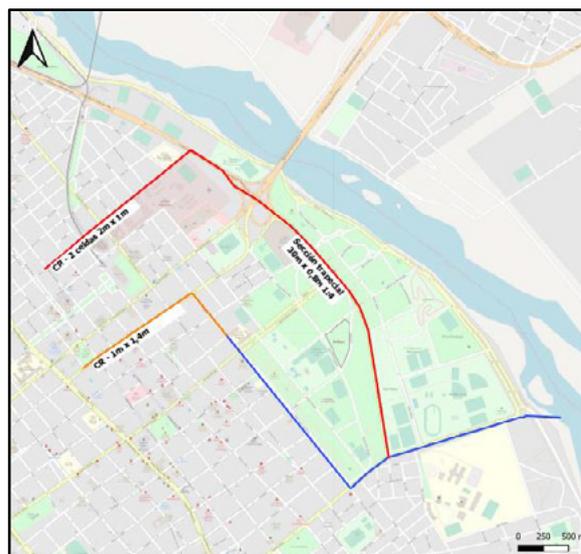


Figura 1.- Ubicación de las obras: en amarillo el Sistema calle Jujuy propuesto, en rojo el Sistema Calle Chaco y Parque Lineal Costero propuesto y en azul el sistema existente.

Modelado Hidráulico

Para los estudios hidrológicos- hidráulicos se empleó el modelo de gestión de aguas pluviales EPA SWMM (Storm Water Management Model) de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (USEPA, U.S. Environmental Protection Agency), es un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico - hidráulico de un sistema de drenaje urbano, tanto en términos de cantidad de agua como en la calidad de esta.

A partir de la utilización del relevamiento topográfico realizado por el municipio de Santiago del Estero, se delimitaron las cuencas de la zona urbana de interés (Figura 2).



Figura 2.- Esquema topológico confeccionado para la simulación de los sistemas.

Resultados

En las siguientes figuras, se puede visualizar el perfil longitudinal de las calles Jujuy, Gorriti, Oleachava y Alsina (Figura 3) y de los conductos de la calle Chaco (Figura 4) y del Parque Lineal Costero (Figura 5).

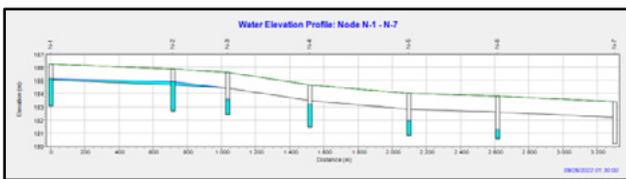


Figura 3.- Calle Jujuy, Gorriti, Oleachava y Alsina en el momento de máxima capacidad. Tr: 10 años.

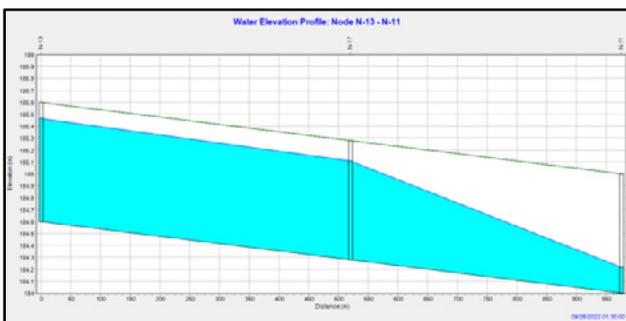


Figura 4.- Conductos calle Chaco en el momento de máxima capacidad. Tr: 10 años.

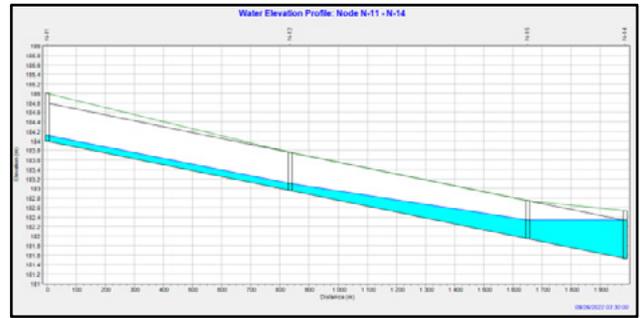


Figura 5.- Parque Lineal Costero en el momento de máxima capacidad. Tr: 10 años.

Como puede observarse en las imágenes anteriores, el sistema Chaco y Parque Lineal Costero funciona sin llegar a estar los conductos a presión, sumado a la capacidad que tiene el canal a cielo abierto de almacenar excedentes pluviales; mientras que en el sistema Jujuy, donde se encuentran las áreas con mayores anegamientos, se generaría una mitigación de la problemática, teniendo aguas arriba del sistema una altura de agua de unos pocos centímetros y por un breve tiempo.

Referencias Bibliográficas

Tucci, C. E. M. (Organizador), (1993), “Hidrología Ciência e Aplicação”, Editora da Universidade, Brasil.

Chow, V. T.; (1987). “Hidrología aplicada”. Mc Graw-Hill.

EPA UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY “Storm Water Management Model. Reference Manual”. EPA/600/R-15/162A. January 2016

Chow, V. T.; (1958). “Hidráulica de canales abiertos”. Mc Graw-Hill.

CAPTACIÓN LIBRE MEDIANTE AZUD DE GEOCONTENEDORES EN EL RIO CONLARA, SISTEMA PASO DE LA CRUZ, SAN LUIS

GRANDE Andrés, SOTERO Fernando, MANONI Martín, MONTEAGUDO Leonardo

CORIPA SA, SAN LUIS AGUA SE – Argentina

agrande@coripa.com.ar, fsotero@coripa.com.ar, slagerenciaoperativa@gmail.com, canales.sanluisagua@gmail.com

Descripción del contexto

En una acción conjunta entre la empresa público estatal San Luis Agua Sociedad del Estado (SLASE) y CORIPA SA se ejecutó una captación libre mediante un azud de derivación utilizando geocontenedores rellenos en seco.

Esta obra alimenta al sistema de riego Paso de la Cruz en el norte de San Luis, integrado por pequeños y medianos productores de las localidades de Santa Rosa de Conlara, Lafinur y Los Cajones, sumando un total de 600 ha de alfalfa y olivo, y cuya administración hídrica está a cargo de SLASE.

El Río Conlara en inmediaciones de la localidad de Lafinur recibe la recarga de diversas vertientes que garantizan un régimen permanente, sumando un módulo anual del orden de 400 lts/seg. Los procesos erosivos de crecidas estivales inutilizan las tomas libres, descendiendo el nivel de base del cauce por debajo de las rasantes de fondo de los canales, precisando componer los azudes de derivación. Este aspecto presenta el requerimiento de un mantenimiento continuo en la época de crecidas, además de verse francamente disminuida la eficiencia de cierre.

La zona se encuentra rodeada de monte de difícil acceso y la escasa presencia de material rocoso en las inmediaciones dificulta la ejecución de una obra de tipo tradicional.

Garantizar un cierre que optimice la captación libre de esta toma es fundamental para la seguridad de la entrega de agua en el sistema de riego. Incrementar y lograr mayor eficiencia global de la aplicación de la dotación de riego se traduce en mayores volúmenes de producción primaria, que a su vez redundan en mayores ingresos económicos de las unidades productivas, potenciando así la dinámica y el desarrollo de las economías regionales.

Solución adoptada

Dado la dificultad de acceso, el escaso tiempo disponible por precipitaciones del final del período estival y la disponibilidad de material arenoso del fondo y laterales del cauce, se optó por un cierre con geocontenedores rellenos en seco. Una ataguía de material suelto desvió la totalidad del río Conlara hacia el canal de aducción durante la ejecución.

En el paraje denominado El Salitral se construyó un azud con geocontenedores que eleva el pelo de agua 1m sobre el nivel del cauce, en una sección de forma aproximadamente parabólica cuyo perímetro supera los 25m de extensión. El cuerpo del azud se conformó por dos hileras de geocontenedores en tándem superpuestos vertical y longitudinalmente (Figura 1). Este diseño de la sección de elementos intertrabados, entre los mismos

geocontenedores y entre estos y el fondo del cauce, garantiza la estabilidad estructural de la obra, la cual se verifica teóricamente de manera sencilla (USBR, 1970; Estudios FAO, 1982).

Para el cierre se utilizaron geocontenedores para ser rellenos en seco, que consisten en bolsas de geotextil tejido abiertos en su parte superior, con un perímetro de sección de 5m y un largo superior de 5m (Figura 2). Estos geocontenedores están confeccionados con geotextil tejido de una resistencia a tracción en ambas direcciones superior a los 55 KN/m (Normas IRAM 78012/ASTM D4595/ISO10319) y alta resistencia a los rayos ultravioletas (Norma ASTM D4355). La costura de los geocontenedores se realizó con hilo siliconado que garantiza la durabilidad de la unidad.

Una vez rellenos obtienen una forma elipsoidal de aproximadamente 1.40m de ancho y 0.80m de altura, tendiendo hacia una forma más rectangular en función de la distribución granulométrica más arenosa y el mayor contenido de humedad.

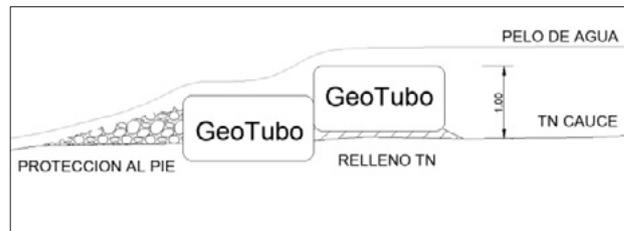


Figura 1.- Esquema de obra

Para el llenado del geocontenedor se utiliza un pequeño encofrado de materiales livianos y económicos que dan soporte y guía durante la tarea (Figura 3). Con un equipo liviano y una pequeña cuadrilla de operarios se realiza rápidamente el llenado de los geocontenedores y su costura con máquinas de coser automáticas.

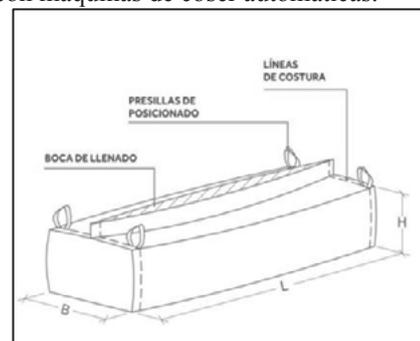


Figura 2.- Esquema de un GeoTubo

Incluyendo las ataguías para el cierre parcial, la ejecución del azud y su puesta en servicio, la obra se ejecutó en menos de 120 horas.

En las imágenes a continuación se observan las distintas

etapas de la obra, abarcando el llenado de los geotubos, el cierre del cauce y la obra en servicio. No se requieren equipos de gran porte para estas tareas.



Figura 3.- Relleno en seco de geocontenedores



Figura 4.- Cierre de la sección del cauce con geocontenedores



Figura 5.- Captación libre con azud de geocontenedores en funcionamiento

Reflexiones

Las obras de ingeniería en general, y en particular este tipo de obras de derivación en sistemas de irrigación, deben contribuir a satisfacer sinérgicamente las necesidades humanas fundamentales que permitan el desarrollo de estas sociedades rurales a partir de la producción agropecuaria, aportando sustentabilidad económica, ambiental y social a la región.

La utilización de geocontenedores para este tipo de obras de derivación permite una gran aptitud y velocidad de ejecución a muy bajo costo, con una ductilidad del conjunto que permite seguir fácilmente la irregularidad de la sección hidráulica del cauce. De igual manera se

destaca su comportamiento flexible ante las solicitaciones hidráulicas de servicio.

A su vez, dado que el relleno en seco de los geocontenedores presenta una buena versatilidad en cuanto a exigencia de tipo de suelos y granulometrías, una ventaja fundamental radica en la posibilidad de emplear los materiales existentes al pie de obra evitando el traslado de materiales. Para todas las tareas no se requieren equipos especiales ni de gran tamaño.

El costo final de obra resultó muy inferior a una obra tradicional de hormigón o cestos de piedra, generando ventajas en la inversión que se transfieren a los sistemas productivos, como así también su impacto ambientalmente positivo respecto de esas soluciones.

El impacto de estas pequeñas obras puede ser enorme en estas economías regionales, ya que optimizan la inversión económica para el acceso y la eficiencia en el manejo del agua, permiten incrementar los volúmenes de producción de las unidades productivas y fortalecen la dinámica de la economía local, disminuyendo relativamente sus costos de elaboración e incrementando las oportunidades ante el actual desarraigo rural. Trascendente para el desarrollo económico y social de estas comunidades y significativo para el cuidado del medioambiente y el cambio climático que nos atraviesa.

Referencias Bibliográficas

- Bezuijen, A., Vastenburg, E.** (2013), *Geosystems: Design Rules and Applications*, Taylor & Francis Group, LLC
- Dal Farra, A** (2009), "Empleo de Geocontenedores en la Protección de la Torre 465 de la L.A.T. Yacyretá – Resistencia", 4° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, p.p. 37-38
- FAO** (1982), *Estudios FAO: Riego y Drenaje 26/2*, Roma, Italia
- Jiang, K., Li, Q.** (2008), "Application of Geotubes Used as Energy Dissipater Behind a Dam", *Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 621. 624
- Pilarczyk, K.** (2000), *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering*, Editorial A.A. Balkema
- Shabankareh, O., Ketabdari, M., Shabankareh, M.** (2017), "Environmental Impact of Geotubes and Geotextiles used in Breakwaters and Small Breakwaters Construction (Case Study: Rigoo Public Breakwater in South of Qeshm island – Iran)", *International Coastal and Offshore Engineering*, Vol 5, p.p. 9-14
- Sheehan, C., Harrington, J.** (2012), "An environmental and economic analysis for geotube coastal structures retaining dredge material", *Resources, Conservation and Recycling, Resources, Conservations and Recycling*, Volume 61, pp91-102
- USBR** (1970), *Diseño de pequeñas presas*, Bureau of Reclamation, US

PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA PARA EL ESTUDIO DEL PROCESO DE EROSIÓN HÍDRICA EN UNA MICROCUENCA AGROPECUARIA EN BUENOS AIRES

Gregorini C.A.^{1,2}, Ares M.G.^{1,2}, Cazenave G.^{3,4}, Fornés M.^{1,2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina, +542281432666

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA, C1425FQB, Buenos Aires, Argentina

³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina

⁴ Facultad de Agronomía, UNICEN, 7300, Buenos Aires, Argentina

cgregorini@ihlla.org.ar; gares@ihlla.org.ar; cazenave@ihlla.org.ar; fornes_magali@ihlla.org.ar; juandrios@ihlla.org.ar

Introducción

La erosión hídrica es un proceso de degradación que causa el deterioro de las propiedades físicas y bioquímicas de los suelos, dando como resultado la pérdida de nutrientes, la disminución de la productividad agrícola e incluso la pérdida de tierras para el cultivo (Li, 2016). La lluvia y el escurrimiento asociados son sus principales desencadenantes. El desprendimiento de las partículas del suelo se atribuye a la energía cinética de las gotas de lluvia y a la cantidad e intensidad de las precipitaciones. El agua que escurre, no solo desprende, sino que transporta las mismas (Blanco y Lal, 2008). La erosión hídrica es un proceso complejo que se da por eventos, con un grado de probabilidad determinado por el comportamiento climático y la ocurrencia de tormentas de alta energía, asociados a momentos de alta susceptibilidad del suelo (Cisneros et al., 2012).

El objetivo de este trabajo es caracterizar la respuesta hidrológica de una microcuenca serrana, bajo uso agropecuario, durante un año, como parte central del estudio del proceso de erosión hídrica.

Materiales y métodos

El análisis se realizó en una microcuenca agropecuaria de 560 hectáreas durante el año 2022. La misma se encuentra en la naciente del arroyo Videla, tributario del arroyo del Azul, centro de la provincia de Buenos Aires. La precipitación media anual es de 962 mm (1989-2018) concentrándose principalmente entre los meses de octubre y abril.

Las precipitaciones se midieron por medio de una estación meteorológica automática situada a 5 km del punto de cierre del área de estudio. Posee un pluviómetro que registra la lluvia cada 10 minutos con una precisión de 0,20 mm a través de un sistema cangilones. Las variables pluviométricas calculadas son la precipitación total (P, mm), intensidad máxima en 30 minutos (I30, mm h⁻¹) y el producto entre su energía cinética e I30 (EI30, MJ mm (ha h)⁻¹). La energía cinética se obtuvo de la suma de las energías individuales en intervalos de 10 minutos según la relación matemática obtenida por Wischmeier y Smith (1978):

$$e = 0.119 + 0.0873 \log_{10}(i) \quad [1]$$

donde e es la energía cinética del intervalo (MJ (ha mm)¹) El nivel de agua se midió cada 30 minutos con un sensor de presión situado en el cierre de la microcuenca. Se realizaron aforos para la elaboración de la curva altura-caudal. Debido a la dificultad de acceso a la sección de control en algunos periodos, se realizaron cálculos de caudales mediante la ecuación de Manning, considerando el área transversal del flujo, el factor de rugosidad de Manning y la pendiente de la superficie del agua (Dingman, 2015). Los resultados de la curva h-Q calculada con aforos se contrastaron con los resultados obtenidos mediante la ecuación de Manning. La separación del caudal total y el caudal base se realizó aplicando un filtro digital (Rodríguez et al., 2000) basado en uno de los métodos revisados por Chapman (1999) y Nathan y McMahon (1990). El filtro elimina la componente de alta

frecuencia del hidrograma (escorrentía directa) y determina el componente de baja frecuencia (caudal base). Las variables de escurrimiento calculadas fueron el caudal pico (Qp, m³ s⁻¹), el tiempo al pico de crecida (Tp, h), escurrimiento directo (ED, mm), el coeficiente de escurrimiento (CE, %) y la intensidad de la crecida (IC, m³ s⁻¹). Esta última variable, que describe la velocidad de descarga para alcanzar el caudal pico durante un evento (Oeurng et al., 2010), se calculó mediante:

$$IC = \frac{(Qp - Qb)}{Tp} \quad [2]$$

Se consideraron también los caudales base de las 12 horas previas como variable para evaluar las condiciones de humedad antecedente en la microcuenca y se tuvo en cuenta el uso del suelo y el estado de los cultivos en cada evento lluvia-escurrecimiento. Por último, se calcularon las correlaciones de Pearson entre las variables estudiadas.

Resultados y discusión

La precipitación media anual del año 2022 registró un valor por debajo de la media, de 759 mm. Considerando los totales mensuales, los meses con mayores déficits fueron mayo, junio y septiembre, con precipitaciones 87, 91 y 83% inferiores que el promedio para dichos meses. Durante el período de estudio se analizaron siete eventos de crecidas (Tabla 1). Los primeros cuatro eventos ocurrieron en verano (E1:18/01, E2:26/02, E3:06/03, E4:23/03) y uno en otoño (E5:26/04), período en el cual la cobertura del suelo estaba dada por cultivos de soja de primera, de segunda y maíz. Los dos eventos restantes se dieron en invierno (E6:27/07, E7:14/08), bajo cultivos de trigo y el residuo de los cultivos de verano.

Tabla 1.- Valores de las variables calculadas. E: eventos; P: precipitación total (mm); I30: intensidad máxima en 30 minutos (mm h⁻¹); EI30: producto de la energía cinética e I30 (MJ mm (ha h)⁻¹); ED: escurrimiento directo (mm); CE: coeficiente de escurrimiento (%); Qp: caudal pico (m³ s⁻¹); Qb: caudal base (m³ s⁻¹); Tp: tiempo al pico (h); IC: índice de crecida (m³ s⁻¹).

E	P	I30	EI30	ED	CE	Qp	Qb	Tp	IC
1	65	15	165	0,42	0,64	0,070	0,014	27	0,002
2	40	72	796	0,84	2,10	0,127	0,021	4,5	0,024
3	25	10	243	0,36	1,42	0,077	0,024	10	0,005
4	109	49	1325	1,22	1,12	0,303	0,027	6	0,046
5	35	24	182	0,26	0,75	0,051	0,017	14	0,003
6	43	32	280	0,62	1,43	0,090	0,013	10	0,008
7	35	38	309	0,16	0,46	0,061	0,010	6	0,009

Se registraron P entre 25,4 y 109 mm asociados a Qp entre 0,05 y 0,3 m³ s⁻¹. La I30 mínima fue de 9,6 mm h⁻¹ y la máxima 72,4 mm h⁻¹. El CE no superó el 2,1% con un mínimo de 0,46%. Los Tp tomaron valores entre 4,5 y 27 horas.

La P y el ED presentaron una relación positiva y estadísticamente significativa (r=0,77, p<0,05) (Figura 1). Al incorporar la variable I30 en esta relación, se observa que los eventos de máximo escurrimiento ocurren principalmente en los meses de

febrero y marzo, con los valores más elevados de I30.

La relación ED-P se vincula con la condición de humedad antecedente de la cuenca. Al analizar distintos rangos de P, los ED más elevados se asocian con caudales base más altos. Para el rango de P de 20-40 mm, el E3 presenta un Qb de $0,024 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que para P entre 40 y 70 mm el E2 presenta un Qb de $0,021 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. El E4, de máxima P, también registró el máximo Qb de la serie de datos, correspondiente a $0,027 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

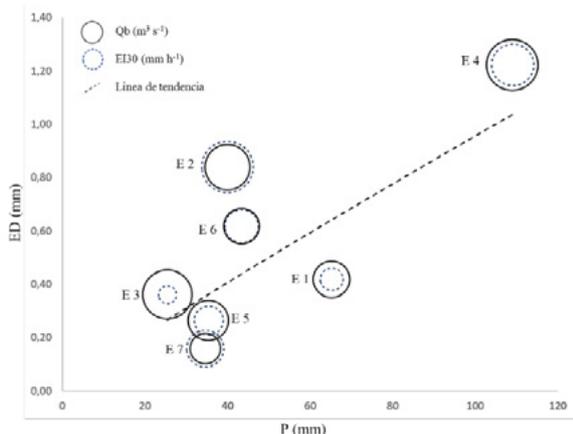


Figura 1.- Escurrimiento directo (ED) versus precipitación (P). Tamaño del círculo negro: caudal base; tamaño del círculo punteado: I30.

El Tp y la IC son variables indicativas de la velocidad de respuesta hidrológica de la cuenca. El Tp y el I30 (Figura 2) se vinculan de forma negativa ($r = -0,65$), mientras que la IC y EI30 (Figura 3) se vinculan de forma positiva y estadísticamente significativa ($r = 0,99$, $p < 0,05$). Esto sugiere que los tiempos de respuesta están ligados de manera conjunta a la intensidad y a la energía de la lluvia, que está estrechamente relacionada a la cantidad de agua precipitada.

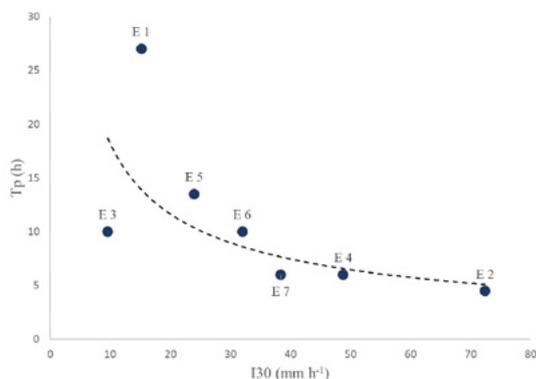


Figura 2.- Tiempo al pico (Tp) versus intensidad máxima en 30 minutos (I30).

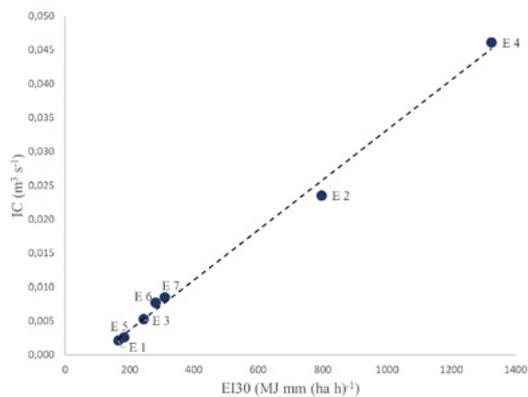


Figura 3.- Intensidad de la crecida (IC) versus el producto entre la energía e I30 (EI30).

Considerando este año particular con precipitación 21% por debajo del promedio, es destacable la tendencia de los caudales base, que disminuyeron entre el inicio y el final de 2022 (Qb promedio: verano= $0,0242$; otoño= $0,0156$; invierno= $0,097$; primavera= $0,0073 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Esto se relaciona con las escasas P en el período de recarga del acuífero (otoño-invierno). Así, el evento analizado en enero, con cultivos en pleno crecimiento y, por lo tanto, con los niveles anuales de evapotranspiración más altos, registró un caudal base mayor que el correspondiente a agosto, cuando la cuenca se encuentra principalmente en barbecho, y condiciones de evapotranspiración baja. Estas cuestiones, en conjunto, repercutieron en las respuestas hidrológicas de los meses invernales y siguientes, con solo dos eventos registrados hasta el mes de agosto. Las precipitaciones posteriores habrían cubierto el déficit de agua en el suelo para los cultivos en crecimiento desde la primavera, lo que habría provocado la ausencia de crecidas relevantes hasta fin de 2022.

Conclusiones

Las condiciones de humedad antecedentes, la I30 y la EI30, modifican la respuesta hidrológica de la cuenca. La tendencia de la precipitación anual repercutió en los escurrimientos de los meses invernales, que fueron escasos. Las variables consideradas interactúan entre sí y con las condiciones de cobertura vegetal, y contribuyen así a la dispersión en las relaciones precipitación-escurrimiento. Los resultados de este trabajo serán utilizados para caracterizar el proceso erosivo y su intensidad bajo las condiciones hidrometeorológicas particulares del año 2022.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el CONICET bajo el Proyecto UE N°22920200100035CO y la ANPCyT, mediante el Proyecto PICT Serie A 03652.

Referencias

- Blanco, N. and R. Lal (2008). "Gully erosion: Impacts, factors and control". *Catena*, 63, pp. 132-153.
- Chapman, T. (1999). "A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation". *Hydrological Processes*, 13, pp. 701-714.
- Cisneros, J.M., C. Cholaky, A. Cantero Gutiérrez, J. González, M. Reynero, A. Diez, L. Bergesio, J. J. Cantero, C. Nuñez, A. Amuchástegui y A. Degioanni. (2012). *Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo*. UNIRIO Editora.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology 3rd ed.* Illinois, USA: Waveland Press.
- Nathan, R. J., & McMahon, T. A. (1990). "Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analyses". *Water Resources Research*, 26(7), pp. 1465-1473. <https://doi.org/10.1029/WR026i007p01465>
- Oeurng, C., Sauvage, S. and Sánchez-Pérez, J.M. (2010). "Dynamics of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest France". *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, pp. 1289-1301.
- Wischmeier W.H. and Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. Handbook 537, USDA-ARS.
- Li, Z., & Fang, H. (2016). "Impacts of climate change on water erosion: A review". *Earth-Science Reviews*, 163, pp. 94-117.

DIMENSIONAMIENTO DE MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO EN EL FALDEO CERRO OTTO, BARILOCHE

Nicolás Federico Guillén^{1, 2, 3}, Pablo A. Espiñeira^{3, 4}, Guillermo Mena³, Ana Laura Rydzewski³, Germán Briñon³, Giselle Fonterroy³

¹Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería (I. E. I. Ing.) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta, Campo Castañares, Salta, República Argentina.

²Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC) y CETA – FCEfyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina

³Instituto Nacional del Agua (INA), Ezeiza, Buenos Aires, Argentina

⁴Universidad Nacional de La Matanza - Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (UNLaM-DIIT), Buenos Aires, Argentina

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Macrodrenaje Urbano, con el objetivo de dar asistencia técnica a los Municipios, y elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de saneamiento pluvial. En este marco, en este trabajo se formula un diagnóstico en base a los antecedentes disponibles, de medidas estructurales y no estructurales en la ciudad de San Carlos de Bariloche, para mitigar los efectos de anegamientos urbanos. A partir de dicha evaluación se proponen soluciones, a nivel de anteproyecto, mitigatorias o correctivas de la problemática pluvial.

En virtud de lo anterior, del relevamiento del área, del análisis de antecedentes y del estudio de la problemática hídrica, se analizaron medidas estructurales y no estructurales propuestas para mitigar el riesgo hídrico y así poder minimizar el impacto producto de las precipitaciones intensas en la cuenca de estudio.

Zona de estudio y antecedentes disponibles

La ciudad de San Carlos de Bariloche dispone de un Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano desarrollado por el Departamento Provincial de Aguas (DPA) de la Provincia de Río Negro, presentado en 2009, el cual es una compilación de trabajos que han sido llevados adelante a través convenios ejecutados entre el DPA, el Consejo Federal de Inversiones y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, y en el cual se condensa toda la información generada para la resolución de los problemas derivados del drenaje pluvial en la ciudad de San Carlos de Bariloche.

Este Plan Director, cuenta con un detallado estudio hidrológico del área de estudio, y se estiman los caudales de diseño asociados a diferentes tiempos de retorno y escenarios futuros.

A la hora de abordar la problemática, autoridades municipales señalaron el interés de analizar el saneamiento hídrico de las Cuencas de la Unidad Faldeo Cerro Otto, las cuales estaban contempladas en dicho Plan Director. Las cuencas a sanear ocupan un área de aproximadamente 312 hectáreas.

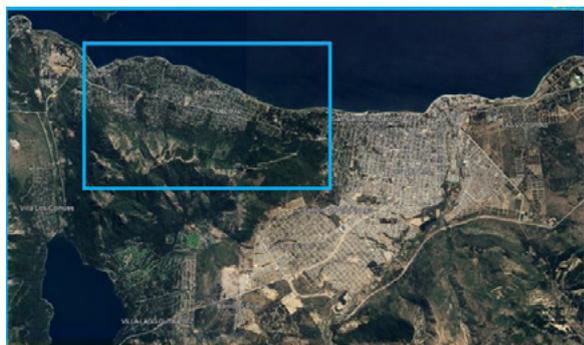


Figura 1.- Zona de estudio

Se realizó una visita a la zona de estudio, con el objetivo de

adecuar las obras propuestas a la realidad del lugar y además poder analizar cuáles serían las medidas estructurales y no estructurales en cada uno de los sitios analizados.



Figura 1.- Imágenes captadas durante la visita a la zona de estudio.

Resultados

A priori se desarrolló un modelo hidráulico 2D para evaluar la situación actual aplicando el programa HEC RAS. Al realizar la simulación, se observan importantes anegamientos en diferentes zonas de la cuenca de estudio.



Figura 2.- Mancha de inundación– T=10 años – Situación actual.

Al recorrer la zona de estudio, se verificó la dificultad para la materialización de microembalses por el gran avance actual de la urbanización; por lo que se analizará la ejecución de una red de desagües pluviales.

Posteriormente, para avanzar con el estudio hidráulico de la red

de desagües pluviales, se adoptó para el dimensionamiento de las obras de conducción los caudales de diseño correspondientes a 10 años de recurrencia, en condición futura (es decir con un uso de suelo proyectado a 50 años).

Debido a las grandes pendientes del terreno, tipología de la red de escurrimiento pluvial, se prioriza la propuesta de sistematización consistente en acequias o zanjas revestidas con drenes laterales para el ingreso del escurrimiento, y tapas de hormigón armado para la materialización de los ingresos a las viviendas y veredas en sectores donde existen anchos reducidos entre líneas municipales. Se tuvo presente la propuesta del Plan Director, de interceptar los escurrimientos de cañadones presentes dentro de propiedades privadas, de forma tal de redireccionar el flujo por la sistematización propuesta por la vía pública. En la figura siguiente se muestran los 6 colectores pluviales que se proyectan:



Figura 2.- Colectores pluviales a proyectar.

Los criterios de diseño que se tuvieron en cuenta fueron:

- Los colectores escurren aledaños a las calles
- Funcionamiento a gravedad de los colectores para el Q de diseño.
- Colectores primarios con sección mínima a 0.5 m x 0.5 m.
- Vel. mínima de las conducciones = 0.90 m/s.
- Vel. máxima de las conducciones = 8 m/s (esporádica)

Las dimensiones de cada una de las secciones hidráulicas modeladas son:

Tabla 1.- Dimensiones y caudales de diseño de cada una de las conducciones proyectadas.

Colector	L [m]	b [m]	h [m]	Q diseño [m3/s]	Tipología
I	240	0.5	0.5	0.80	Acequia revestida con loseta de tapa
II	270	0.5	0.5	0.90	
III	850	0.6	1.2	2.55	
IV	865	0.5	0.5	1.05	
	320	0.6	1.2		
V	880	0.5	0.5	1.10	
	1890	0.5	0.5		
	1610	0.6	1.2		
	350	1.2	1.2		
VI	630	1.5	1.2	5.40	Conducto rectangular
	630	1.5	1.2		

Para la modelación hidráulica se implementó el programa EPA SWMM; y a continuación se presentan los principales resultados:



Figura 3.- Caudales escurridos en los colectores simulados.

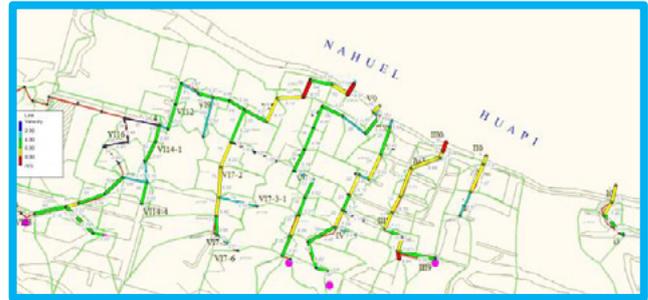


Figura 4.- Vel. del flujo en los colectores simulados.



Figura 5.- Tirantes en los nodos de los colectores simulados.

En lo relacionado a las acciones no estructurales, son fundamentales para el cumplimiento de los objetivos del Programa y deben ser realizadas en conjunto con la infraestructura. Se describen las principales líneas de acción: promover protocolos de actuación, tales como corredores seguros, centro de asistencia, puntos de reunión., en caso de emergencia hídrica; desarrollar estrategias para minimizar el riesgo de inundación; promover, difundir y desarrollar conductas en la prevención, la alerta, la emergencia y la reconstrucción; desarrollar talleres de participación ciudadana, para la capacitación en los Principios del Drenaje Urbano Sustentable; fortalecer las regulaciones referentes al ordenamiento territorial en áreas con riesgo de inundación; desarrollar políticas tendientes al Impacto Hidrológico Cero; y desarrollar legislación tendiente al dominio por parte del Estado de la posibilidad de intervenir y regular sobre los drenajes naturales.

Conclusiones

En virtud de los estudios hidrológico/hidráulicos, la visita de campo realizada y reuniones con personal municipal y de la Dirección Provincial de Aguas, se definieron a nivel de anteproyecto o ingeniería conceptual, las medidas para mitigar el riesgo hídrico en las cuencas de estudio.

En el caso particular de la cuenca de estudio, si se tiene en cuenta que actualmente no existe ninguna medida para mitigar el riesgo hídrico; queda clara la evidente mejora de los escurrimientos debido a la materialización de las acciones propuestas aquí.

Es fundamental abordar la problemática hídrica relacionada al drenaje urbano en Argentina; y para ello es muy importante continuar con el análisis a nivel de anteproyecto; para posteriormente poder abordar el Proyecto Ejecutivo y finalmente lograr la materialización; de tal manera de mitigar los riesgos ocasionados por anegamientos e inundaciones.

Si bien este trabajo sirve de puntapié, marca una línea de trabajo clara no solo en la localidad de Bariloche; sino en la mayoría de las ciudades de nuestro país.

Bibliografía

Departamento Provincial de Aguas (2009). *Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche.*

METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LIMNIGRAFO-FREATÍMETRO

Havrylenko Sofia B.¹, Moltoni Andrés F.², Clemares Nicolás², Espindola Aime¹, Fiorini Correa Julio G.²

¹ Instituto de Clima y Agua (+54-11-43384600-8509), ² Instituto de Ingeniería Rural (+54-11-43384600-8805), INTA. Nicolas Repetto y de los Reseros s/n. (1686), Buenos Aires, Argentina.

havrylenko.sofia@inta.gob.ar, moltoni.andres@inta.gob.ar, clemares.nicolas@inta.gob.ar, espindola.aime@inta.gob.ar, fiorini.julio@inta.gob.ar

Introducción

La disponibilidad de registros precisos y exactos del nivel del agua es fundamental para comprender la dinámica de los recursos hídricos y su relación con actividades agropecuarias, industriales y el consumo humano. Además, los registros de calidad evitan desviaciones en los procesos que se están estudiando. En el caso de innovaciones tecnológicas, como el prototipo de Limnigrafo-Freatímetro desarrollado por INTA (Clemares et al., 2022; Havrylenko et al., 2022), las etapas de ensayos, pruebas e instalaciones en campo son cruciales. Con el objetivo de asegurar mediciones confiables que sean consistentes con lo esperado y adecuadas para su uso, se planteó el desarrollo de una metodología para caracterizar estos equipos. Aunque esta fase del desarrollo requiere tiempo y recursos económicos y humanos, es fundamental para demostrar las funcionalidades de los equipos y mejorar el diseño inicial.

Materiales y métodos

Con el fin de evaluar la precisión del equipo en condiciones de laboratorio, se comparó su medición simultánea con una escala graduada y un equipo comercial calibrado de características similares. Además, se observaron las condiciones ambientales prevalentes durante dicho proceso (Heiner, 2012). Se asumió un equilibrio hidrostático y que $P_m = P_{atm} + \rho_w * g * h_m$ donde P_m es la presión del agua a una cierta profundidad (h_m) y P_{atm} es la presión atmosférica que se ejerce sobre la superficie del agua, ρ_w es la densidad del agua (kg/m^3) y g es la aceleración de la gravedad (m/s^2). Así, el sensor de presión mide una cantidad relacionada con la altura de la columna de agua sobre el sensor. El equipo cuenta con un sensor comercial cuyo fabricante indicó una precisión de 0,5% de fondo de escala, que permite una medición continua de niveles hasta 10 m columna de agua y que se puede sumergir hasta 100 m sin perder estanqueidad.

Para recrear un pozo freatimétrico que se ubicó en el hangar del Laboratorio de Electrónica del Instituto de Ing. Rural (Figura 1) se diseñó un banco de ensayo. Se utilizó un caño pluvial de polipropileno opaco de 110 mm de diámetro y 4 m de altura, en posición vertical nivelado y amurado a una pared. En la parte inferior se colocó una cámara de inspección y una canilla para regular la altura de la columna de agua. Para visualizar el nivel de la misma, empleando el sistema de vasos comunicantes, se instaló una manguera de PVC cristal y una regla milimetrada paralelo al caño. Por último, los sensores se introdujeron por la parte superior con sus respectivos ceros emparejados hasta una profundidad de 4 metros.

Para caracterizar el prototipo, se diseñaron tres unidades muestrales (UM1, UM2 y UM3). La UM1 analizó la respuesta del sensor a la presión atmosférica cuando está expuesto al aire para determinar la presencia de un offset. Se tomaron registros cada 30 segundos durante 67 horas. La UM2 constó de 4 unidades de análisis para evaluar la medición del instrumento en puntos fijos de una escala. Tres de ellas fueron estáticas, correspondiendo al ascenso, descenso y comportamiento errático

del nivel de agua. La cuarta unidad se estableció en condiciones dinámicas, con un descenso continuo de la columna de agua. Por último, la UM3 evaluó el instrumento en un amplio rango de mediciones en condiciones dinámicas de descenso. Se registró la altura cada 60 segundos desde los 4 metros hasta vaciar el banco de ensayo.

A partir de las pruebas piloto del experimento, se evaluó el número y la duración de las repeticiones, corrigiendo errores experimentales. Se observó un ruido en la señal del equipo, manifestado en cambios abruptos menores a 18 mm en la medición a intervalos regulares. Para controlar este ruido, se incorporó un filtro analógico y otro digital en el firmware. Debido a que en el ensayo solo se necesitaba medir una altura de columna de agua de 4 metros como máximo, se optó por configurar el equipo para que utilice rango de medición del sensor de 0 a 5 metros. Además, se estableció llevar a cabo 3 repeticiones por unidad de análisis. En particular, para la UM2, cada repetición consistió en 30 mediciones cada 30 segundos, en las siguientes alturas fijas (en milímetros): 12, 32, 80, 144, 224, 320, 720, 1600, 2640 y 3840 (Figura 1).

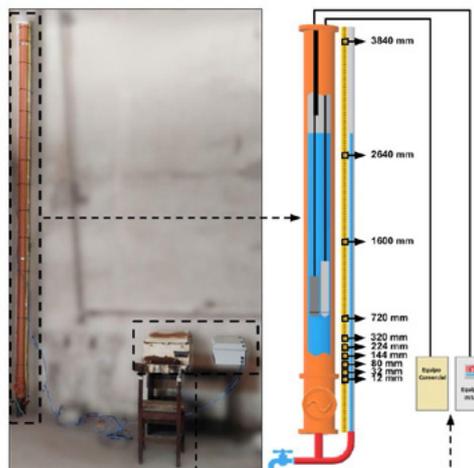


Figura 1.- Diseño y estructura del banco de ensayo.

Se realizaron las siguientes pruebas a partir de los datos observados: repetibilidad, reproducibilidad, sesgo y linealidad (Moret y Paisan, 2010; AIAG, 2010). Estos análisis permiten evaluar la variabilidad de las mediciones del prototipo bajo una condición específica (repetibilidad) y en diferentes condiciones (reproducibilidad). Además, se busca detectar si las mediciones del prototipo son consistentemente más bajas o más altas que el valor de referencia (sesgo) y si siguen una relación lineal con las mediciones de referencia. Estas pruebas en conjunto proporcionan información fundamental sobre el rendimiento del prototipo y ayudan a identificar las mejoras necesarias.

Resultados

A partir de la UM1, se determinó que el prototipo no presentó un offset asociado a la presión atmosférica durante el período

observado, mientras que el equipo comercial tuvo un offset promedio de 18 mm.

La repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición se evaluaron utilizando el método de promedios y rangos sugerido por Moret y Paisan (2010), con los datos de la UM2. El % de repetibilidad promedio de todos los niveles de agua resultó ser 15,430 ligeramente mayor al % de reproducibilidad promedio (12,369). Esto indica que la variabilidad existente entre las mediciones se debe al instrumento en sí y/o al sistema utilizado para realizar las mediciones en los diferentes tratamientos aplicados. El porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad promedio R&R fue de 20,041, ubicándose entre el rango 10% y 30%. Esto implica que el sistema de medición es aceptable temporalmente, aunque se requieren mejoras. Se plantearon dos hipótesis: en primer lugar, puede ser necesario aumentar la tolerancia admitida ($T = 10$ mm) en la medición; y en segundo lugar, se debe revisar el sistema de medición, ya que los mejores resultados se obtuvieron en las mediciones centrales, lo que sugiere que los extremos podrían tener un error asociado a una mayor dificultad operativa.

El sesgo de las mediciones se obtuvo a partir del método de Bland-Altman (Figura 2). A partir del gráfico se puede observar que el sesgo medio de los datos se mantiene cerca del cero. La mayoría de las diferencias individuales se encuentran dentro de un rango de confianza del 95% (± 5 mm). El 99% de los datos se encuentra dentro de las líneas establecidas como tolerancia del instrumento (± 10 mm), y todos los datos están dentro de la tolerancia proporcionada por el fabricante del sensor (máximo ± 50 mm para la sonda utilizada).

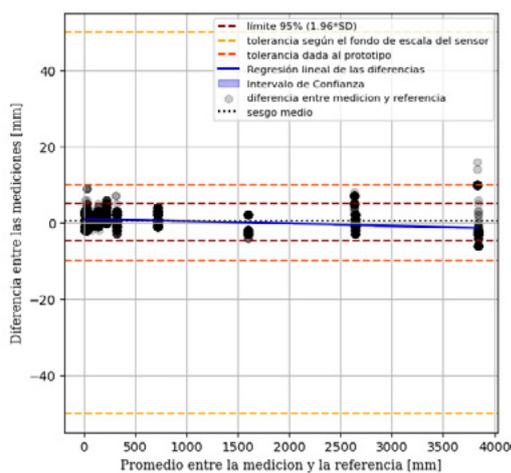


Figura 2.- Gráfico de Bland-Altman que muestra la concordancia entre las mediciones del prototipo y escala graduada.

Asimismo, al observar la regresión lineal de las diferencias de las mediciones del prototipo se ve una tendencia negativa en los datos. Esta misma evaluación se realizó para el equipo comercial, y en ambos equipos se observó un comportamiento similar, con pendientes muy bajas. Esto indica que las diferencias entre las mediciones no son constantes en todo el rango. Específicamente, cuando los niveles de agua son altos, las diferencias son más amplias y se alejan con mayor frecuencia del valor observado en la escala. A medida que nos acercamos a los niveles de agua más bajos, los datos de ambos equipos y la escala se centran. El coeficiente de determinación para la línea de regresión R^2 del prototipo fue de 0,09 (0,06 equipo comercial), y el valor p del t-test de una muestra fue $p = 0,0$. Estos resultados confirman que, aunque existe una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones y la regla, dichas diferencias son operacionalmente insignificantes. La única diferencia notable se encontró en los sesgos medios de los equipos evaluados, donde el equipo comercial registró un valor 25,16 mm, mientras que el prototipo desarrollado presentó un sesgo de 0,37 mm., mostrando

una mejor capacidad del equipo a acercarse al valor de referencia.

Para confirmar la linealidad encontrada, se evaluó el equipo en un rango amplio de medición. Para ello se utilizó el conjunto de datos de la UM3. Se creó un gráfico de dispersión (Figura 3) que representa los datos observados en la escala graduada en relación al valor dado por los equipos. Se ajustó una línea de regresión para cada instrumento, y se obtuvieron coeficientes de determinación R^2 de 0,999 para ambos. Estos resultados indican una excelente linealidad de los equipos en un amplio rango de mediciones.

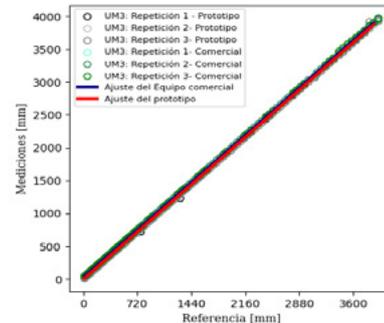


Figura 3.- Análisis de linealidad en condiciones dinámicas.

Conclusión

El análisis de Bland-Altman muestra que la diferencia promedio entre el prototipo y la regla es poco significativa, y se mantiene dentro de la tolerancia establecida. Aunque hay una tendencia negativa en las diferencias, este comportamiento no tiene un impacto práctico significativo en las mediciones. Los análisis realizados en este estudio mostraron una excelente linealidad en un amplio rango de mediciones. Los resultados obtenidos con el prototipo fueron equiparables a los del equipo comercial. Se concluye que las mediciones del prototipo son precisas y confiables, y que la metodología utilizada para caracterizar el mismo y calibrar los demás equipos fabricados es aceptable.

Agradecimientos: Fundación ArgenINTA, P041 INTA.

Referencias

- AIAG-Work Group.** (2010). Measurement systems analysis. MSA 4th Edition-Reference manual. Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- Clemares, N., Moltoni, A.F., Havrylenko, S.B., Espindola, A., & Fiorini Correa, J.** (2022). Desarrollo de un hardware para una estación de monitoreo hidrológico multiparamétrica. Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2022) - JAIHO 51. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Sociedad Argentina de Informática - SADIO.
- Havrylenko, S.B., Moltoni, A.F., Clemares, N., Espindola, A., & Fiorini Correa, J.** (2022). "Desarrollo de un prototipo electrónico inalámbrico para medir el nivel de agua en cuencas del sistema agroalimentario argentino". XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Foz de Iguazú, Brasil: Association for Hydro-Environment Engineering and Research.
- Heiner, B.J., & Gill, T.W.** (2012). "Water Level Sensors, What Works?". International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures. 4. <https://digitalcommons.usu.edu/ewhs/Sessions/1/4>.
- Paisan, Y.P., & Moret, J.P.** (2010). "La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición". Chemical Technology, 30(2), 117-121.
- Tamari, S. & Aguilar-Chávez, A.** (2010). Testing submersible pressure transducers to monitor water level in tanks. Water Technology and Sciences, 1 (3) July-September, 2010, pp. 71-88.

REVESTIMIENTO DE CANALES DE HORMIGÓN UTILIZANDO GEOCELIDAS: VENTAJAS FRENTE AL SISTEMA DE LOSAS CONVENCIONALES

Nicolás Ibarra, Ing. Augusto Mendiz

CORIPA S.A - Argentina

E-mail: nibarra@coripa.com.ar, amendiz@coripa.com.ar

Introducción

El revestimiento de canales con hormigón ha sido una solución efectiva para garantizar la integridad de las conducciones frente a condiciones hidráulicas exigentes. Sin embargo, el sistema tradicional de losas presenta limitaciones en términos de necesidad de mano de obra calificada, rendimientos de construcción moderados y potenciales problemáticas como infiltraciones localizadas causantes de erosión de la subrasante.

La implementación de geoceldas en revestimientos de hormigón resulta en una alternativa cada vez más difundida en reemplazo de las losas convencionales. Las geoceldas rellenas con hormigón forman un revestimiento semirrígido que le permite adaptarse a deformaciones en el terreno de apoyo, facilitar y agilizar el proceso constructivo y disminuir costos significativos.

Este innovador sistema constructivo ha sido implementado en obras hidráulicas de gran envergadura de conducción y derivación de ríos en la Argentina. Tal es el caso del revestimiento de 22km de un canal de derivación que abastece al canal de Dios y del revestimiento de 180km de extensión del canal de la Patria, ambos canales ubicados en la provincia de Santiago del Estero.

Comportamiento del sistema

Las geoceldas son estructuras tridimensionales de confinamiento celular en forma de panal de abejas fabricadas en base a tiras poliméricas de polietileno de baja densidad (PEAD) o aleación nano polimérica de polietileno reforzado (NPA) que mejora su comportamiento a deformaciones en el largo plazo o creep. Su aptitud para el confinamiento del material de relleno manteniendo un comportamiento flexible hace que su uso no se vea limitado únicamente para revestimientos de hormigón, sino que también se presenta como una solución en obras de control de erosión de taludes, refuerzo de capas de pavimentos y construcción de muros de contención, teniendo presencia entonces en aplicaciones tanto hidráulicas como geotécnicas.

Al rellenar las geoceldas con hormigón se logra un revestimiento que se comporta como una losa semirrígida continua capaz de acomodarse a las pequeñas deformaciones que puedan presentarse en el suelo de apoyo. La ejecución de canales de conducción son obras que por su naturaleza involucran grandes extensiones, atravesando en la mayoría de los casos terrenos donde los suelos presentan propiedades mecánicas que irán variando. El uso de losas convencionales de hormigón puede convertirse potencialmente en un riesgo si no se garantiza que la subrasante sea capaz de soportar las cargas a las que está sometida sin admitir deformaciones que provoquen la fisuración de la losa rígida. Esta situación deriva en la necesidad de la realización de tratamientos de la subrasante o aumentos en el espesor de hormigón que busquen aumentar la capacidad portante del suelo o disminuir las tensiones a las que será sometido.

Por otro lado, las deformaciones inducidas por cambios de temperatura o volumétricos en las losas de hormigón son propicias a generar fisuras adicionales e incurrir en la obligatoriedad de construir juntas entre losas que permitan considerar estos movimientos. Una mala ejecución de estas juntas o elevados grados de fisuración en las losas provocarán

puntos de infiltración localizada del escurrimiento que tiende al agravamiento de la situación por arrastre del suelo soporte perdiéndose superficie de apoyo, y posibilidad de corrosión de armaduras.

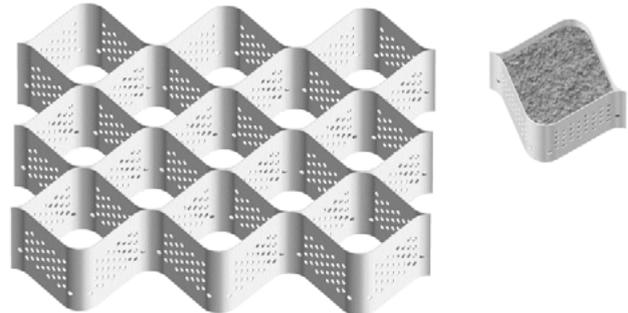


Figura 1.- Esquema 3d de geoceldas

El uso de geoceldas para la cobertura de canales se presenta como una alternativa versátil frente a la heterogeneidad en la deformabilidad de la subrasante y minimiza el espesor del revestimiento requerido. Las geoceldas se adaptan a los pequeños movimientos del suelo a partir de la microfisuración controlada del revestimiento inducida en las paredes de las celdas, sin derivar en infiltraciones severas debido a la rugosidad y adecuada adherencia presente en la interfaz geocelda-hormigón. A su vez, se elimina la ejecución de juntas logrando un revestimiento continuo en toda la extensión. De esta manera, los costos del proyecto se ven considerablemente disminuidos.

Instalación del sistema

Las ventajas del empleo de geoceldas en obras de revestimientos no comprenden únicamente al comportamiento mecánico, sino que el método constructivo se ve ampliamente simplificado respecto del tradicional.

Una vez perfilado y nivelado el terreno, y posteriormente a la colocación de un geotextil no tejido de separación, la instalación de las geoceldas consiste en el despliegue de los paneles sobre la superficie. La unión entre paneles se efectiviza rápidamente a partir de grapas.

En los taludes las geoceldas se extenderán más allá del coronamiento enterrándose en zanjas de anclaje que brindan estabilidad al sistema. Para taludes de elevada pendiente pueden incorporarse el uso de tendones o estacas que colaboran en evitar el deslizamiento de las celdas. Las estacas son también utilizadas para soportar los esfuerzos de corte inducidos al revestimiento en escurrimientos con condiciones hidráulicas severas.

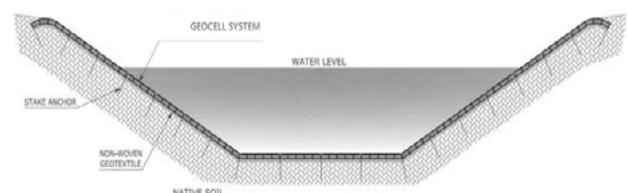


Figura 2.- Esquema típico canal revestido con geoceldas.

Finalmente, una vez terminada la fijación y ubicación de las

celdas, se procede al hormigonado con los mismos procedimientos utilizados en el método tradicional. En caso de que no se requiere hormigonar la totalidad de los taludes, las geoceldas pueden rellenarse con suelo permitiendo el crecimiento de la vegetación y reforzándola frente a fenómenos erosivos.

Dado que se trata de un sistema tridimensional en forma de celdas, se elimina la necesidad de construcción de encofrados y es posible garantizar un espesor mínimo uniforme en toda la extensión del canal. Además, al evitar la colocación de armaduras y no realizar tratamiento de juntas se logra un importante ahorro en tiempo de ejecución y materiales secundarios.



Figura 3.- Hormigonado de geoceldas en canal de derivación.

Implementación en Argentina

Durante el año 2019, el Ministerio del agua y medio ambiente de la provincia de Santiago del Estero proyectó la construcción de un sistema de canales junto con un azud derivador ubicado en una zona cercana al límite con la provincia de Salta, en el paraje Cruz Bajada. Desde el río Salado, se debían derivar caudales por 22 km de canales que fueron revestidos con geoceldas para abastecer al sistema hídrico del Canal de Dios.

El proyecto básico consideraba la construcción del revestimiento con losas de H^oA^o de 10 cm de espesor y juntas de contracción longitudinales y transversales para controlar la fisuración. A su vez, debido a una baja capacidad portante del suelo soporte, resultaban necesarios elevados niveles de compactación del sustrato. Dada la extensión de la obra y los requerimientos hidráulicos y constructivos fue imperioso encontrar una solución que optimice el diseño para disminuir el costo global de la obra.

La implementación de geoceldas permitió el mejoramiento de la obra en varios aspectos. Desde el punto de vista hidráulico, el nuevo diseño contempló una reducción del espesor a 7.50 cm manteniendo su capacidad de soportar flujos mayores a los 8m/s. A su vez, el comportamiento semirrígido puede absorber ciertas deformaciones del sustrato. En cuando a los constructivos, se alcanzaron elevados rendimientos de instalación sin necesidad de armaduras y juntas.

La reducción del volumen total de hormigón y la disminución de los tiempos constructivos tuvo un impacto significativo en el costo final, garantizándose la funcionalidad para la vida útil proyectada.



Figura 5.- Canal de derivación al Canal de Dios en construcción



Figura 4.- Canal de derivación al Canal de Dios finalizado

En la actualidad, se encuentra en desarrollo la construcción del nuevo Canal de la Patria, en la provincia de Santiago del Estero. El propósito de este proyecto es el de brindar un servicio de provisión de agua seguro y permanente para el abastecimiento de las poblaciones que se localizan en una extensa región del centro y norte de la provincia. El canal será capaz de conducir un caudal de 3 m³/s.

En la totalidad de la extensión de aproximadamente 180 km se optó por el revestimiento de hormigón utilizando geoceldas de 7,5cm de espesor en reemplazo de losas convencionales de 10cm.

Comentarios finales

Las obras de ingeniería de conducción hidráulica a superficie libre resultan claves para el desarrollo de las comunidades que se ven influenciadas por ellas. Se trata de proyectos de elevado impacto económico y social. Sin embargo, incurren indefectiblemente en elevados costos constructivos y ambientales que muchas veces provocan que estos proyectos queden relegados.

La utilización de geoceldas es fundamental para lograr la funcionalidad de la conducción disminuyendo los costos de los principales componentes de la obra y logrando un comportamiento mecánico que resulta favorable para adaptarse a las adversidades del terreno. En ambos casos mencionados se logró una reducción del 25% en el consumo de hormigón, manteniendo un espesor constante. Por otra parte, la geocelda permitió prescindir por completo del uso de acero y de encofrados, confinando el hormigón fresco y una vez endurecido generando un revestimiento semi rígido continuo con microfisuraciones inducidas que permite alcanzar altas prestaciones mecánicas e hidráulicas.

En términos ambientales, la huella de carbono de la obra se vio disminuida, no solo por la reducción del volumen total de hormigón y el reemplazo del acero sino también por el menor consumo energético en transportes, equipos y plazos de ejecución.

Esta tecnología innovadora representa una solución de demostrada eficiencia constructiva y probada funcionalidad para parámetros de diseño exigentes.

Bibliografía

- Pokharel, S.K; Han, J; Parsons R.L; Yu Qian; Leshchinsky, D; Halahmi I. (2009). "Experimental Study on Bearing Capacity of Geocell-Reinforced Bases"
- Joel Sprague C. (2013). GRI-25 White paper. "The evolution of geosynthetics in erosion and sediment control".

VARIACIÓN ESPACIAL DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD α PARA FLUJO EN PRESENCIA DE MACRORRUGOSIDADES

Joaquín Candelaria^{a,b}, Martino Roman^{a,b}, Tarrab Leticia^a, Rodríguez Andrés^{a,b}

^a LH-CETA. Laboratorio de Hidráulica – Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

^b IDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYN, Córdoba, Argentina.

E-mail: candelaria.joaquin@mi.unc.edu.ar

Introducción

Los flujos sobre rugosidades de gran escala son comunes de encontrar en la naturaleza. Generalmente se observan en ríos y arroyos como así también en inundaciones de llanuras aluviales. En el caso de los ríos de montaña, debido a la presencia de grandes rocas y cantos rodados que sobresalen del lecho del cauce, la profundidad del flujo suele ser comparable al tamaño de la rugosidad. En estas condiciones, los clastos que sobresalen interfieren con el flujo y se ejerce una fuerza de arrastre sobre estas obstrucciones que provoca una reducción local del momento del flujo.

En los últimos años, con el avance de la tecnología, se han comenzado a implementar métodos no intrusivos para medir caudales en cauces naturales mediante técnicas remotas que se basan en medir las velocidades superficiales. Dentro de estas técnicas se pueden mencionar la velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV) (Muste et al., 2009) y la velocimetría por seguimiento de partículas a gran escala (LSPTV) (Patalano et al., 2014).

Debido a que las mediciones remotas sólo miden la velocidad de la superficie hay que hacer suposiciones sobre la relación entre la velocidad superficial y la promediada en profundidad para calcular el caudal en una sección transversal de batimetría conocida. Un método sencillo y práctico es el uso de un coeficiente de velocidad α definido como la relación entre la velocidad media en profundidad y la velocidad en superficie.

Para flujos con geometría conocida, donde se tienen flujos completamente desarrollados y turbulentos, cuyos perfiles verticales de velocidad se ajustan a una distribución logarítmica, se suele aplicar un coeficiente de velocidad α de 0.85 (Hauet et al., 2018). Sin embargo, en estos casos la velocidad adopta un perfil en forma de "S" y se identifican al menos dos regiones en el campo de flujo: una región cercana al lecho caracterizada por una velocidad de flujo relativamente baja dominada por la pérdida de impulso debido al arrastre alrededor del material del fondo y una región superior, próxima a la superficie del agua, caracterizada por velocidades significativamente mayores distribuidas según un perfil que se desvía de una ley logarítmica (Canvaro et al., 2007).

El objetivo del trabajo fue caracterizar la influencia de rugosidades en los perfiles de velocidad media longitudinal, en el campo superficial del flujo entre dos obstáculos consecutivos para determinar la variación espacial de α en función de distintos trazadores.

Materiales y Métodos

Los ensayos fueron realizados en un canal experimental de 2.40 m de largo, 0.08 m de ancho y 0.30 m de profundidad perteneciente al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba. Las paredes transparentes permitieron realizar ensayos no intrusivos para obtener el campo de velocidades en la vertical. Las rugosidades se reprodujeron con elementos de acrílico color negro de 1 cm de diámetro y 8 cm de largo, colocados cada 15 cm.

Se realizaron dos tipos de ensayos, por un lado, los que tenían

como objeto ser procesados con técnicas PTV y por otro los de PIV. Para los primeros, se sembró el flujo con cuatro tipos distintos de partículas:

- Discos de madera de 6 mm de diámetro y 1.7 mm de espesor;
- Discos de papel de 6 mm de diámetro y 0.1 mm de espesor;
- Discos de parafina de +- 6 mm de diámetro y +- 1.5 mm de espesor;
- Discos de pellets de polipropileno de 4 mm de diámetro y 2.6 mm de espesor.

En la **Figura 1**, se muestra a modo de ejemplo una fotografía superior del flujo sembrado con pellets de PP.



Figura 1.- Vista superior del campo de flujo horizontal sembrado con pellets de PP

Los videos fueron captados con una cámara GoPro HERO10 Black a 120 fps y luego, cada uno fue convertido en una secuencia de imágenes con el uso de la herramienta computacional RIVeR (Rectificación de los resultados de velocidad de imagen). Las imágenes fueron procesadas con PTVLab (Patalano, 2009) y, se obtuvo como resultado un mapa de velocidades medias superficiales para cada uno de los trazadores seleccionados.

Para los ensayos de PIV, conservando la misma configuración del flujo, se iluminó el centro del canal con un haz de luz proveniente de un plano laser continuo 1 mm de espesor, se sembró con partículas de resina de (90 micrones) y se registró con una cámara Sony DSC-RX100M5 configurada a 480 fps ubicada de frente al canal. Se procedió de la misma manera para obtener la secuencia de imágenes y luego se realizó su procesamiento con el uso de la herramienta PIVlab (Thielicke, Sonntag 2021), donde se obtuvo el campo de velocidades verticales, tanto instantáneas como medias.

En la **Figura 2**, se observa el flujo sembrado con resina e iluminado por el láser.

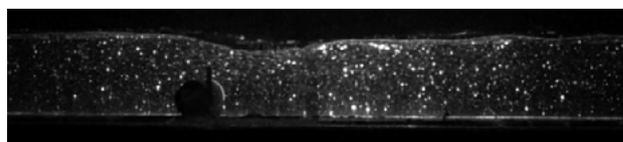


Figura 2.- Vista del plano vertical longitudinal del flujo sembrado con resina e iluminado con laser

Resultados

Los ensayos se realizaron con un único caudal de 0.23 l/seg y una pendiente constante de 1.30 %. Se registraron alturas máximas de 2.20 cm y mínimas de 1.80 cm por delante de las rugosidades.

Para el análisis se optó por identificar tres zonas en particular: *ZONA 1* ubicada dos diámetros por detrás del obstáculo, *ZONA 2* ubicadas a dos por delante y *ZONA 3* cinco diámetros del

obstáculo (Figura 3). Estas zonas se pueden identificar a lo largo de todo el canal debido a que los patrones se repiten de igual manera debido a la distribución equidistante.

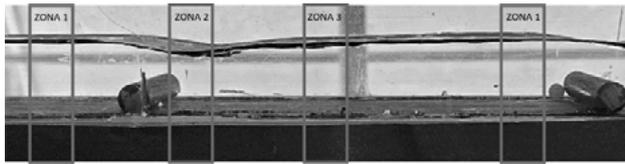


Figura 3.- Zonas de Interés

En la Figura 4 se presenta el campo de velocidades medias obtenidas a través del análisis con PIVlab y en la Figura 5 se presentan los perfiles verticales de velocidad para las distintas zonas de estudio. Se presentan dos perfiles verticales muy similares, el primero y el último, los cuales corresponden a una zona con las mismas características, pero relacionados a dos rugosidades distintas (consecutivas), esta presentación se hizo a modo de mostrar la repetitividad del comportamiento a lo largo del canal. A partir de estos perfiles se obtuvo la velocidad media en la vertical V_m para las distintas zonas, obteniéndose valores de: 13.67 cm/seg, 15.64 cm/seg y 13.94 cm/seg correspondientemente.

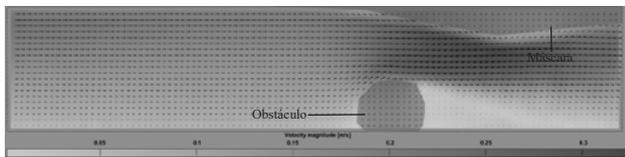


Figura 4.- Campo de velocidades en plano vertical longitudinal (PIVlab)

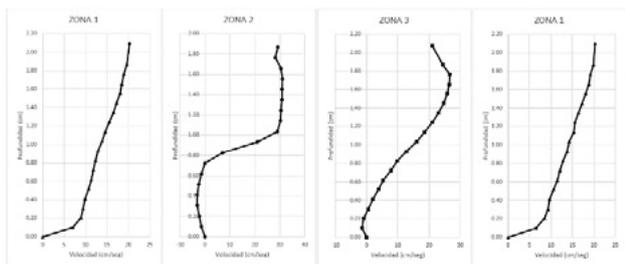


Figura 5.- Perfiles de velocidad vertical en las zonas de interés

En la Figura 6 se presenta el campo de velocidades medias obtenido con el uso de PTVlab para las partículas de madera, donde se puede observar las velocidades máximas por delante de los obstáculos y la repetición de los patrones en la dirección x. A partir de las velocidades superficiales medias (U_{sm}) en las zonas de interés, se hizo la relación de estas con la velocidad media (V_m) para así obtener el coeficiente de vinculación.

En la Tabla 1, se muestran las relaciones α entre la velocidad media y la velocidad superficial media de las partículas trazadoras (V_m/U_{sm}) en cada zona y para diferentes partículas ensayadas. En todas las zonas $\alpha < 0.85$. En la ZONA 1 y en la ZONA 3, los valores de α son muy similares para las diferentes partículas, tomando valores próximos a 0.70.

Tabla 1.- Relaciones de velocidad

ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3	
V_m (cm/seg)	13.67	V_m (cm/seg)	15.64	V_m (cm/seg)	13.94
Madera					
U_{sm} (cm/seg)	20.22	U_{sm} (cm/seg)	29.09	U_{sm} (cm/seg)	21.00
V_m/U_{sm}	0.68	V_m/U_{sm}	0.54	V_m/U_{sm}	0.66
Papel					
U_{sm} (cm/seg)	20.33	U_{sm} (cm/seg)	25.81	U_{sm} (cm/seg)	20.20
V_m/U_{sm}	0.67	V_m/U_{sm}	0.61	V_m/U_{sm}	0.69
Parafina					
U_{sm} (cm/seg)	19.59	U_{sm} (cm/seg)	28.11	U_{sm} (cm/seg)	20.03
V_m/U_{sm}	0.70	V_m/U_{sm}	0.56	V_m/U_{sm}	0.70
Pellet					
U_{sm} (cm/seg)	20.43	U_{sm} (cm/seg)	31.37	U_{sm} (cm/seg)	21.33

V_m/U_{sm}	0.67	V_m/U_{sm}	0.50	V_m/U_{sm}	0.65
--------------	------	--------------	------	--------------	------

Queda claro que las mayores diferencias se tienen en la zona más perturbada donde se registran las velocidades máximas, lo cual se infiere que se debe principalmente a la inercia propia de las partículas y, para todos los casos, las partículas de PP presentan el menor valor.



Figura 6.- Campo de flujo superficial U_{sm} (m/seg) medido con PTV sembrado con madera

En la Tabla 2 se observa que si se utiliza el coeficiente de velocidad 0.85 para el cálculo de caudal se obtienen diferencias de un 20% - 30% respecto al caudal medido para las zonas 1 y 3, mientras que, para la zona 2 se alcanzan valores de caudal hasta un 70% por encima del real.

Tabla 2.- Comparaciones de caudal estimado en distintas zonas

		Q_{real} (cm ³ /seg)	$Q_{0.85}$ (cm ³ /seg)	Error
ZONA 1	Madera	230.00	288.74	26%
	Papel		290.31	26%
	Parafina		279.75	22%
	Pellet		291.74	27%
ZONA 2	Madera	230.00	363.97	58%
	Papel		322.93	40%
	Parafina		351.71	53%
	Pellet		392.50	71%
ZONA 3	Madera	230.00	294.17	28%
	Papel		282.96	23%
	Parafina		280.58	22%
	Pellet		298.79	30%

Conclusiones

Es importante poder reconocer la presencia de elementos en el fondo a partir de características identificables en la superficie, a fines de considerarlos en el cálculo del caudal por medio de mediciones del campo superficial del flujo.

Se pudo identificar que el tamaño del trazador, principalmente su diámetro, tiene mayor inferencia en la respuesta del trazador frente a una aceleración del flujo que la densidad del mismo, lo cual lleva a continuar estudiando en la dinámica de estos frente a distintas perturbaciones del flujo.

Referencias

- Canovaro, F., Paris, E., and Solari, L. (2007). Effects of macro-scale bed roughness geometry on flow resistance, *Water Resour. Res.*, 43, W10414, doi:10.1029/2006WR005727.
- Haut, A, Morlot, T. and Daubagnan L. (2018). "Velocity profile and depth-averaged to surface velocity in natural streams: A review over large sample of rivers", *River Flow 2018 - Ninth International Conference on Fluvial Hydraulics*.
- Muste, M., Fujita, I., Haut, A., (2009). "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". *Water Resources Research*, 44, W00D19, doi:10.1029/2008WR006950.
- Patalano, A. (2009). *PTVlab (Particle Tracking Velocimetry - lab)* (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/41235-ptvlab-particle-tracking-velocimetry-lab>), MATLAB Central File Exchange.
- Patalano, A., García, C. M., Guillén, N., García, C., Díaz, E. y Ravelo, A. (2014). "Evaluación experimental de la técnica de velocimetría por seguimiento de partículas a gran escala para la determinación de caudales en ríos serranos", *AQUA-LAC Vol. 6* p. 17 – 24.
- Thielicke, W., Sonntag, R. (2021). "Particle Image Velocimetry for MATLAB: Accuracy and enhanced algorithms in PIVlab". *Journal of Open Research Software*, 9: 12. DOI: <https://doi.org/10.5334/jors.334>.

INDICADORES CLAVE DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ESTRATÉGICA

CASO ARGENTINA Y TRIÁNGULO NORTE DE CENTROAMÉRICA

Ludwing Antonio Llamas Alvarez

Programa de Posdoctorado, Universidad Nacional de Córdoba & Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich”, Argentina

Introducción

Se presenta avance parcial, del proyecto de investigación denominado, “Indicadores de Gestión para Bienes Públicos Regionales. Caso Triángulo Norte de CentroAmérica”. Área de aplicación, Recursos Hídricos, como parte del Programa de PosDoctorado sobre el Impacto de Proyectos Tecnológicos del Sector Público, de la Facultad de Graduados de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba y el Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich”. El contenido desarrollado es correspondiente al Objetivo Específico OE.2, acerca de Identificar factores y/o indicadores afines al seguimiento, monitoreo y evaluación de uso de obras de infraestructura hidráulica pública, sujetos a un enfoque de gestión del riesgo y basados en sistemas de información automatizados, en el contexto del Triángulo Norte de CentroAmérica. Este planteamiento sigue la estructura del Objetivo General [OG], sobre Investigar acerca del desarrollo de bases técnicas, para la construcción de un sistema armonizado de indicadores de gestión en torno de bienes públicos regionales, aplicado al ámbito específico de la Gestión de Recursos Hídricos del Triángulo Norte de CentroAmérica.

Metodología

Tipo de estudio explicativo, acerca del comportamiento de variables y factores según la operacionalización del estudio; proyectivo en cuanto al alcance sobre aspectos específicos del Ciclo de Políticas Públicas basadas en la Gestión Integral de Recursos Hídricos [Hidropolíticas] en el contexto de estudio. Según su enfoque de investigación, es mixto; cualitativo en cuanto a la indagación en el comportamiento de expectativas de los sujetos a cargo de la gestión de Hidropolíticas. Cuantitativo en cuanto al comportamiento de variables según la operacionalización del estudio. Según las bases de datos empleadas, tiene una orientación retrospectiva, de cortes transversales específicos, según la disponibilidad de datos. No hay manejo experimental de variables; se recurre al procesamiento de bases de datos primarias y secundarias. Para el presente Resumen extendido, se presentan aspectos correspondientes al OE.2, Actividades ACT16/17, de socialización de avances parciales.

Como criterio metodológico, destaca que el cruce de las categorías OE.2, motiva a considerar, acerca de los factores y/o indicadores relevantes, no son meramente originados por temáticas convencionales, sino comparten un criterio transcomplejo; ello apertura, que dicho catalogo se sitúa bajo los parámetros que implica la acción conjunta regional, con lo que se induce a la revisión de su armonización en el contexto del Sistema de Integración Centroamericano, y la determinación en los conjuntos de

información que se haga acopio, utilizando como filtros a las categorías de Gestión Integrada; Gestión Hídrica; Gestión del Riesgo; Bienes Públicos Regionales, como referencia a Cadenas de Resultados multiactor.

Resultados y Discusión

La Costa Pacífico y del Mar Caribe de CentroAmérica, pueden identificarse como subregiones de los ecosistemas marinos asociados en la placa continental americana. En el caso particular de CentroAmérica, resaltan en materia hídrica, la caracterización proveniente de países del Triángulo Norte, debido a su interrelación como sistema dinámico, que a nivel de demarcación geográfica, tiene alcances intrínsecos que alcanzan hasta el Istmo de Tehuantepec, debido a la composición de acuíferos transfronterizos abundantes [IGRAC 2015]. Algunos factores sistémicos destacan como el señalamiento de usos de pesca en pequeña escala, como se muestra en costas salvadoreñas y beliceñas [FAO 2015]; la distribución de microplásticos, macroplásticos y plásticos, en la Costa pacífico [0-50 g/km² PNUMA 2016] tiene una menor estimación de densidad en comparación con las Costas Caribeñas [50-200 g/km² PNUMA 2016]. Se evidencia de una mayor amenaza coralina en las costas beliceñas, costarricenses y panameñas que en el resto de la región [NOAA 2018, PNUMA 2016]. En cuanto a observaciones en series largas de datos, destacan las de estaciones climáticas en cuanto a datos de temperatura media [WorldClim 1950-2000]. Según la precipitación acumulada por país, mes y período [1960-2018 CRU], en el Triángulo Norte de CentroAmérica, puede observarse que Guatemala tiene un mayor volumen [425 mm aprox durante mayo-junio y septiembre], seguido de El Salvador [310 mm aprox durante mayo-junio y 340 mm aprox durante septiembre]; finalmente, Honduras [275 mm aprox durante mayo-junio y octubre]. Al observar el área geográfica compendida entre el Istmo de Tehuantepec [México] y el Triángulo Norte de CentroAmérica, es llamativo como a lo largo de series largas de datos, correspondientes a la precipitación acumulada anual [1960-2018 CRU], destaca que en la Región de las Verapaces, en Guatemala, se caracteriza como el área con mayor cuantía [>3600 mm/año].

Si bien, para cada uno de los países del Triángulo Norte de CentroAmérica, existen Portafolios de proyectos estratégicos del ámbito hídrico, las implicaciones dentro de la Matriz Productiva y Energética, motivan a considerar aspectos multidisciplinarios de enfoque multidimensional. Al respecto, el tratamiento endógeno, sigue pautas como la soberanía sobre las iniciativas del Desarrollo local, como se indica en la Agenda 2030 [ONU 2015: Res.70/1]. Pero si se atiende, al comportamiento de la ubicación de las fuentes de agua, dado el carácter de acuíferos

transfronterizos, en su mayoría, subterráneos con importantes retos de seguimiento, monitoreo y evaluación continua, puede aproximarse insumos interesantes de consideración. A partir de la base de datos del ejercicio muestral de una Encuesta acerca de la valoración de factores en las temáticas de agua y saneamiento en Guatemala [Inap 2022], se estimó para considerar una escala cualitativa entre el mejor [5.000] y el más bajo rendimiento observado [0.000], el promedio alcanzado al considerar la totalidad de factores, como representación del desempeño esperado de una Gestión Integral de Recursos Hídricos, se situó en 2.946 sobre 5.000 [58.92%], en la composición de elementos multidimensionales. Sobresalen que en valores agrupados, destaca el valor de la categoría específica de Capacidad de Gestión sectorial, con asignación de 3.07 [61.4%]. Al considerar una fuente distinta, y en referencia a los factores y variables de naturaleza censal, que realiza como parte del seguimiento y evaluación de políticas sectoriales, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [Segeplan] en Guatemala, se pudo estimar a partir de las bases de datos disponibles, que en el caso particular de la Región de las Verapaces en Guatemala, las agrupaciones de indicadores en categorías de Gestión Administrativa, Estratégica, Financiera, de los Servicios Públicos, Participación Ciudadana e Información a la Ciudadanía, el conjunto de indicadores financieros es el que exhibe menor volatilidad de medición, a lo largo de los ejercicios realizados en 2016, 2018, 2021.

En extenso, se consideró también la base de datos en cuanto a la valoración de factores de gobernabilidad y gobernanza en la Región de las Verapaces [Cadavid 2023], con lo que se estimó para determinar que los factores con mayor significancia encontrados en dicha región, se corresponden con la relevancia de la auditoría financiera, seguido de la capacidad de la sociedad civil para participar en las decisiones del gobierno municipal.

Estos aspectos en cuanto al manejo multidimensional de recursos hídricos son notables, pues comparten la impronta acerca de la Gestión Financiera, como componente esencial para la Gobernanza [CAF 2022]. Ya desde el Programa de la Agenda 21 [ONU/1992], SCAEI [ONU 1993: S.93.XVII.12], refería la importancia de la Contabilidad ambiental, como elemento determinante para la prospección hídrica, que se extendió como aspectos operativos [ONU 2002: ST/ESA/STAT/SER.F/78] para la estimación como activos de mercado, y su vinculación como parte de los Sistemas de Cuentas Nacionales SCN/1993-SCAEI [AN.214], incluyendo la caracterización de Cuentas Satélites de Agua. La derivación de una tesis de representación a través de indicadores de base financiera, es inmediato, en torno de la caracterización de infraestructuras hidráulicas dentro de un enfoque multidimensional [de categorías], y apertura una vinculación importante dentro de la Gestión de Hidropolíticas. Si bien, el aspecto convocante de los indicadores de infraestructura, remite a considerar aspectos orgánicos de corte tecnológico en dichos conjuntos, las connotaciones de infraestructura estratégica hidráulica, en atención a funcionalidades que implica la

Gestión Integral de Recursos Hídricos, remiten a considerar el rol multifuncional que contienen, en facetas del impacto financiero que tiene la Seguridad Hídrica, Resiliencia Hídrica y cierre de brechas en el desarrollo y ordenamiento territorial, dentro de un complejo entramado de contabilidad social, estimación de valor público agregado y relación de costo tecnológico/beneficio social.

Reflexiones finales y Conclusiones preliminares

Si bien el sentido bajo la denominación a indicadores de infraestructura estratégica hidráulica se extiende de una noción primigenia, de marcadores clave para el seguimiento, monitoreo y valoración de la integridad, efectividad y calidad de proyectos de la ingeniería hidráulica, se corresponden en extenso, con una función asociada con los mecanismos de gestión, respecto de su valor tecnológico, social y económico, como de la mejora del bienestar colectivo, la gobernanza hídrica y la sustentabilidad de los asentamientos humanos. Se puede constatar que el factor más determinante actualmente, proviene de las connotaciones de gestión financiera, dentro del contexto bajo estudio.

Así, paradigmas como las ciudades basadas en la suficiencia ecosistémica, dan cuenta de hibridaciones de enfoques asociados a ciudades inteligentes y ciudades verdes, en los cuales, tiene un papel preponderante el rol de infraestructuras de orientación hídrica, pero que tendría que considerar en primera instancia, la pertinencia financiera de las mismas, ya sea en sus aspectos de retorno social, como de aporte a los encadenamientos productivos que pueda generar, como parte de la autosostenibilidad y encadenamientos productivos. Aspectos como los Comités de Desarrollo Local a lo largo de los Niveles de la participación en los Sistemas de Planificación y Presupuestación Pública, comparten aspectos primordiales, como los que se pueden proyectar aspectos por parte de los Comités/Consejos de Cuencas del Triángulo Norte de Centroamérica y del Caso Argentino, en el cual, el Segundo de éstos, tiene una longevidad y mayor alcance interjurisdiccional que los primeros. Asimismo, las lecciones de casos emblemáticos, como las obras de infraestructura hidráulica recientes, como las del Suministro de Agua Potable por el Sistema Agua Sur, Ampliación del servicio cloacal por el Sistema Riachuelo, Ampliación de la Planta Depuradora Norte y su Cogeneración de Energía Biogas, Sistema de mantenimiento de Ríos Subterráneos bonarenses pueden proveer de marcos de ilustración para el estudio comparado de gestión, en particular, de las rutas logísticas para observar el balance de costo/beneficio, como uno de los principales elementos sobresalientes, de la utilidad de indicadores multidimensionales, y la prospección de autosostenibilidad de su gestión.

Referencias [adicionales a las consignadas intratexto]

CEPAL [2020]. Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana. CDMX: Cepal.
CEPAL [2022]. Panorama de océanos, mares y recursos marinos en América Latina y el Caribe: Santiago: Cepal.

OBRAS DE MITIGACIÓN SUSTENTABLES APLICADAS A INUNDACIONES URBANAS

Luciano José Lopardo, Pablo Ezequiel Salvi, María Cecilia Lopardo

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
E-mail: lucianolopardo22@gmail.com, salvi.pablo94@gmail.com, mclopardo@gmail.com

Introducción

En las últimas décadas, tanto en Argentina como en otros países de América Latina, se ha registrado un aumento exponencial de la población urbana. Más recientemente, esta tendencia se ha visto acentuada debido a las dificultades que atraviesan las economías regionales. Como consecuencia de este proceso socioeconómico, sumado a la falta de planificación del uso del suelo, el crecimiento de las ciudades ha sido desordenado, especialmente en los sectores periféricos de mayor densidad de población. Esto trae consigo un aumento significativo de los escurrimientos superficiales, produciendo el desborde de los sistemas de desagües urbanos que forman parte del sistema de saneamiento de grandes ciudades. Así, los problemas económicos más importantes causados por este fenómeno en las ciudades están asociados a la escorrentía que genera inundaciones, crecidas, desbordamientos, contaminación difusa y pérdida de servicio de los sistemas de saneamiento.

Tal es el caso de la ciudad de Pergamino que, ubicada sobre la llanura aluvial de su arroyo homónimo y como consecuencia de su rápida urbanización, ha contado con numerosas inundaciones a lo largo de los últimos años.



Figura 1.- Inundación de la ciudad de Pergamino – 7 de abril de 1995.

Tras el análisis de esta problemática recurrente en las grandes urbes, y debido a la necesidad de una gestión eficiente, se presenta el desarrollo sustentable como la herramienta integral de gestión presente y futura que debe ser aplicada también al drenaje urbano. Así, la ingeniería hidráulica debe ofrecer soluciones a los problemas planteados y estas soluciones deben estar basadas en el concepto de desarrollo sustentable. Es en este punto donde nacen los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS), definidos como técnicas de gestión de aguas pluviales y planeamiento urbano cuyo objetivo de primer orden es retornar a las condiciones existentes previas a la urbanización.

Se trata de la integración de elementos de control de la escorrentía al paisaje urbano, favoreciendo los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico (infiltración, retención, evapotranspiración, almacenamiento). Por lo tanto, los SUDS responden al criterio moderno, el cual consiste en aumentar las pérdidas hidrológicas para reducir los excedentes superficiales a tomar por las redes de desagües pluviales. Se trata de diseños de pequeña escala que, en su conjunto, impactan

considerablemente en la reducción del caudal a transportar por las redes de desagües urbanos.

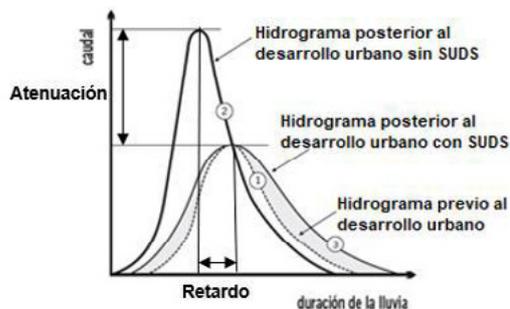


Figura 2.- Hidrogramas de crecida para la situación previa a la inundación, posterior al desarrollo urbano y con la aplicación de SUDS (José Anta et al., 2012).

Metodología

Con el objeto de analizar los beneficios que conlleva la aplicación de distintas tipologías de SUDS, se llevó a cabo su modelación a gran escala en una cuenca urbana ubicada al norte de la ciudad de Pergamino, a partir de la implementación del software SWMM (Storm Water Management Model), desarrollado por la División de Recursos Hídricos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US Environmental Protection Agency). Se trata de un programa de código abierto que tiene la capacidad de resolver, tanto la hidrología como la hidráulica del sistema en un modelo matemático integrado. Permite utilizar elementos hidrológicos (cuencas, pluviómetros), así como elementos hidráulicos (conductos, conexiones, vertederos, orificios, descargas).

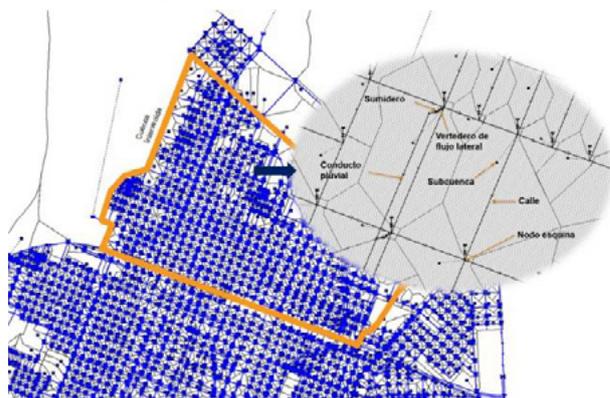


Figura 3.- Modelo hidráulico - hidrológico en SWMM de la zona de estudio.

Disponiendo de una serie de datos de 41 años, brindada por el Servicio Meteorológico Nacional, se desarrolló un análisis hidrológico de la zona en estudio, determinándose las precipitaciones correspondientes a la zona rural y urbana. A partir del modelo base de la zona de estudio e incorporando las series temporales de precipitaciones rurales y urbanas para recurrencias de 5 años, 10 años y 25 años, se obtuvo su comportamiento actual ante dichos eventos.

A partir de la detección de nodos de esquina con tirantes mayores a 30cm (Alcocer-Yamanaka et al., 2016), y en función de los

espacios disponibles, se evaluó la implementación de distintas clases de SUDS con el objetivo de disminuir estos niveles en calle, produciendo la atenuación del hidrograma de crecida en los puntos de control de la cuenca. Se consideró la incorporación de dispositivos reguladores en bocas de tormenta (DRBT), pavimentos y veredas permeables en estacionamientos al aire libre y veredas perimetrales, terrazas ajardinadas extensivas en complejos habitacionales, depósitos de detención en plazas y terrenos fiscales, y áreas de biorretención en plazas. La implementación en SWMM de los DRBT y depósitos de detención se realizó mediante volúmenes de almacenamiento provisorio, mientras que las medidas restantes se aplicaron a partir de la herramienta “LID Controls” que brinda el software.



Figura 4.- SUDS propuestos.

Las medidas de mitigación se diseñaron para una crecida de 10 años de recurrencia, evaluando su funcionamiento hidráulico para tormentas más frecuentes, con un período de retorno de 5 años, y verificando su nivel de protección frente a tormentas de mayor envergadura, de 25 años de recurrencia. Por otro lado, vale señalar que, a la modelación con SUDS, se sumó la simulación de un escenario por cada medida estructural propuesta, cuya finalidad radica en la medición de la eficiencia de cada una de ellas.

Resultados

La combinación de distintas medidas estructurales produce una sinergia, que resulta en una baja considerable de los niveles de escorrentía superficial de las zonas más vulnerables. Desde el punto de vista hidráulico, para la tormenta de diseño, las medidas resultaron satisfactorias, produciendo una importante atenuación del gasto erogado en los puntos de control de la cuenca.

Se evidenció una mejora sustancial del funcionamiento del sistema de drenaje a partir de la incorporación de depósitos de detención y DRBT en los conductos pluviales, atenuando el pico del hidrograma de crecida en las descargas pluviales.

A modo de comparar la eficiencia de las medidas propuestas, se determinó el precio de implementación de cada SUDS por cada 1cm de reducción del tirante en calle, dejando a la vista que los DRBT constituyen el sistema más eficiente, mientras que los pavimentos y veredas permeables no resultan recomendables debido a su alta cotización en el mercado.



Figura 5.- Valor de incorporación de SUDS por cada 1cm de reducción del nivel de inundación.

Adicionalmente, para las crecidas de 5 años y 25 años de recurrencia se obtuvieron valores de retardo negativos, lo que puede deberse a un corrimiento del pico en cada caso, como producto de un cambio en el funcionamiento de las medidas estructurales planteadas. Es decir, se observa que la cuenca modifica su respuesta hídrica frente a eventos de distinta magnitud, con respecto a la tormenta de R=10 años para la cual se diseñaron los SUDS. Asimismo, debe interpretarse que al atenuar una crecida puede suceder que el pico del hidrograma se produzca antes que el correspondiente a la situación sin obras.



Figura 6.- Comparación de la eficacia de los SUDS para distintas recurrencias.

Por otro lado, pensar en los SUDS únicamente como obras de mejora de la respuesta hídrica de una cuenca resulta erróneo. Debe entenderse que son medidas que mejoran la calidad de vida de la población en otros aspectos: accesibilidad, calidad de aire, calidad de agua, mejora paisajística, reducción de las temperaturas urbanas, ahorro en obras de saneamiento, entre otros.

Conclusiones

Los resultados de la modelación en SWMM arrojaron numerosas conclusiones, entre las que se destaca la complementariedad de los SUDS, debiendo entenderse que su aplicación debe realizarse a gran escala para lograr un impacto significativo en el hidrograma de crecida de una cuenca urbana. Por lo tanto, se aprecia la necesidad de verificar estas obras de pequeña envergadura en modelos que consideren la cuenca como unidad de estudio, permitiendo detectar los efectos perjudiciales que pudieran generarse por su implementación. Al momento de evaluar la inversión en esta clase de medidas, se deben considerar, no solo su impacto favorable en la hidráulica urbana, sino también los aspectos sanitarios, sociales y ambientales que traen consigo y que resultan en una mejora de la calidad de vida de la población.

Al mismo tiempo, debe considerarse la incorporación de medidas no estructurales que impulsen la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a la problemática hídrica y ambiental.

Referencias Bibliográficas

José Anta, Jerónimo Puertas, Joaquín Suárez López, Héctor del Río Cambeses, David Hernández Oubiña (2012) “Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano: Las técnicas de drenaje urbano sostenible. Río Mandeo, cuenca fluvial y desarrollo sostenible”.

Alcocer Yamanaka V. H., Rodríguez Varela J. M., Bourguett Ortiz V. J., Llaguno Guilberto, O. J., Albornoz-Góngora P. M. (2016) “Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas”.

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS REVERSIBLES EN PRESAS MULTIPROPÓSITO PARA HACER FRENTE A LOS IMPACTOS DEL ESTIAJE ESTACIONAL

Martínez-Rehpani, Colón Gilberto

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
Facultad de Ingeniería, Av. Carlos Julio Arosemena Km 1,5.
Guayaquil, Ecuador
Cell: +593999422956
E-mail: colon.martinez@cu.ucsg.edu.ec

Introducción

Este trabajo estudia el uso de centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo, en presas de generación construidas en una zona de la provincia de Azuay, Ecuador, susceptibles a la desertificación por cambio climático, como alternativa para el almacenamiento de energía en época de lluvias, y la producción de energía eléctrica en la estación seca o de estiaje del sector. El propósito es reducir la dependencia de generación a partir de plantas termoeléctricas y también disminuir la importación de energía eléctrica de los países vecinos. En época de lluvias hay agua sobrante en los embalses que no es turbinada, sino que, por el contrario, este excedente se elimina a través de los vertederos de las centrales hidroeléctricas.

La Desertificación en Ecuador

La desertificación ecuatoriana tiene estrecha relación con las sequías de régimen oriental y occidental, existentes en el país. La desertificación se muestra significativa en una temporada del año, en casi toda la región Costa ecuatoriana o región occidental. Cuando ocurre este fenómeno, las otras regiones, Sierra y la región Oriental, gozan de abundante agua debido a las grandes precipitaciones que azota a estos territorios. En otros meses ocurre lo opuesto. Esto contribuye a ocasionar un ciclo de desertificación estacional en el país.

En la provincia de Azuay se ha incrementado el fenómeno de sequías desde hace algunas décadas. Algunos casos han sido más críticos que otros, pero con afectación significativa en esta provincia. Un ejemplo es la poca generación de las hidroeléctricas de Azuay en algunos meses. Si las sequías se tornan críticas, se podría producir racionamientos de energía en el país. Además de que se observa suelos con procesos de erosión avanzados, que alcanzan el 3% del territorio azuayo (Portilla, *et al.*, 2014).

Incendios Forestales y Deforestación

La deforestación por tala de árboles ha afectado a Ecuador, de manera particular los dos últimos siglos. Las principales zonas afectadas inicialmente fueron los bosques andinos y, en décadas posteriores, se expandió a la región Costa y Oriente (Sánchez y Reyes, 2015). Actualmente, este problema sigue afectando al país.

El aporte de los incendios forestales a la deforestación es muy significativo, tanto que se estudian las zonas más susceptibles a incendios forestales. Estos son generados por factores como el cambio climático, sequías, vientos fuertes, entre otros. Estos componentes provocan incendios forestales frecuentes y severos en el país (Ministerio del Ambiente y Agua, 2021).

Complejo Hidroeléctrico Paute-Integral

Según el informe anual del CENACE (2020), se reporta que la producción de electricidad con energía hidráulica aproximadamente fue 77%, mientras que la energía proveniente de las centrales termoeléctricas fue del 20%. La energía solar, eólica y las transacciones internacionales abarcaron el 0,12%, 0,24 y 0,80% respectivamente.

El complejo hidroeléctrico Paute-Integral es uno de los proyectos más importantes de Ecuador, el cual se encuentra ubicado en la provincia de Azuay, y genera el 35% de la energía nacional. Este proyecto hidroeléctrico consta de cuatro centrales hidroeléctricas sucesivas en el río Paute (figura 1), tres de ellas actualmente construidas: Paute-Molino, Paute-Mazar y Paute-Sopladora. La última, Paute-Cardenillo se encuentra en desarrollo. Las tres centrales hidroeléctricas que funcionan actualmente, tienen una potencia conjunta de 1.757 MW.

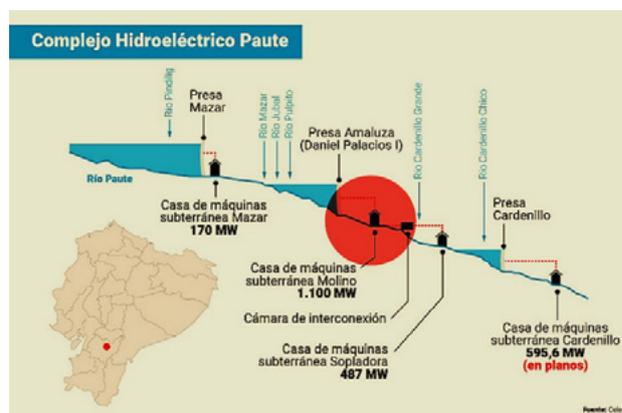


Figura 1.- Esquema del Complejo Hidroeléctrico Paute Integral.

Fuente: CELEC, 2016.

Centrales Hidroeléctricas Reversibles para el Proyecto Hidropaute

Se estudia el acoplamiento de centrales hidroeléctricas reversibles, como una alternativa de solución para Ecuador, al adaptar la función tradicional de estas mini plantas, al caso específico de la desertificación estacional. El objetivo de adecuar centrales hidroeléctricas reversibles a las hidroeléctricas construidas, es satisfacer el déficit energético en la temporada de estiaje, al utilizar los excedentes de agua almacenados en la temporada de lluvias, a partir de estas centrales.

Las centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo se desarrollaron hace 100 años atrás, pero, en su mayoría, no son utilizadas para suplir la ausencia de lluvias, sino para regular los picos diarios durante la generación eléctrica (figura 2).

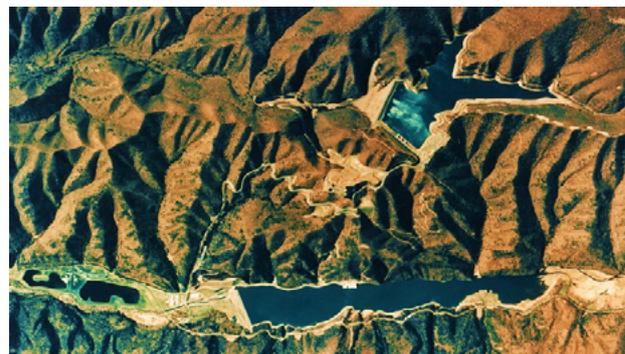


Figura 2.- Central hidroeléctrica reversible Bath County. Fuente: Google imágenes.

Los componentes considerados para la elección de los emplazamientos de la propuesta, englobaron aspectos técnicos y económicos de las centrales hidroeléctricas reversibles. Los factores generales asociados al sistema eléctrico, los relacionados al emplazamiento de la central, y los económicos asociados al sistema eléctrico, están relacionados directamente con el uso de los excedentes de agua almacenados en las temporadas de lluvia.

Los factores relacionados al emplazamiento de cada una de las centrales están relacionados con el salto hidráulico, las condiciones geológicas, distancia entre embalses, disponibilidad del recurso, existencia de lagunas glaciáricas, cercanía a líneas de transmisión, entre otros. Los factores económicos asociados al sistema eléctrico están relacionados al precio de la energía al momento de bombear agua, y al precio cuando se libera el agua para generar energía.

Se plantearon algunas propuestas asociadas a esta área de estudio. Una de ellas, ubicada entre las provincias de Cañar y Azuay, se muestra en la figura 3. En este caso se analizó el uso del primer embalse del río Paute, la presa Mazar como embalse inferior, mientras que el embalse superior sería un embalse artificial en una zona montañosa cerca de la parroquia Indilig, Cañar.

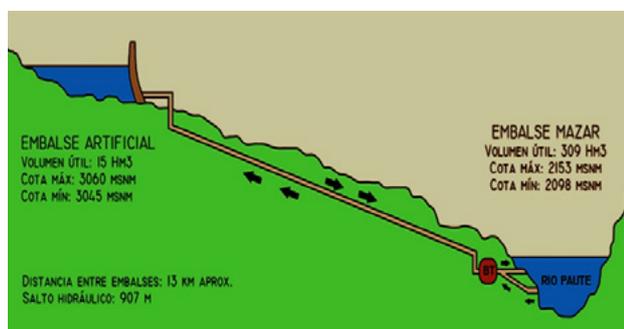


Figura 3.- Esquema de funcionamiento de propuesta de central hidroeléctrica reversible, con laguna artificial acoplada al embalse existente de Paute-Mazar.

Otra de las propuestas se muestra en la figura 4, y contempla aprovechar de manera combinada, algunas lagunas de origen glaciar con lagunas artificiales para aumentar la capacidad de almacenamiento.



Figura 4.- Aprovechamiento de la topografía andina, laguna artificial y la laguna glaciárica de Chiripungo existente en la zona, para adaptar centrales hidroeléctricas reversibles, al complejo hidroeléctrico de presas sucesivas.

Resultados y Discusión

Las centrales hidroeléctricas reversibles propuestas, aprovecharán la presencia cercana del embalse Mazar para su funcionamiento y el excedente que este tiene en la temporada de lluvias. Los nuevos embalses para las centrales hidroeléctricas reversibles tendrán una importante capacidad, por lo que serán eficientes para el almacenamiento de agua a ser utilizada en temporadas de estiaje. No obstante, estos embalses también podrían emplearse para otros usos en beneficio de las

comunidades cercanas, por lo que se considerarían embalses multipropósito. Se trata de saltos hidráulicos con desnivel importante.

La ruta considerada para la conducción del agua es topográficamente viable, y no se necesitará de excavaciones para la colocación de la tubería de impulsión. Los equipos a emplear son las bomba-turbinas reversibles. El principal beneficio técnico de adaptar centrales hidroeléctricas reversibles al complejo Paute Integral, será el de ayudar con la producción energética cuando el sistema no produzca la demanda de energía esperada, en la temporada de estiaje.

Económicamente, el uso de las centrales hidroeléctricas reversibles reducirá la dependencia de plantas termoeléctricas, en la función de suplir la demanda energética en temporadas de estiaje. Actualmente, las termoeléctricas representan un gasto anual importante para el país. En lo ambiental se contribuirá con la producción energética desde fuentes renovables, importante en el control del cambio climático y la responsabilidad ecológica.

Conclusiones

Se sigue estudiando el uso de centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo para zonas de la provincia del Azuay, Ecuador, susceptibles a la desertificación por cambio climático, como alternativa para almacenamiento de energía en época de lluvias, y la producción de energía eléctrica en época seca o de estiaje.

Fueron elaboradas varias propuestas de funcionamiento de centrales hidroeléctricas reversibles, adaptadas a las necesidades del complejo de hidroeléctricas sucesivas construidas en el río Paute, aprovechando la topografía andina y las lagunas naturales de origen glaciar, que existen en la zona. Se concluye que las centrales hidroeléctricas reversibles, son una alternativa más económica que las opciones utilizadas actualmente en Ecuador, y menos contaminantes. Contribuirán con el incremento del porcentaje de producción de energía con recursos renovables, solar y eólica. Reducirá la dependencia de la compra de energía a Colombia y Perú. Además de que disminuirá la quema de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas.

La continuidad de estudios similares, permitirá adaptar centrales hidroeléctricas reversibles a centrales hidroeléctricas construidas en Ecuador, visando optimizar su condición climática particular. El empleo de esta tecnología permitiría abordar algunos de los efectos negativos del cambio climático, que actualmente está afectando al país.

Referencias

- CELEC** (2016). *Plan Maestro de Electricidad*. CELEC, Quito, Ecuador.
- CENACE - Centro Nacional de Control de la Energía** (2020). *Informe Anual 2020*. CENACE, Quito, Ecuador. En: <http://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2020/>
- Ministerio del Ambiente y Agua** (2021). *Plan Nacional de Sequía 2021-2030*. Minambiente, Quito, Ecuador. En: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/05/plan-nacional-de-sequia.pdf>
- Portilla, F., M. Noguera, M. y Pacheco, N.** (2014). “Diagnóstico multitemporal de las áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en la provincia del Azuay a partir del año 1982”. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, Vol. 20, No. 2, diciembre 2014, pp. 36-44.
- Sánchez M. y Reyes, C.** (2015). “Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación”. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, Vol. 3, No. 1, diciembre 2015, pp. 41-54. En: https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/70/pdf_1

EFECTO DE RÁPIDAS CONVERGENTES EN SALTOS DE ESQUÍ

Ing. Julian Masson Rodriguez – Dr. Ing. Mariano de Dios – Ing. Sergio Oscar Liscia

UIDET Hidromecánica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata - Argentina

E-mail: julimasson15@gmail.com - dediosmariano@gmail.com - soliscial@gmail.com

Introducción

En este trabajo se presenta la influencia que posee la convergencia de las rápidas en vertederos con salto esquí y se realiza una comparación frente a rápidas de sección constante a lo largo de su recorrido. El objetivo del mismo es evaluar la convergencia del flujo y su incidencia sobre los niveles de agua en la rápida, las presiones sobre la cresta del vertedero y el jet de agua.

El caso de estudio corresponde al Aprovechamiento Multipropósito "Río Hondo". Este aprovechamiento está ubicado sobre el Río Hondo, Prov. Catamarca, Argentina. En la Figura 1 se observan la disposición general del aprovechamiento.

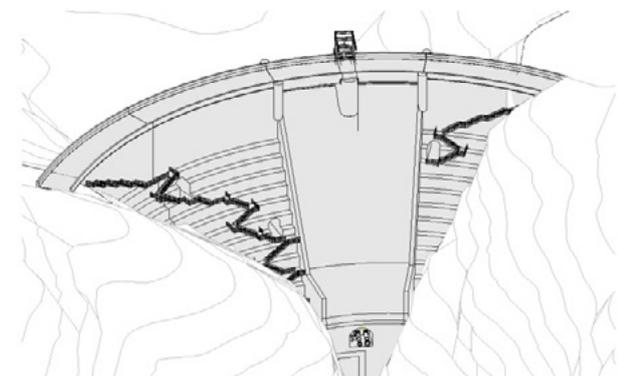


Figura 1.- Aprovechamiento Multipropósito "Río Hondo"

Materiales y métodos

Si bien en el pasado existían diversos métodos y recomendaciones para el diseño y verificación de obras hidráulicas, en las últimas décadas el avance significativo de la tecnología informática ha permitido extender el uso de la dinámica de fluidos computacional o CFD (por sus siglas en Inglés Computational Fluid Mechanics) al estudio de obras complejas y de gran escala.

En este trabajo se implementan dos metodologías de cálculo, la primera propone la obtención de las características del flujo de manera teórica mediante el uso de manuales de diseño como los dados por U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 1990) o U.S. Bureau of Reclamation (USBR, 2014) que permiten obtener los parámetros del flujo en diversos puntos de la estructura. La otra alternativa abordando las características del flujo en dos y tres dimensiones mediante el software comercial FLOW 3D® para llevar a cabo las simulaciones numéricas.

Geometría de estudio

El Aprovechamiento Multipropósito "Río Hondo" está conformado por una presa que se encuentra emplazada sobre un valle estrecho donde en su sección inferior posee un ancho de 8 m. Debido a la geología y topografía del lugar, la tipología de presa escogida es arco-gravedad, de simple curvatura, con un radio de 60 m. En el sector central se ubica el vertedero de labio fijo sin compuertas, el cual posee también una planta curva. Esta obra de control posee una longitud neta de 20.6 m, separado en dos vanos por una pila central de ancho variable, que en su inicio tiene un ancho de 3.2 m y culmina en su sección aguas abajo con un ancho de 2.8 m. La cota del labio

vertedor se sitúa en 1656.0 mIGN coincidente con el nivel máximo normal (NMaxN) del embalse. En la Figura 2 se puede apreciar una vista en planta de la obra de alivio, donde se observa la convergencia de la rápida antes mencionada.

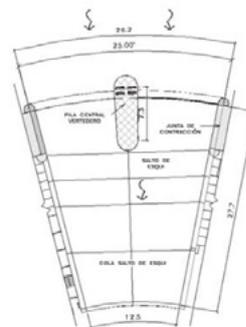


Figura 2.- Esquema en planta de la obra de alivio

Escenarios de comparación

Se adopta el escenario de diseño del vertedero para efectuar la comparación de las modelaciones propuestas. En este caso, la obra fue diseñada para la evacuación de los caudales dados por la crecida máxima probable (CMP) del Río Hondo. El caudal máximo para el hidrograma de la CMP es de 747 m³/s resultando el embalse en la condición de Nivel Máximo Extraordinario fijado en 1660.5 mIGN. Se estimo que el caudal máximo de descarga por vertedero para dicha condición es de 445 m³/s. A continuación, se presenta la Tabla 1 con los principales datos de niveles de embalse y restitución del río.

Tabla 1.- Niveles Característicos

Parámetro	Valor
Nivel Máximo Extraordinario (NME)	1660,5 mIGN
Nivel Máximo Normal (NMaxN)	1656,0 mIGN
Nivel Mínimo Normal (NMinN)	1640,0 mIGN
Nivel Máximo Restitución (Crecida CMP)	1620,0 mIGN

Características e implementación del código numérico

Como se dijo anteriormente en este trabajo se utilizó el código comercial FLOW 3D®, el cual es un software de dinámica de fluidos de propósito general.

Para predecir el flujo turbulento en las simulaciones de la obra de alivio se utilizaron las ecuaciones de Navier–Stokes promediadas (RANS). Estas son resueltas por el método de volúmenes finitos/diferencias finitas en una malla estructurada. Para la representación de obstáculos el código utiliza el método FAVOR (deriva de las siglas inglesas *Fractional Area/Volume Obstacle Representation*).

La discretización del dominio computacional se efectuó mediante el empleo de mallas multi-bloque con diferente tamaño. Para la simulación en dos dimensiones (2D), las celdas de menor tamaño fueron de 0.06 m de lado y se emplearon un total de 1.6 millones de elementos. En cuanto a la simulación tridimensional (3D) las celdas de menores dimensiones resultaron de 0.2 m de lado y se utilizaron 11.7 millones de elementos. Se realizó un análisis de convergencia de malla para las simulaciones 2D y se empleó el índice GCI (Grid

Convergence Index; Roache, 1994) para la estimación del error de discretización del dominio de cálculo.

Resultados y comentarios

En la Figura 3 se presenta la variación de la superficie libre a lo largo del perfil del vertedero y la rápida, para el caudal máximo de diseño. Se observa un flujo acelerado y gradualmente variado que culmina en el inicio del salto de esquí con velocidades que superan los 20 m/s.

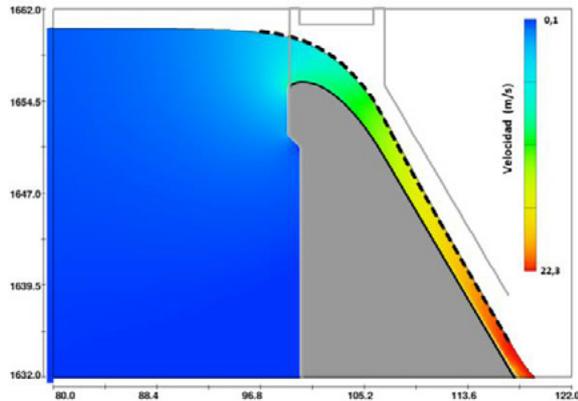


Figura 3.- Simulación RANS (2D) - Velocidades y tirantes sobre la obra de alivio y rápida. En línea punteada se indica el perfil de la superficie libre teórica.

En la Figura 3 se destaca en paleta de colores la modelación en dos dimensiones y sobre ella en línea negra punteada los valores de tirante obtenidos teóricamente.

Existe una buena aproximación entre la simulación 2D y el cálculo teórico. Por ejemplo, en la sección final de la rápida el flujo presenta un tirante de 1.15 m y 1.03 m para la simulación y el cálculo teórico respectivamente (diferencia de 10 %).

Luego siguiendo con la metodología planteada se realizó la modelación de la rápida en tres dimensiones. En la Figura 4 y 5 se pueden observar los resultados obtenidos.

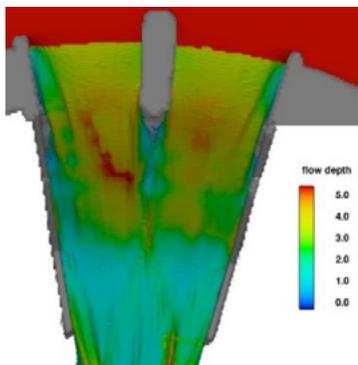


Figura 4.- Simulación RANS (3D) – Niveles líquidos sobre la rápida. Vista en planta

Se puede apreciar que en la rápida se desarrollan tirantes en algunos sectores del entorno a los 4 m de altura en coincidencia con el centro de los vanos. Asimismo, se observa una contracción en los muros laterales (aguas abajo de los estribos) que generan el desarrollo de ondas cruzadas a lo largo de la rápida. Estas ondas se trasladan aguas abajo generando así una sobrelevación del perfil líquido a lo largo de toda la estructura influyendo en la obra de disipación.

En cuanto a la trayectoria del jet de agua, en la Figura 6 se muestran los métodos implementados para el cálculo (simulación 2D, 3D y cálculo teórico). Se observa que el jet se aleja de la presa en el entorno a los 50 m. La curva teórica y la modelación 2D poseen una trayectoria de descarga similar, en cambio se puede apreciar que la modelación 3D presenta un

gran aumento del ancho del jet del entorno a los 5 o 6 m de altura generando así que la zona de impacto se desarrolle en forma longitudinal desde unos 40 m a 60 m aguas abajo del pie de presa.

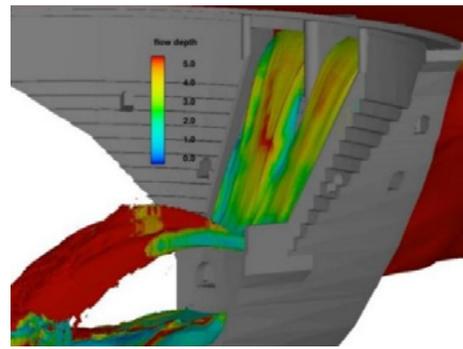


Figura 5.- Simulación RANS (3D) – Niveles líquidos sobre la rápida

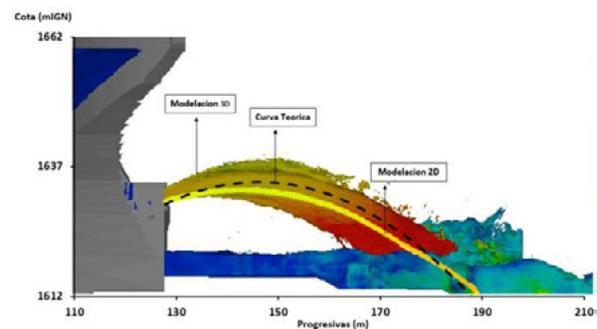


Figura 6.- Simulación RANS (3D – 2D) y trayectoria teórica

Conclusiones

La simulación 3D muestra una gran diferencia en los tirantes líquidos frente a los cálculos teóricos y a la simulación 2D. Puede apreciarse que en el vertedero se originan sobrelevaciones en el centro del vano producto de la fuerte convergencia del escurrimiento. En particular, se observa que sobre la margen derecha el flujo no ocupa toda la rápida. Si bien esta circunstancia no redonda en una afectación sobre la capacidad de descarga de la obra, genera la propagación de ondas cruzadas aguas abajo de la rápida.

En cuanto al salto esquí, puede apreciarse la gran influencia que posee el diseño convergente de la rápida, ya que, al concentrar el flujo, provoca una sobrelevación de este en los laterales del salto. Este fenómeno, origina un entrecruzamiento de las ondas externas que da lugar a una expansión de la zona de impacto del chorro en el sentido longitudinal al escurrimiento. Este comportamiento es aprovechado en obras situadas en valles estrechos debido a que la contracción del chorro impide que impacte el flujo sobre las laderas del valle y permite una disipación extendida en la dirección del escurrimiento.

Finalmente se destaca que, en estructuras hidráulicas complejas, la utilización de la modelación numérica en tres dimensiones resulta de gran utilidad para poder interpretar el comportamiento del flujo y llegar a un diseño optimizado en las estructuras.

Referencias Bibliográficas

- ROACHE, P.J. (1994).** Perspective: a method for uniform reporting of grid refinement studies. *Journal of Fluids Engineering*. ASME 116(3):405–413.
- USACE (1990).** Hydraulic Design of Spillways. Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers
- USBR (2014).** Appurtenant Structures for Dams (Spillways and Outlet Works) Design Standard - General Spillway Design Considerations. U.S Bureau of Reclamation”

PROGRAMA FEDERAL DE ASISTENCIA A MUNICIPIOS PARA OBRAS DE MACRO DRENAJE URBANO

Guillermo Mena ^(1,3), Juan Carlos Bertoni ^(1,2), Pablo Romanazzi ^(1,4), Guillermo Luzzi ⁽¹⁾
y Ricardo Ruiz ⁽¹⁾

(1) Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina; Au. Ezeiza – Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires,

(2) Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Avenida Vélez Sársfield 299 – Córdoba. Tel +54 351 4332090

(3) Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional La Plata, Argentina. Av. 60 esq 124, La Plata, Tel +54 221 4124300

(4) Universidad Nacional de La Plata, Argentina, Calle 1 y 47, La Plata. Tel: +54 221 4258911

omana@ina.gov.ar; jcbertoni@ina.gov.ar; pablromanazzi@gmail.com; gpluzzi973@gmail.com; ingruiz@gmail.com

Introducción

El Plan Estratégico de Gestión del Instituto Nacional del Agua (INA) 2021-2023, incluye un paquete de iniciativas que apuntan a lograr un desempeño más eficiente y de calidad del organismo, promoviendo la innovación, la gestión del talento, la mejora continua y la incorporación de nuevos paradigmas y nuevas tecnologías para fortalecer su capacidad de respuesta ante las principales problemáticas hídricas del país.

El presente trabajo describe los aspectos centrales del Programa Federal de Asistencia a Municipios para Obras de Macro Drenaje Urbano que desarrolla INA en el marco del Eje IV de su Plan Estratégico, referido a Infraestructura y Riesgo.

Antecedentes

Argentina, con un porcentaje de población urbana del 92 % al año 2022, es uno de los países más urbanizados de América Latina que posee una media de 82 %, mientras que el porcentaje medio a nivel mundial es el 57% (Banco Mundial, 2023).

El crecimiento de las ciudades impone desafíos de distinta índole, entre los que se encuentra el hecho de satisfacer adecuadamente la creciente demanda de todo tipo de infraestructuras y de servicios básicos, tales como la de drenajes pluviales y fluviales urbanos. Su necesidad emerge a partir del marcado impacto que generan las urbanizaciones sobre el ciclo hidrológico.

Estos impactos derivan, principalmente, de: la impermeabilización del suelo, la conexión de las superficies impermeables, la reducción de los procesos de infiltración y de retención superficial, los cambios de pendientes y la aceleración de los flujos, entre otros. Todo ello se traduce en una acelerada reducción de los tiempos de traslado del escurrimiento superficial y de un incremento violento de los caudales y volúmenes escurridos, resultando en un aumento de la magnitud y frecuencia de las inundaciones urbanas, situación que se observa en gran parte de las localidades distribuidas en el territorio de Argentina.

En cuanto a la planificación de las medidas estructurales y no estructurales destinadas a mitigar esta problemática, el panorama nacional actual muestra a gran parte de los municipios actuando de manera aislada, con falta de recursos económicos, falta de personal profesional formado y con la necesidad de dar respuestas rápidas, sin contar para ello con una visión estratégica sobre el particular. Todo ello conduce a la insuficiencia de las medidas adoptadas en este aspecto.

Una de las primeras medidas a adoptar para contribuir a la planificación de las medidas a adoptar para abordar la problemática es el análisis de las medidas de macro drenaje a adoptar, que es la implementada en el Programa, y que comprende todos los cursos del escurrimiento definidos por las depresiones topográficas naturales de la cuenca, aún siendo efímeros. Una característica fundamental de este componente es que siempre existe, aún cuando no se ejecuten obras específicas de drenaje. (Bertoni, 2004)

Objetivos

Elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de macro drenaje urbano, como también proponer medidas no estructurales en un importante conjunto de 80 localidades distribuidas en todo el país.

Reforzar la gestión de las ciudades, con políticas de drenaje modernas, que integren medidas estructurales y no estructurales, y que representen aportes para de resolver los problemas de planificación en forma integral.

Atender a los nuevos desafíos que plantea el Cambio Climático, ya que los problemas de inundaciones, ya presentes en el escenario actual, en el futuro pueden tener un factor adicional por esta razón.

Contribuir en el cumplimiento de los objetivos y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, en particular para el cumplimiento del Objetivo 11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Metodología

La selección inicial de las ciudades se realizó considerando los 33 Grandes Aglomerados Urbanos Argentinos¹ (Lafranchi, 2018) que presentan un alto índice de riesgo y concentran aproximadamente al 69% de la población de Argentina.

Para estos aglomerados se elaboró un índice que considera: la cantidad de habitantes (datos del censo 2010 – INDEC), el porcentaje de crecimiento poblacional al año 2025 proyectado por el INDEC, la cantidad de eventos de inundación registrados, según el relevamiento realizado entre los años 1970 y 2016 (SINAGIR, 2018), y el porcentaje de hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI). Los índices obtenidos permitieron identificar los aglomerados con mayor prevalencia, dentro de los aspectos considerados, para la elaboración de documentación para la aplicación de medidas estructurales y no estructurales.

Complementariamente se fue actualizando la selección inicial de las ciudades, hasta completar el grupo de 80 localidades que conforman la meta inicial a finalizar en diciembre de 2023. Esta actualización incorpora como criterios la cantidad y calidad de la información disponible, el nivel de respuesta de autoridades municipales de competencia, y la premisa de una proporcionada distribución federal de las ciudades.

La metodología de trabajo incluye reuniones con los referentes locales, y el relevamiento de la información existente sobre la problemática de las inundaciones en la ciudad, los planes,

¹ La definición de los grandes aglomerados urbanos considerados en este trabajo tiene en cuenta la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) y la metodología desarrollada por el Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPECC), la cual considera el crecimiento de la superficie urbana de estos aglomerados entre los años 2006 y 2016.

estudios, proyectos y/o obras ejecutadas para la mitigación.

Una vez analizados los antecedentes, se decide en consenso con las autoridades municipales, el sector de la ciudad a intervenir, y se comienza con la elaboración del estudio a nivel de prefactibilidad que desarrolla los siguientes aspectos:

- Análisis de las principales amenazas hídricas de cada ciudad
- Caracterización del clima y de las lluvias severas de la región,
- Descripción del crecimiento demográfico
- Caracterización geomorfológica
- Informe sobre los estudios topográficos disponibles en la localidad
- Desarrollo de modelizaciones hidrológicas e hidráulicas
- Análisis de los niveles de riesgo hídrico por inundación en los sectores más comprometidos
- Definición y análisis de alternativas de solución (obras y medidas no estructurales)
- Selección de la alternativa más conveniente
- Anteproyecto a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada
- Evaluación de los costos asociados a la alternativa seleccionada
- Estimación del plazo de ejecución de la/s obra/s y/o de las medidas no estructurales
- Primera etapa del análisis del impacto ambiental para las medidas estructurales.

La documentación generada, se incorpora al Sistema de Gestión de Obras (SGO) del Ministerio de Obras Públicas de la Nación (MOP), quedando disponibles para su acceso por las respectivas municipalidades.

Resultados

Al mes de julio de 2023 se finalizaron los anteproyectos correspondientes a 43 localidades, ubicadas en 22 provincias del país, cuya ubicación se muestra en la Figura 1.



Figura 1.- Localidades con anteproyectos finalizados a julio 2023

Las medidas estructurales propuestas consisten fundamentalmente en obras de encauzamiento, canales de desagüe, conductos enterrados y alcantarillas, defensas contra inundaciones y contra erosiones de márgenes, reservorios de retención, parques lineales, compuertas, disipadores de energía y estaciones de bombeo.

Las medidas no estructurales adoptadas incluyen la elaboración de mapas de riesgo frente a inundaciones urbanas, y el diseño de sistemas inteligentes de monitoreo, operación y alerta temprana de inundación. Estos productos tienen como objetivo proporcionar a los municipios un producto cartográfico que les permita identificar los principales peligros asociados a los fenómenos de inundación en la ciudad y alentar la implementación de políticas de gestión del riesgo de desastres a nivel municipal con miras a su futura incorporación a los planes de ordenamiento territorial.

Conclusiones y Proyección

El contacto con los Municipios seleccionados, el relevamiento de la información y los recorridos realizados confirman la necesidad de un abordaje integral y federal de la problemática de las inundaciones urbanas, cuyo desarrollo se encuentra limitado no solo por la falta de recursos para concretar las obras necesarias, sino también por la falta de documentación técnica necesaria para tramitar los financiamientos correspondientes. Tampoco se detectó la existencia de relevantes medidas no estructurales relacionadas con la problemática.

El conjunto de la documentación generada en el marco del Programa, conforman una valiosa contribución como un primer paso para la reducción de la brecha de infraestructura (Brichetti, 2021) de drenaje urbano, y también para la planificación del territorio a nivel municipal. Cabe destacar que no hay registros de abordajes de la temática del riesgo por inundaciones urbanas en el país con el alcance y la distribución territorial implementadas en esta iniciativa.

Por otro lado, de las localidades con anteproyectos finalizados, se encuentra avanzado el proceso de completamiento de la documentación en 7 de ellas, con el objetivo de contribuir a su ejecución, ante la posibilidad de su financiamiento.

Se desprende también la necesidad de elaborar una base de datos unificada y pública que contenga la información sobre las infraestructuras de drenaje urbano construidas y proyectadas en cada localidad, e implementar una capacitación a los equipos técnicos de cada municipio relacionada con la regulación de los aumentos de impermeabilización y sobre las medidas no estructurales para contribuir a mitigar los efectos de las inundaciones.

La ampliación de las localidades incluidas en el Programa, permitiría tener una visión más completa de la situación de las ciudades argentinas ante la problemática de los fenómenos de inundación, y contribuiría a cuantificar con más precisión el riesgo y la brecha de infraestructura existentes, con su respectivo monto de inversión final a nivel nacional.

Referencias Bibliográficas

- Bertoni, J. C. y Maza, J. A. (2004). "Aspectos asociados a las inundaciones urbanas en Argentina". Material extraído del libro: *Inundaciones Urbanas en Argentina*, Bertoni, J.C. (org.) (2004).
- Brichetti, J. P. et al. (2021). "La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe: estimación de las necesidades de inversión hasta 2030 para progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible". *Monografía del BID*, 962.
- INDEC (2010) "Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas".
- Lanfranchi, Gabriel; Cordara, Christian; Duarte et. al (2018) "¿Cómo crecen las ciudades Argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados" Buenos Aires: CIPPEC
- SINAGIR (2017) "Registro de eventos de inundaciones desde 1970 hasta 2016"

DESARROLLO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Miner Vega, Anahí J.¹; Ansaldi, Mariana²; Debandi, Carlos²; Godoy, Ariell¹; Fuentes, Ricardo²; Mallea, Carlos O.²; Maures, Diego¹; Rivas, Juan¹; Rotella, Carina²; Ruggieri, Mónica S.².

1 Dirección Nacional de Vialidad, 4º distrito Mendoza. 2 Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza. Argentina
E-mail: anahi.miner.dnv@gmail.com

Introducción

La influencia de los factores climáticos sobre el diseño, construcción, operación y mantenimiento de carreteras de montaña es cada vez mayor. En la zona de la cordillera de Los Andes, históricamente, la mayor atención estaba centrada en las nevadas, sin embargo, en los últimos años, las rutas nacionales y provinciales se han visto afectadas, más que por la nieve, por las fuertes lluvias. En respuesta a estas condiciones debemos actuar expandiendo los registros climáticos históricos utilizados, a previsiones futuras hasta 100 años. La adaptación a las nuevas condiciones requerirá costos adicionales, cuya rentabilidad económica debe valorarse junto a los beneficios de reducir riesgos e impactos en la red vial.

Para este cambio de enfoque se ha decidido crear una instancia de discusión y generación de ideas al respecto, involucrando profesionales de diferentes instituciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas, y privadas. A partir de esta idea, la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM) y la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) - 4º Distrito Mendoza han suscrito convenios que instan al trabajo conjunto para incentivar la generación de información al respecto y diseñar acciones en conjunto que permitan mejorar la respuesta ante eventos que pongan en riesgo a las personas y la infraestructura.

La primera línea de acción conjunta llevada a cabo fue la realización de las 1^{as} Jornadas de Impacto del Cambio Climático en Infraestructura Vial, formalizada a través de la Resolución 1052/2022 de la UTN-FRM (Imagen 1).

Desarrollo de las Jornadas

Las 1^{as} jornadas se desarrollaron el 16 y 17 de noviembre de 2022 y tuvieron por objeto promover el intercambio de conocimientos y experiencias, a nivel nacional e internacional, entre los especialistas, operarios, técnicos y profesionales de instituciones viales, otras áreas gubernamentales, privadas y académicas, a través de la presentación de estudios técnicos y de investigación científica, concientizando a la sociedad sobre la importancia de las acciones conjuntas para mejorar la respuesta de la infraestructura vial ante las consecuencias del cambio climático y las resultantes en la problemática hidráulica. La modalidad fue de exposiciones con un espacio para preguntas después de cada charla, donde se generaron instancias de discusión muy activas. Los temas tratados se dividieron en:

Clima y Cambio Climático: análisis de factores hidrometeorológicos según los escenarios de cambio climático, comparación con situaciones presentes y pasadas. Consecuencias del cambio climático analizadas teóricas y reales sobre la infraestructura vial.

Cuencas, Gestión y Ordenamiento: análisis de los nuevos parámetros de las cuencas según cambios en el uso del suelo y nuevas condiciones hidrometeorológicas.

Eventos históricos: ejemplos de situaciones ocurridas en el pasado como consecuencia de tormentas, aludes, remoción en masa, flujo de detritos y la acción de autoridades para dar

respuesta a dichas emergencias.

Diseño de caminos, propuestas de soluciones frente al nuevo clima: frente a las nuevas condiciones analizadas, qué acciones y medidas se van a llevar a cabo para dar mayor duración a las obras viales y reducir riesgos económicos y sociales. Medidas para fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres.

En esta ocasión disertaron 19 profesionales, 3 de ellos en modalidad virtual. Se invitaron autoridades de gobierno y empresas. Casi 200 inscriptos pudieron asistir a las jornadas de manera presencial o virtual. Además, para su difusión, se realizaron antes, durante y después del evento más de 10 noticias divulgadas en medios como diario, radio, tv y páginas web y redes sociales.



Figura 1.- Apertura de las 1^{as} Jornadas de Impacto del Cambio Climático en Infraestructura Vial

Principales resultados presentados

Según los ejes temáticos, se realizaron en total 3 presentaciones sobre Cambio Climático, 6 sobre gestión de cuencas, 2 de eventos históricos y 6 sobre propuestas de soluciones ante el nuevo clima.

Los principales temas tratados en el eje de Clima y cambio climático fueron: Cambio climático en Mendoza, cambios en la temperatura y precipitación (Imagen 2), siendo los eventos extremos y la falta de información local una conclusión común entre los expositores.

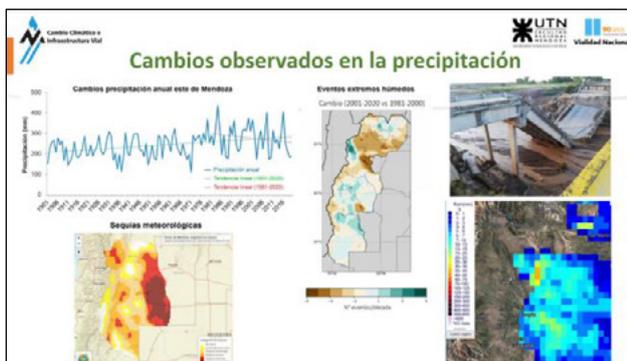


Figura 2.- Diapositiva del Dr. Juan Rivera para presentar en el eje de Clima y Cambio Climático: “Cambio climático en Mendoza: desafíos actuales y amenazas en el horizonte”

Con respecto a la gestión de cuencas se plantearon diferentes ejemplos que involucraron riesgos y desastres relacionados con el clima, cauces e infraestructura. También se planteó la necesidad de sistemas de alerta temprana y se resaltó la importancia de analizar el paisaje de manera integral y utilizar métricas que permitan evidenciar la influencia del cambio del uso del suelo en el régimen hidrológico.

El eje de Eventos históricos estuvo centrado en el análisis del cambio climático mediante el Índice Estandarizado de Precipitación y una aplicación práctica en la RN7 y en la Inestabilidad de taludes en el contexto del cambio climático.

Finalmente, la sección de propuestas de soluciones frente al nuevo clima tuvo una orientación práctica y aplicada ya que se integraron especialistas del área privada y se presentaron contribuciones de estructuras de protección y mitigación de riesgos. También se presentó un modelo de costo beneficio para la resiliencia de la red vial al cambio climático; impacto de acciones antropogénicas la infraestructura vial en Catamarca; desafíos de Infraestructura relacionados a Geopeligros y una propuesta de mitigación en una zona de riesgo en Uspallata, Mendoza.

2ª edición: Acciones y desafíos

A partir de la gran cantidad de preguntas, debates y diálogos generados en los minutos de preguntas posteriores a cada presentación, se genera la necesidad de brindar un espacio de discusión sobre los temas más relevantes tratados en las 1as jornadas. Por lo que se llevará a cabo una segunda edición de las jornadas desarrollándose como Mesas de debate en las que se plantea una introducción general, se trabajará en grupos de debate con un moderador, se generará un documento final y se hará la exposición de dicho documento al finalizar la jornada. Para esto se ha convocado a especialistas en el tema, generando buena respuesta y nivel de inscripciones por parte del público receptor (Imagen 3).

Mesas de debate. El principal objetivo es tratar temáticas relacionadas con los efectos del cambio climático sobre la infraestructura vial y, a partir del debate y discusión de ideas se pretende obtener conclusiones que se concreten en directrices, recomendaciones o declaraciones sobre la temática tratada en las mesas. Los temas en las mesas de debate serán:

1- Adaptación y resiliencia

- Análisis de riesgo existente
- Implementación de ATRA (ArgentinaTransport Risk Analysis)
- Escenarios Hidrometeorológicos futuros.

- Modelo de Riesgo y Análisis Costo Beneficio de la adaptación de la red vial.

- Componentes Económicos del impacto del cambio climático sobre la red vial.

- Recomendaciones y líneas de acción para mejorar la resiliencia al cambio climático.

2- Mitigación

- Medidas de compensación: reforestación de zonas altas de las cuencas.

- Medidas de mitigación: uso de materiales menos contaminantes.

- Integración de medidas de mitigación y adaptación al cambio en acciones institucionales.

3- Impactos

- Cambios en el ciclo hidrológico local

- Cambios de uso de suelo en la cuenca

- Cambios en los patrones estacionales de precipitación y flujo de ríos

- Incendios e incremento del nivel del mar

4- Eventos extremos

- Remoción en masa y caída de detritos.

- Inundaciones.

- Flujos hiperconcentrados.

- Calentamiento global.

- Degradación de permafrost.

- Análisis de peligrosidad y susceptibilidad.

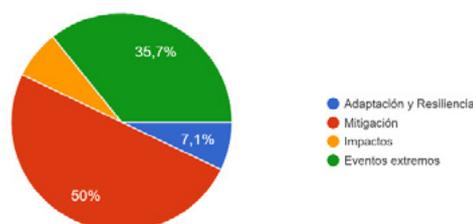


Figura 3.- Mesa de debate en la que se inscribe

Conclusiones y tareas futuras

La temática que se está manejando es de amplio conocimiento entre profesionales y existen las capacidades de ejecutar medidas de mitigación, adaptación y potenciar la resiliencia ante el cambio climático.

Para esto se requieren mayor cantidad de instancias de discusión, reuniones y acuerdos interinstitucionales para abordar una temática tan compleja. Considerando los documentos que resulten de la 2ª edición de las jornadas, se podrán conformar equipos de trabajo que mejoren y desarrollen la generación de conocimiento, que lleven a cabo las medidas propuestas y que faciliten la puesta en práctica de las soluciones planteadas.

Es necesario el desarrollo de formalización institucional trascendente y transversal para llevar a cabo estas medidas. Con respecto a los grupos de trabajo, se debe proponer una conformación equitativa e inclusiva de los mismos.

SIMULACIÓN DEL FLUJO EN ALTERNATIVAS DE DISEÑOS DE UNA CÁMARA DE CLORACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO PARA EVALUAR LA MEJORA EN LOS INDICADORES DE EFICIENCIA HIDRÁULICA

Molina, Sofía Luz^{1,2}; Ragessi, I. Matías^{1,2}; Di Buo Melina^{1,2,3}; Laura Estefanía Motta Milesi^{1,2}; Rodríguez, Andrés^{1,2,3} y Hillman Gerardo^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC.

³ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).

E-mail: sofia.molina@mi.unc.edu.ar

Introducción

En este trabajo se presenta el estudio de la hidrodinámica flujo y comportamiento de un trazador (escalar pasivo) en una cámara de contacto a escala de laboratorio para examinar la eficiencia del reactor.

Las cámaras de contacto, donde se produce el proceso de desinfección en el tratamiento de aguas tanto potabilizadora como residual, en general se diseñan en base a las normas ENOHSA donde se suponen condiciones de flujo pistón (PFR, por sus siglas en inglés) y se mantiene un tiempo de contacto mínimo (T) de 15 minutos. Las condiciones de PFR es un ideal ya que en los reactores se producen áreas de cortocircuito y recirculación por lo que no se cumple para todas las porciones de flujo el tiempo de contacto mínimo T.

En el presente trabajo se utilizó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para simular el flujo de los diferentes diseños planteados del reactor y obtener la curva de distribución de tiempos de permanencia (RTD) y en base a los resultados poder evaluar indicadores de eficiencia hidráulica (HEIs) y definir cuál es el diseño más eficiente.

Materiales y Métodos

Se utilizó la librería OpenFOAM® (Open Field Operation and Manipulation, OpenCFD Ltd.,2005) la cual ofrece herramientas de pre y post-procesamiento. Las mallas se resolvieron con Gmsh® (Geuzaine y Remacle, 2009) y con SnappyHexMesh de OpenFoam®.

Se utilizaron dos esquemas de solución. Primero, el esquema SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) y luego el solver PIMPLE (Pressure Implicit Method for Pressure- Linked Equations). El primero se utilizó para lograr una solución de flujo estacionario. Luego, dicha solución se utilizó como condición inicial del modelo con esquema PIMPLE en el cual se modeló la propagación de un escalar no reactivo, con el fin de determinar las curvas RTD y estimar los HEIs.

En la Figura 1 se presentan las alternativas de diseño que se modelaron en forma bidimensional.

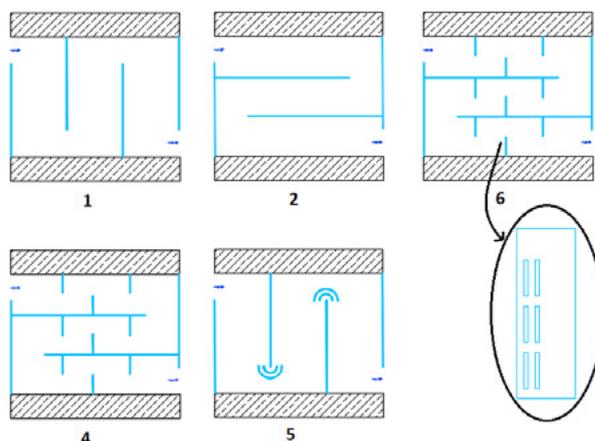


Figura 1.- Alternativas de diseño modeladas. La alternativa 3 no se encuentra graficada, su diseño es igual al 4, sin el tabique transversal inicial.

En la Alternativa 1 y 5 los tabiques están dispuestos de forma transversal a como ingresa el flujo, además en la alternativa 5 se añadieron deflectores semicirculares. En los restantes diseños los tabiques principales están dispuestos de forma longitudinal, y en las alternativas 3, 4 y 6 se colocaron pequeños tabiques transversales, uno de ellos (alternativa 6) con ventanas de paso.

Una vez que se determinó cuál es el diseño que presentó los mejores valores de los HEIs, se procedió a modelar el mismo en forma tridimensional, también utilizando el esquema PIMPLE.

Indicadores de Eficiencia Hidráulica (HEIs)

Se pueden clasificar como indicadores de cortocircuito o de mezcla:

Índice θ_{10} :

El índice más utilizado para la eficiencia hidráulica del tanque de contacto, también denominado "factor deflector" se puede definir como:

$$\theta_{10} = \frac{t_{10}}{T} \quad [1]$$

Siendo t_{10} el tiempo normalizado requerido para que el 10% de la masa del trazador inyectado pase por la salida y T el tiempo medio de contacto. El factor deflector se convierte en la unidad para condiciones ideales de flujo pistón.

Índice de Morrill (Mo):

Este índice es el más común para la evaluación de la eficiencia de mezcla. Se define como:

$$Mo = \frac{\theta_{90}}{\theta_{10}} \quad [2]$$

siendo θ_{90} la relación entre el tiempo para pasar el 90% de la concentración inyectada y el tiempo medio de contacto y θ_{10} el factor deflector que se definió anteriormente.

Índice AD:

$$AD = \frac{\theta_{90}-1}{1-\theta_{10}} \quad [3]$$

Este índice considera la variación de θ_{10} y θ_{90} con respecto al tiempo medio de residencia, que es igual a 1 (Fogler 2015). A medida que el flujo se aproxima a PFR, el numerador y el denominador se acercan entre sí y en el límite el índice AD tiende a 1, que es una condición teórica.

A medida que θ_{10} se acerca a T, AD aumenta de magnitud y el cortocircuito se reduce. También aumenta cuando hay buena mezcla ($\theta_{90} > 1$). Por lo tanto, valores altos de AD implican menor cortocircuito y mejor mezcla.

Área efectiva:

$$n_{eff} = 1 - \left(\frac{\text{Área zona recirculación}}{\text{Área total}} \right) \quad [4]$$

Mientras más cercano a 1 sea este índice, menor área de cortocircuito.

En la siguiente tabla se muestran los rangos sugeridos por la literatura Angeloudis et al. 2014, 2016 para los HEIs.

Tabla 1.- Rangos HEIs.

Índice	Excelente	Bueno	Comprometedor	Malo	Muy Malo
Mo	<1,5	1,5<Mo<2,5	2,5<Mo<3,5	3,5<Mo<5	>5
AD	>3,5	1,75<AD<3,5	0,5<AD<1,75	0,2<AD<0,5	0,1<AD<0,2
θ_{10}	0,7< θ_{10} <0,9	0,5< θ_{10} <0,7	0,3< θ_{10} <0,5	-	<0,3
n_{eff}	>0,9	0,6< n_{eff} <0,9	0,4< n_{eff} <0,6	0,1< n_{eff} <0,4	-

Resultados

Se procedió a calcular los HEIs de 4 de los 6 diseños, ya que las áreas efectivas de las otras alternativas dieron un resultado de eficiencia por debajo de lo esperado, en el rango calificado como “malo”.

Tabla 2.- Resultados.

Alternativas	θ_{10}	θ_{90}	Mo	AD	n_{eff}
3	0,748	1,523	2,035	2,079	0,648
4	0,776	1,488	1,918	2,173	0,794
5	0,490	0,983	2,005	-0,033	0,881
6	0,862	1,389	1,611	2,827	0,614

Conclusión

La simulación numérica nos permitió comprender mejor la hidrodinámica del flujo y los resultados obtenidos sugieren que la eficiencia hidráulica del reactor mejora con la utilización de pequeños tabiques transversales (alternativas 3, 4 y 6), también la utilización de ventanas de paso en los mismos ayuda a mejorar los valores de los HEIs. Es por ello que, se determinó que la mejor alternativa de diseño es la 6, es la que tiene menor cortocircuito y una mejor mezcla, y por ende un tiempo de contacto mínimo más homogéneo entre todos los elementos de flujo.

Referencias Bibliográficas

- Geuzaine, C. Remacle, J. F. 2009 Gmsh: A 3-D element mesh generator with built-in pre and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering, Issue, 461-477.
- OpenCFD. (2005) (<http://www.opencfd.co.uk/openfoam/>)
- Optimización del Diseño de la Cámara de Contacto en “EDAR-Bajo Grande”, Córdoba, Argentina.
- Angeloudis, A., T. Stoesser, and R. A. Falconer. 2014. “Predicting the disinfection efficiency range in chlorine contact tanks through a CFD-based approach.”
- Angeloudis, A., T. Stoesser, C. Gualtieri, and R. A. Falconer. 2016. “Contact tank design impact on process performance.”
- Ender Demirel, Mustafa M. Aral. 2018 “Performance of Efficiency Indexes for Contact Tanks”.

ESTUDIO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE MACRORUGOSIDADES EN FLUJOS A ESCALA DE LABORATORIO

Motta Milesi, Laura Estefanía¹; Ragessi, Iván Matías¹; Joaquín, Candelaria^{1,2}; Tarrab, Leticia¹; Martino, Román^{1,2} y Rodríguez, Andrés^{1,2}.

1. Laboratorio de Hidráulica – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba (FCFyN-UNC), Argentina.

2. IDIT, Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC), Argentina.

E-mail : emottamilesi@mi.unc.edu.ar

Introducción

La presencia de macrorrugosidades, características de los lechos de grava en cauces de montaña, produce cambios en la hidrodinámica y en la superficie libre (elevación de la superficie del agua) de los mismos; que son relevantes en la distribución de velocidades en la interfaz agua-aire y su relación con el perfil de velocidades en profundidad. Una alternativa para estudiar en detalle esta interrelación es mediante la aplicación de la fluidodinámica computacional (CFD, por sus siglas en inglés), ya que su caracterización mediante técnicas experimentales presenta gran dificultad. La dificultad de la caracterización experimental de estos flujos radica en que las velocidades presentan elevada variabilidad espacio-temporal debido a que son flujos confinados (o semiconfinados): una capa escurre entre los obstáculos (macrorrugosidades) y otra sobre ellos. En consecuencia, en ríos y canales naturales la superficie libre del flujo tiene mucha distorsión para poder ser capturada con adecuada precisión mediante técnicas de velocimetría por imágenes (PIV/PTV). Una alternativa para caracterizar este tipo de flujos complejos es aplicar modelos numéricos validados con datos experimentales. La fluidodinámica computacional (CFD) permite estudiar flujos rápidamente variados, caracterizar mejor el campo medio de velocidades y las fluctuaciones turbulentas, al mismo tiempo que capturar con precisión la interfaz agua-aire. Este tipo de modelos se puede aplicar también para estudiar-validar la dinámica de flotadores (trazadores), comúnmente utilizados para la caracterización experimental del flujo en laboratorio. Esta información base es de utilidad en el uso de técnicas de cuantificación remota de caudales, que utilizan la velocimetría por imágenes digitales del campo del flujo superficial en condiciones no ideales.

En este trabajo se reporta una experiencia de comparación entre modelación física y numérica de la respuesta del flujo sobre un obstáculo en régimen subcrítico; y avances en la validación con datos experimentales de un modelo bidimensional a dos fases (agua-aire), que incorpora una estructura que representa una macrorrugosidad. En este caso materializada por un hemisferio dispuesto en el fondo del canal.

Metodología experimental

Los ensayos experimentales se realizaron en un canal prismático a escala de laboratorio que se encuentra en el Laboratorio de Hidráulica de la UNC. El mismo cuenta con dos cubas, una de ingreso y otra de salida que están conectadas a los extremos del canal. Éste tiene 2,5m de longitud, 0,26m de altura y 0,08m de ancho. Además cuenta con un regulador de pendiente, una cuba de almacenamiento y un banco de recirculación. Las paredes son de acrílico y las cubas, al igual que la base del canal, son metálicas y revestidas con pintura tipo epoxi. Para materializar la macrorrugosidad (Bump) se utilizó un semicírculo, de 2cm de radio, impreso con una impresora 3D. Es necesario mencionar que el Bump presenta una textura, propia de este tipo de impresión. El diámetro de los hilos utilizados es de 0,8mm, esta característica se tuvo en cuenta a la hora de definir la rugosidad de las paredes del modelo numérico, en algunos de los casos. El centro del semicírculo se ubicó a 1,40m del ingreso del canal.

La medición de caudal (Q) se realizó mediante la técnica de aforo volumétrico. El campo de velocidades de flujo y perfiles de velocidades se cuantificaron mediante la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV, por su sigla en inglés). Esta es

una técnica no intrusiva de medición, que realiza un análisis Euleriano sobre la trayectoria del trazador. Para el caso en estudio, se registró el flujo con una cámara Sony DSC-RX100M5, configurada a 480 fps. Primero, los videos fueron procesados con la herramienta computacional RIVeR (Rectificación de los resultados de velocidad de imagen). Luego, la secuencia de imágenes obtenidas de los videos se procesó a través del software PIVlab, a partir de la cual se obtuvo el campo de velocidades, tanto instantáneo como medio.

Modelo Numérico

Para la modelación numérica se utilizaron principalmente 2 softwares: 1) GMSH (Geuzaine y Remacle, 2009), para la generación de la geometría y las mallas; y 2) OpenFOAM®, que es un código libre y abierto, para la modelación numérica. Para el postprocesamiento y la visualización de resultados se utilizó, además de OpenFOAM®, Paraview (Kitware Inc., 2023), que es una aplicación de código abierto; y se elaboraron códigos propios en Python. La modelación se realizó con el solver interFoam de OpenFOAM® es a través del método de volúmenes finitos. Se realizó un modelo a dos fases (aire-agua), con modelo de cierre $k\Omega$ SST (Menter et al., 2003), en una geometría simplificada 2D. En la Figura N°1 se muestra un gráfico del canal modelado.

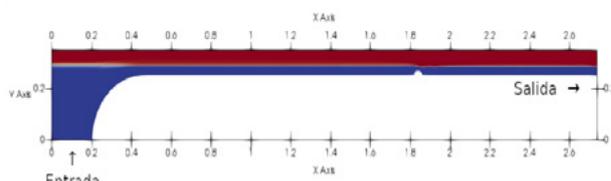


Figura 1.- Canal modelado.

En cuanto a la generación de mallas, se realizó un modelo 2D donde el ancho del canal (0,08m), no tiene subdivisiones en celdas. Se supone que el canal modelado es una faja de flujo, por lo que los efectos de las paredes se desprecian. En las otras dos direcciones, se realizó un refinamiento gradual, teniendo mayor resolución en la zona donde se encuentra la macrorrugosidad. Para definir el tamaño de las celdas se realizó un análisis de convergencia. En la Figura N°2 se muestra una imagen de la malla en la zona de importancia para el estudio.

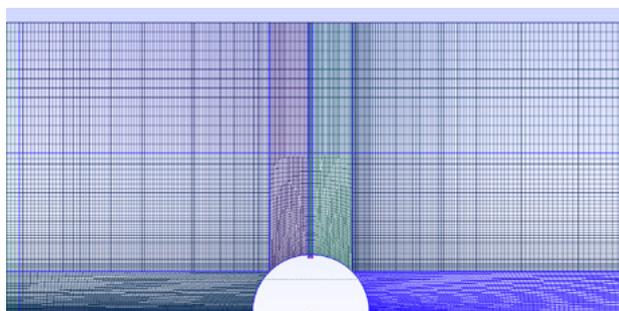


Figura 2.- Mallado progresivo.

Escenarios simulados

En el modelo a dos fases (aire-agua), se establecieron como condiciones generales de borde: un valor de velocidad fijo en el ingreso y un valor fijo o perfil de velocidad para la salida; para

los parámetros de turbulencia k , ω y ν se establecieron valores característicos según la velocidad de ingreso; en las fronteras que son pared se establecieron funciones de pared propias de OpenFOAM® (nutkWallFunction, kqRWallFunction entre otras), y se fijó la velocidad en la pared igual a cero; en la salida en general se utilizó la condición gradiente cero; en cuanto al “alpha.water”, que representa la fase agua del modelo, se utilizó valor fijo y gradiente cero a la salida. Para mejorar el ajuste se realizaron distintos modelos donde se fueron variando los valores de velocidad al ingreso (para obtener el caudal medido experimentalmente), a la salida y el valor de la rugosidad del fondo (Bump). En la Tabla N°1 se resumen las principales variables consideradas.

Tabla 1.- Versiones modeladas.

Modelo N°	Bump	Q [l/s]	Vs [m/s]	Resolución mín. celda [mm ²]
Exp.	3D	0,403	0,1399	0,0169
1	Liso	0,4030	0,1399	$1,07 \times 10^{-7}$
2	Liso	0,4477	0,1399	$1,07 \times 10^{-7}$
3	Liso	0,4274	0,1469	$1,07 \times 10^{-7}$
4	0,4mm	0,4030	0,1399	$9,66 \times 10^{-8}$
5	0,1mm	0,4030	0,1399	$9,66 \times 10^{-8}$
6	0,068224mm		0,4030	$0,1399$ $9,66 \times 10^{-8}$
7	0,068224mm		0,4030	$0,1399$ $5,95 \times 10^{-8}$
8	Discontinuidad		0,4030	$0,1399$ $2,25 \times 10^{-7}$
9	Discontinuidad		0,4030	$0,1329$ $4,31 \times 10^{-8}$
10	Discontinuidad		0,4322	$0,1399$ $4,31 \times 10^{-8}$

Se tomaron como referencia para validar el modelo, 10 puntos a lo largo del canal para comparar los perfiles de velocidad experimentales y numéricos. También se comparó la evolución de la superficie libre.

Resultados y discusión

En los modelos N°1,2 y 3 se modeló un canal de fondo liso con las mismas condiciones medidas experimentalmente o pequeñas modificaciones en los valores de estas, atribuibles a la exactitud de las mediciones. En las 3 versiones la hidrodinámica tiene un buen ajuste en cuanto a la forma de los perfiles de velocidad, las mayores discrepancias son de ≈ 4 cm/s y se dan en el centro del obstáculo. Se observa que el flujo simulado numéricamente tiene una longitud de separación menor que la observada experimentalmente. Esto también repercute en la superficie libre ya que, inmediatamente aguas abajo del Bump, se observa una depresión abrupta de la misma, que tampoco se observa en el canal experimental.

En los modelos N°4, 5, 6 y 7 se modeló un canal de fondo liso, con rugosidad únicamente en la macrorrugosidad. Esto tiene como objetivo lograr que el flujo se despegue antes de la pared. En general, la superficie libre tiene un mejor ajuste pero la hidrodinámica no se condice con observado experimentalmente. Se continúa teniendo una mayor trayectoria del flujo pegado a la pared que la observada experimentalmente. En la versión N°7, se incrementó la resolución de la malla para comprobar la independencia de los resultados respecto de la resolución de la malla y que esta nueva configuración (incorporar rugosidad en la macrorrugosidad) no era apropiada para resolver el flujo.

En los modelos N° 8, 9 y 10 se modeló un canal de fondo liso, con una discontinuidad en la macrorrugosidad. Esta discontinuidad, que en la macrorrugosidad utilizada experimentalmente está dada por la junta de las dos mitades de la impresión 3D. Luego de incorporar en el modelo numérico esta imperfección en las paredes de la macrorrugosidad, los resultados muestran que el flujo separó en la misma zona que se observa experimentalmente. La hidrodinámica (forma y magnitud de los perfiles de velocidad) y la superficie libre se com-

portan de manera similares a las observadas experimentalmente.

Último escenario modelado

En la última modelación se logró una forma de la superficie libre similar, donde las mayores diferencias en el tirante son de 5mm aproximadamente, pero se continúa efectuando una depresión por separación más tardía del flujo en el modelo numérico. Esto se representa en la figura N°3.

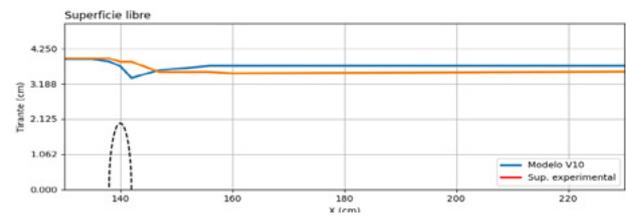


Figura 3.- Superficie libre.

En cuanto a la hidrodinámica se ha podido realizar un muy buen ajuste donde las formas de los perfiles de velocidad son muy similares y las diferencias, respecto a lo medido experimentalmente, en los valores son muy poco significativas.

En la figura N°4 se muestra un perfil de velocidad aguas arriba del obstáculo, otro justo en el centro de la macrorrugosidad y otro aguas abajo de la misma.

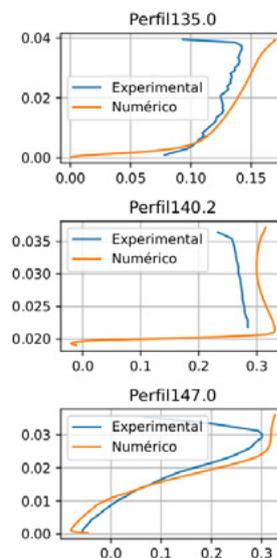


Figura 4.- Perfiles de velocidad.

Trabajos Futuros

A futuro se intentará mejorar el ajuste de la altura del tirante, sin perder el buen ajuste en la hidrodinámica. Una vez logrado un buen ajuste con el modelo 2D, se pretende hacer modelo tridimensional, donde se incorporen también los efectos de pared. El mejoramiento del ajuste permitirá cumplir con el objetivo propuesto en este trabajo que, como se ha mencionado, es reportar una experiencia de comparación entre modelación física y numérica de la respuesta del flujo sobre un obstáculo en régimen subcrítico, y avanzar en la validación con datos experimentales de un modelo bidimensional a dos fases, que incorpora una estructura que representa una macrorrugosidad.

Referencias Bibliográficas

- F.R. Menter, M. Kuntz, and R. Langry (2003). “Ten years of industrial experience with the SST turbulence model”. *Proceedings of the fourth international symposium on turbulence, heat and mass transfer*, pp. 625–632, Antalya, Turkey.
- Geuzaine, C. and Remacle, J.-F. “Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 79(11), pp. 1309-1331, 2009.
- Kitware, Inc. (2023). (<https://www.paraview.org/>)
- OpenCFD. (2005). (<http://www.open CFD.co.uk/openfoam/>).
- OpenFOAM® (2023). (<https://www.openfoam.com/>)

EVALUACIÓN DE SOBREPRESIONES EN EL ACUEDUCTO DEL OESTE, SGO. DEL ESTERO. TRAMO: BARRIALITO – DOÑA LUISA

Olmos Luis, Isequilla y Fuentes Luisina

Instituto de Recursos Hídricos, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
E- Email: laolmos@gmail.com, jessi.isequilla@gmail.com, luisinafuentes854@hotmail.com

Introducción

Los flujos variables en el tiempo y en el espacio, generan un fenómeno transitorio que cuando se da en tuberías presurizadas se denomina golpe de ariete. Este puede estar asociado a una variación brusca de velocidad o presión en el flujo como consecuencia de la apertura o cierre de válvulas, arranque y parada de bombas.

Cuando se produce la parada o arranque de la bomba, se generan fluctuaciones de la presión que ponen en riesgo la resistencia de la cañería cuando sus valores no son controlados.

El Acueducto del Oeste, cuyo proyecto fue aprobado en el año 2009 y puesto en funcionamiento en el año 2015, tiene como finalidad abastecer de agua potable a las poblaciones cercanas para poder satisfacer las necesidades del recurso destinada al uso doméstico de la población y del consumo ganadero en una extensa región (del orden de 500.000 Ha), a partir de la captación, tratamiento de potabilización e impulsión, del agua proveniente del Embalse de Río Hondo. Las regiones favorecidas con la obra son parte de los departamentos Río Hondo, Guasáyan, Capital, Silipica, Choya y Loreto.

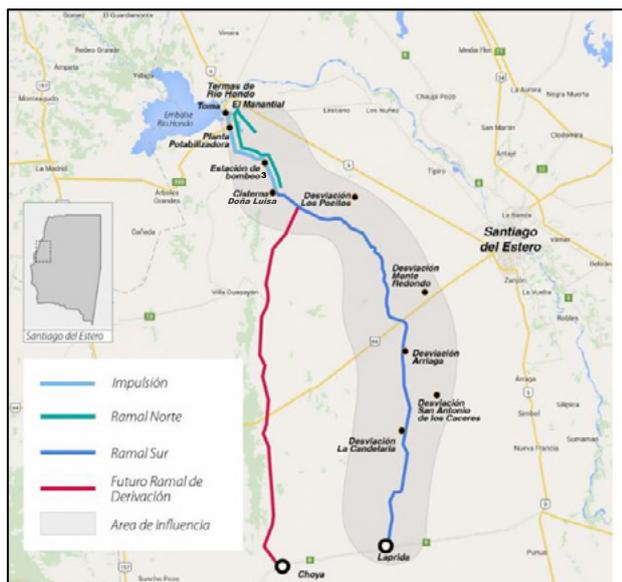


Figura 1.- Trazado del acueducto.

Desde la puesta en funcionamiento del Acueducto del Oeste se observaron repetitivas roturas a lo largo de los tramos de impulsión y de los tramos de derivación. Las causas de las mismas son desconocidas y al ocurrir estas, se interrumpe el servicio dejando a los usuarios desabastecidos del recurso durante algunas horas o días.

El objetivo principal del trabajo es simular el comportamiento hidrodinámico de un tramo del Acueducto del Oeste, para analizar sus condiciones de funcionamiento y determinar las causas que generan roturas, plantear escenarios de funcionamiento y proponer medidas correctivas y/o preventivas que permitan optimizar el funcionamiento del mismo.

Características del Tramo de Estudio

El tramo a estudiar resulta interesante por ser un sistema de bombeo complejo, con un desnivel topográfico

de 46,07 metros, siendo el caso más desfavorable en el sistema de impulsión. La cañería de impulsión A3 tiene una longitud de 6.700 metros de caño de agua potable de DN 500 mm clase 8 y 6, siendo en la progresiva 1263.06 el cambio de diámetro.

El agua almacenada en la Cisterna de Almacenamiento C3, de 280 m³ de capacidad, es bombeada en la Estación de Bombeo N°3 hasta la Cisterna de Distribución CD, de 1.240 m³ de capacidad, ubicada en la loc. de Doña Luisa.

La Estación de Bombeo N°3 está constituida por 4 bombas centrífugas de eje horizontal marca Ruhrpumpen modelo HSD con motor SIEMENS 200 cv 1.480 rpm, operan 2 bombas de manera simultánea que se van intercalando. Durante épocas de embalse lleno se bombea con 3 bombas en simultáneo con el objetivo de impulsar un caudal de 1000 m³/hora.

El punto de funcionamiento, cuando operan 3 bombas en paralelo, es de Q=972 m³/h y H=80.42 m.c.a y tiene un rendimiento entre 75,3 y 76,2%.

Generalmente son 8 horas de bombeo con 2 horas de descanso y se repite el procedimiento haciendo intercambio de equipos.

Los dispositivos de protección anti ariete colocados a la salida de la Estación de Bombeo N°3 son 3 calderines que tienen un diámetro de 1.5 metros y 3.6 metros de altura. En las tareas de funcionamiento, previo a iniciar el bombeo, son hinchados con una presión de 7 bar.

Aplicación del Modelo de Simulación Allievi

ALLIEVI permite diseñar distintos esquemas de cálculo introduciendo elementos y configurando cada uno de ellos. A su vez, permite predimensionar estructuras de control, calcular el régimen permanente tomando como base datos de topografía, características de las tuberías, carga sobre los depósitos, etc., y calcular la celeridad de la onda introduciendo como dato el coeficiente del material.

Los valores con los que se trabaja, para que se cumpla la condición de estabilidad y ajustando posteriormente la celeridad para el tramo de estudio, son:

Tabla 1. Características del sistema y celeridad ajustada

Diámetro interior equivalente [mm]	469,012
Espesor equivalente [mm]	15,222
Celeridad ajustada [m/s]	326,134

Se presenta en la Figura 2 uno de los múltiples esquemas de cálculo realizado en la simulación y que contempla los elementos básicos de la instalados en el acueducto.

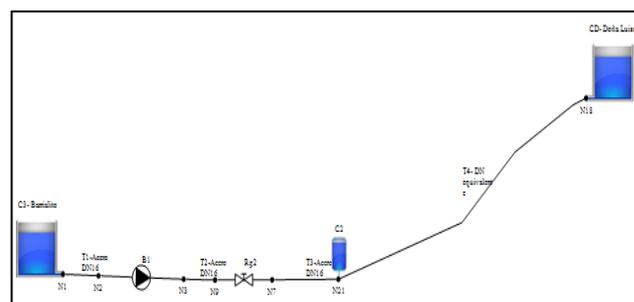


Figura 2.- Esquema de cálculo.

Se plantean los siguientes escenarios para correr el modelo:

Escenario 1: Escenario de arranque. Se considera que el equipo de bombeo se encuentra inicialmente parado y arranca a los 2 segundos de la simulación.

Escenario 2: Escenario de parada. Se considera que el equipo de bombeo está en marcha y se produce la parada del equipo de bombeo de forma instantánea.

En la Figura 3 y 4, se pueden observar las presiones generadas en la tubería en el escenario de arranque y parada respectivamente, cuando se tiene una, dos y tres bombas en funcionamiento. Las máximas sobrepresiones se dan ante el escenario de arranque del equipo, superando el valor admisible de la tubería cuando se tienen dos y tres bombas en funcionamiento. En el caso de parada no se supera la presión máxima de la clase. En las depresiones, se puede observar que, en el escenario de parada pueden producir aplastamiento y cavitación en aquellos tramos donde las presiones son inferiores a la presión de vapor pero las mismas pueden ser controladas por las válvulas de aire.

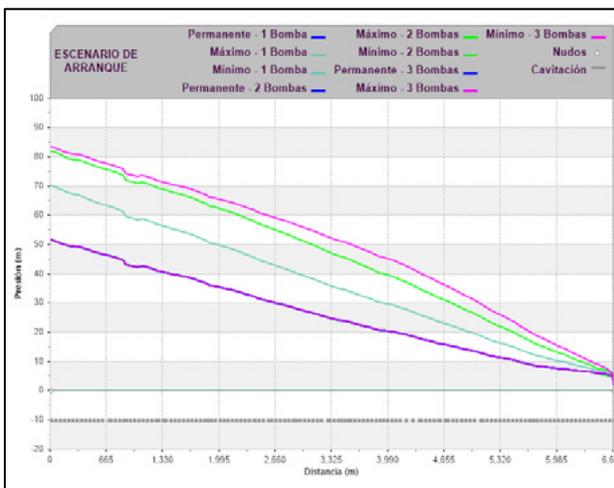


Figura 3.- Presiones relativas en escenario de arranque

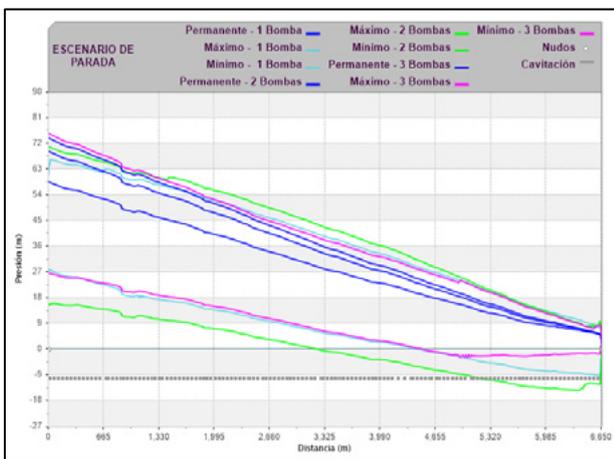


Figura 4.- Presiones relativas en escenario de parada

Ante se ello se analizan soluciones alternativas destinadas a mejorar la eficiencia del sistema, evitando posteriormente roturas.

Las propuestas son: cambiar la presión de hinchado de los calderines antiarriete (P1); incorporar arrancador suave (P2) manteniendo la presión de hinchado actual, 7 Bar, y combinando arrancador suave con cambio de presión de hinchado; disminuir la apertura de la válvula de regulación al 70% y 80% (P3 y P4) manteniendo la presión de hinchado actual y prendido alternado de las bombas (P5) manteniendo la presión de hinchado actual. Se analizan cada una de las alternativas para una, dos y tres bombas en funcionamiento, en escenario de arranque y parada.

Tabla 4.- Presiones máximas con tres bombas andando

Escenario	Rég. Perman.	Calderin 7 bar	P1	P2	P3	P4	P5
				7 bar	7 bar	7 bar	7 bar
Arranque	69,9	83,7	83,7	83,6	83,6	83,7	68,4
Parada	69,9	75,4	75,7	73,9	75,2	75,3	

Análisis de Resultados y Conclusiones

Los calderines anti-arriete cuando son hinchados a presión de régimen permanente, de acuerdo al número de bombas en funcionamiento, inciden de manera más significativa en las depresiones, evitando el aplastamiento y cavitación en la tubería. En las sobrepresiones no inciden prácticamente.

Al utilizarse calderines anti-arriete sin vejiga se tiene mayor consumo de energía y de personal, ya que de manera reiterada se debe estar controlando la presión de hinchado suministrada por el compresor. En el caso de tener un mantenimiento u operación defectuosa esté afecta de manera considerable en el comportamiento de los mismos, evitando la correcta amortiguación de las sobrepresiones y depresiones. Se debería estudiar la posibilidad de reemplazar el sistema actual por los calderines anti-arriete con vejiga, que tienen un mejor rendimiento.

El arrancador suave incide de manera considerable en la parada de la bomba, pero en el arranque se supera la presión admisible de la tubería. Esto ocurre debido a que la onda generada por el arranque de la bomba es muy brusca.

El efecto global de las válvulas de aire sobre las envolventes de presión no puede ser correctamente simuladas mediante ALLIEVI. Se pueden evaluar las presiones localizadas en una sola válvula debido al cierre de la misma durante la expulsión de aire en el llenado de la cañería. Se asume que la causa más desfavorable que provoca fenómenos transitorios es el arranque de las bombas, las cuales se prenden de manera simultánea alcanzado la velocidad de rotación nominal a los 5 segundos, superando los valores admisibles de la tubería cuando se encienden 2 y 3 bombas en paralelo.

Cuando se enciende alternadamente las bombas las sobrepresiones disminuyen de manera considerable, ya que el golpe de ariete generado por cada bomba arrancando, es inferior a si múltiples bombas arrancan en el mismo instante. El apagado alternado de las bombas no puede ser evaluado en el programa ALLIEVI por limitaciones del mismo.

Referencias Bibliográficas

- Abreu, J., Guarga, R., & Izquierdo, J. (1995). Transitorios y oscilaciones en sistemas hidráulicos a presión. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Coimbra, Universidad de La República.
- Chaudhry, H. (1979). Applied Hydraulic Transients. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Méndez, M. (1995). Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Molina, N. (2001). Flujos transitorios en sistemas: tuberías, válvulas y bombas centrífugas. Mecánica Computacional Vol. 20, 9-16.
- Streeter, V., Wylie, B., & Bedford, K. (1999). Mecánica de Fluidos. McGraw-Hill.
- Provenzano, P., Baroni, F., & Aguerre, R. (2011). Golpe de ariete: Simulación del transitorio amortiguado. Mecánica Computacional Vol. 30, 485-496

ANÁLISIS DE RIESGO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA PRESA F. AMEGHINO, CHUBUT

Ailín Pertierra^{1,2}, Lucía Urteaga¹ y Jorge Barja¹

(1) Organismo Regulador de Seguridad de Presas, Argentina

(2) Universidad de Buenos Aires, Argentina
apertierra@orsep.gob.ar, lurteaga@orsep.gob.ar, jbarja@orsep.gob.ar

Introducción

El Complejo Hidroeléctrico Florentino Ameghino está situado sobre el río Chubut, en el Departamento de Gaiman, provincia de Chubut, a aproximadamente 120 km de la ciudad de Trelew. El conjunto de la obra está compuesto por la presa en sí, vertedero, descargador de fondo, sistema de riego, obra de toma y central hidroeléctrica

Se trata de una presa de contrafuertes tipo Noetzli-Alcorta, cuya altura es de 113 m desde la fundación. El coronamiento tiene una longitud de 255 m y un ancho de 7 m. Su construcción inició en 1943 y finalizó en 1963.

El aliviadero está ubicado sobre la margen izquierda, y está compuesto por un vertedero de 15 m de longitud de cresta que deriva los caudales hacia un conducto en túnel con una longitud total de 214 m, para finalizar en una estructura de disipación por dispersión del flujo. La capacidad de descarga de diseño del aliviadero es de 150 m³/s.

La casa de máquinas posee dos turbinas, con una potencia instalada total de 59,3 MW, existiendo sitio para un tercer equipo que fuera previsto en la construcción. La presa además cuenta con un descargador de fondo y derivación para riego.

Con el fin de realizar una revisión integral de la seguridad y evaluar la necesidad de posibles acciones de reducción de riesgo, se ha realizado un análisis de riesgo de la presa Florentino Ameghino basado en las metodologías descritas en la Guía Técnica N°8 de SPANCOLD (2012) y la Guía publicada por la CWC de India (2019).

Análisis de riesgo cualitativo

El análisis de riesgo cualitativo se realizó a través de un taller participativo para identificar posibles modos de fallo que podrían darse en la presa, los cuales luego fueron clasificados para seleccionar aquellos a ser incluidos en el modelo de riesgo cuantitativo.

En total se identificaron 9 modos de fallo en la presa: 4 modos de fallo relacionados con la gestión de crecidas, 3 modos de fallo durante operación normal y 2 modos de fallo asociados a escenarios sísmicos. De acuerdo a la clasificación resultante, se seleccionaron los modos de fallo por sobrevertido (MF1 y MF3) para desarrollar un modelo de riesgo cuantitativo.

GESTIÓN DE CRECIDAS	OPERACIÓN NORMAL	ESCENARIO SÍSMICO
MF1: Sobrevertido por falla de órganos de descarga	MF5: Deslizamiento por filtraciones en el estribo derecho	MF8: Movimiento diferencial entre contrafuertes por sismo
MF2: Falla del estribo izquierdo por colapso del túnel	MF6: Pérdida de capacidad resistente de la fundación por filtraciones	MF9: Falla del estribo derecho por sismo
MF3: Sobrevertido sin rotura de la presa	MF7: Falla del estribo derecho por filtraciones	MDFO7: Apertura imprevista
MF4: Rotura por deslizamiento de un módulo de la presa		

Figura 1.- Resumen de modos de fallo identificados para Ameghino

Análisis de riesgo cuantitativo

Para el análisis de riesgo cuantitativo se tomaron los modos de fallo por sobrevertido con el fin de evaluar la seguridad de la

presa y posibles soluciones para mejorar la respuesta hidrológica del aprovechamiento. La arquitectura del modelo de riesgo se desarrolló con el software iPresas Calc® que calcula el riesgo basándose en árboles de eventos y diagramas de influencia. Esta arquitectura vincula los modos de fallo con la probabilidad de las solicitaciones que los producen (escenario normal o hidrológico) así como con sus consecuencias por rotura de la presa. De este modo es posible calcular los riesgos de inundación tanto incrementales como totales aguas abajo.

Las solicitaciones, respuesta del sistema y consecuencias se introducen en el modelo de riesgo a través de nodos, que incluyen la siguiente información:

- Las crecidas entrantes al embalse y sus probabilidades de presentación anual.
- El nivel previo al que se encuentra el embalse en el momento de darse la crecida.
- La fiabilidad del funcionamiento de los órganos de desagüe (turbinas de la central, descargadores de fondo y riego).
- El tiempo en la toma de decisiones.
- Los resultados de la laminación, incluyendo el nivel máximo alcanzado en el embalse y el caudal laminado en cada situación de crecida, en función de la disponibilidad de órganos de desagüe y nivel previo en el embalse.
- Las probabilidades condicionales de que se produzca el fallo por sobrepaso de la presa en función del nivel máximo en el embalse.
- Los caudales pico resultante de la rotura de la presa.
- Las consecuencias en términos de pérdidas estimadas de vida y de costes económicos provocados por la inundación.

Tras introducir todos los datos de entrada para el modelo de riesgo se estimó la probabilidad de fallo anual, y el riesgo social y económico.

Como se puede observar en Figura 2, en situación actual la presa se encuentra alineada con las recomendaciones de tolerabilidad en términos de riesgo social incremental, próxima al límite, y con una probabilidad de fallo anual por debajo de 10⁻⁴.

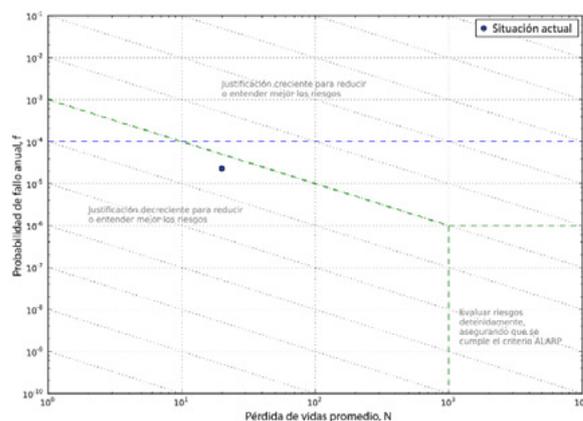


Figura 2.- Resultados de riesgo social incremental comparados con las recomendaciones de tolerabilidad del USBR.

Medidas de reducción del riesgo

En base a estos resultados se plantearon y analizaron potenciales medidas de reducción de riesgo, para comparar el efecto de cada una sobre los resultados de riesgo y definir secuencias de priorización para la implementación de las mismas, así como descartar aquellas que no sean eficientes desde el punto de vista de reducción de riesgo. Las medidas propuestas fueron:

1. **Incorporación de la tercera turbina y construcción del dique compensador Las Piedras:** Para aumentar la capacidad de evacuación de la presa se propone instalar la tercera turbina que fuera prevista originalmente, lo cual implica a su vez la construcción de la presa compensadora Las Piedras aguas abajo, cuyo diseño ya fuera desarrollado por AyEE S.E.
2. **Instalación de nuevo órgano de descarga en el sitio de la tercera turbina:** Para aumentar la capacidad de evacuación sin la necesidad de la estructura compensadora, se propone la instalación de otro dispositivo de descarga aprovechando el lugar destinado para la tercera turbina, sin impedir la futura implementación de la medida anterior.
3. **Refuerzo de los parapetos del coronamiento:** Esta medida consiste en reforzar los muros parapetos existentes, para que sean capaces de resistir el empuje del agua cuando se supera la cota de coronamiento y hasta ser sobrepasado, elevándose así el nivel de sobrevertido hasta la cota del parapeto.
4. **Reforzar la implementación del PADE:** El refuerzo de la implementación del PADE implica mejorar la coordinación con los municipios y promover planes de gestión del riesgo y organización a nivel municipal.
5. **Prevaciado en base a mediciones aguas arriba:** Esta medida consiste en manejar las crecidas efectuando un vaciado previo del embalse para retener un mayor volumen dentro del mismo; eso implica contar con un sistema de alerta que permita detectar caudales elevados aguas arriba de la presa.
6. **Ejecutar la sistematización del cauce aguas abajo:** Esta medida consiste en la ejecución de obras de readecuación del cauce, dragado del río y construcción de terraplenes de defensa, que permitirían una erogación normal mayor sin que se produzcan daños aguas abajo.

Habiendo definido las medidas, se recalculó el riesgo aplicando cada una en forma independiente y a su vez todas las posibles combinaciones.

Finalmente, las medidas propuestas se priorizaron combinando el coste de cada una de ellas y la reducción del riesgo lograda, utilizando para ello el indicador ACSLS, que expresa el costo (descontando el beneficio en reducción de riesgo) por cada vida estadística salvada.

Los resultados de priorización de medidas muestran que la más eficiente desde el punto de vista del riesgo sería el aumento de la cota de sobrevertido mediante el refuerzo de los muros parapetos, ya que con un bajo costo de implementación reduce notablemente la probabilidad de fallo de la presa.

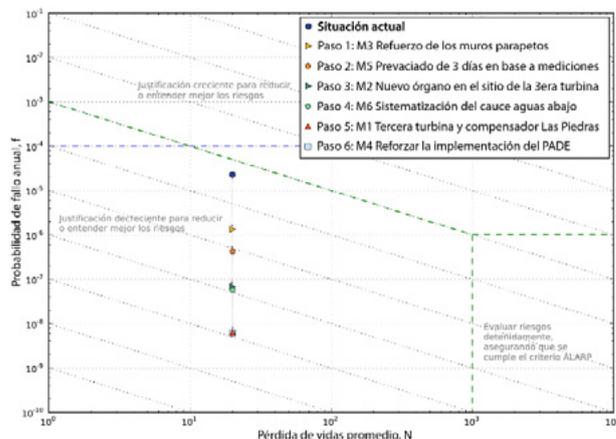


Figura 3.- Camino seguido de implementación de medidas en el gráfico de tolerabilidad del USBR.

A continuación, la siguiente medida a implementar sería operar el embalse con un prevaciado. Tras esta medida correspondería instalar la nueva válvula de descarga; esta medida es, luego del refuerzo del muro parapeto, la que más reduce la probabilidad de falla de la presa al aumentar la capacidad de erogación.

Luego se presenta la ejecución de la sistematización del cauce del río, y por último la colocación de la tercera turbina junto con la construcción de la presa compensadora. El refuerzo en la implementación del PADE no tiene efecto puesto que los tiempos de aviso a la población son suficientes para mantener al mínimo las tasas de mortalidad.

Conclusiones

Con el nivel de información disponible y las limitaciones inherentes al estudio realizado, el riesgo en el embalse y la presa de Ameghino ha quedado razonablemente caracterizado. Sin embargo, cabe destacar que, dado que de los 9 modos de fallo identificados en la presa hay 4 relacionados con las fallas y filtraciones presentes en el estribo derecho, se recomienda completar los estudios geológicos del estado del macizo que permitan evaluar el riesgo de la presa en este sector.

La comparación del riesgo incremental de la presa con las recomendaciones de tolerabilidad internacionales indica que, en su situación actual, cumpliría con las limitaciones al riesgo más exigentes del mundo. Si aun así se quisiera mejorar la situación de la presa en cuanto a riesgo, los resultados de priorización muestran que la medida más eficiente sería reforzar los muros parapetos del coronamiento. Con esta medida, se aumentaría la cota de sobrevertido, disminuyendo notoriamente la probabilidad de falla.

Referencias Bibliográficas

Central Water Commission CWC – Ministry of Water Resources India (2019). “Guidelines for Assessing and Managing Risks Associated with Dams”.

Serrano-Lombillo, A. Morales-Torres, I. Escuder-Bueno and L. Altarejos-García (2016). “A new risk reduction indicator for dam safety management combining efficiency and equity principles, Structure and Infrastructure Engineering”.

SPANCOLD – Comité Español de Grandes Presas (2012). “Análisis de riesgos aplicado a la seguridad de presas. Guía Técnica n°8, vol. 1”.

USACE – United States Army Corps of Engineers (2014). “Safety of dams - Policy and procedures. Engineering and design”.

USBR – United States Bureau of Reclamation (2011) “Dam Safety Public Protection Guidelines - A Risk Framework to Support Dam Safety Decision-Making”.

AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE LA SOBREELEVACIÓN DE SUPERFICIE LIBRE POR VIENTO EN LA LAGUNA MAR CHIQUITA, ARGENTINA

Pozzi Piacenza, Cecilia¹; Martino, Román^{1,2}; García, Carlos Marcelo^{1,2}; Rodríguez, Andrés^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).

E-mail: cecilia.pozzi.piacenza@unc.edu.ar

Introducción

La laguna Mar Chiquita (o Mar de Ansenúza) es el cuerpo salado endorreico más grande de Latinoamérica. Se ubica al NE de la provincia de Córdoba y SE de la provincia de Santiago del Estero (Argentina). En su gran extensión ha abarcado una superficie de más de 6.500 km² alcanzado su máximo desarrollo registrado en el año 2003 (con una profundidad media de 10 m), en la actualidad la superficie de la laguna se ha visto reducida en aproximadamente un 70%, por variaciones producidas por cambios cíclicos del sistema debidos a causas meteorológicas y antrópicas en la cuenca. En base a los patrones espaciales de variación de la superficie libre para distintas condiciones de viento (velocidad y dirección), en cortes transversales de niveles de superficie libre extraídos de los resultados de la modelación numérica se han determinado valores preliminares e inéditos correspondiente al coeficiente de fricción (Cd) inducido por el viento

Metodología

Las modelaciones numéricas de la hidrodinámica 2DH en el sistema lagunar (Pozzi Piacenza et al, 2006), han permitido caracterizar a gran escala la evolución de la circulación de las masas de agua identificando la acción del viento como factor forzante predominante. La batimetría produce un efecto significativo en los resultados numéricos obtenidos ya que tanto para la situación de viento norte como la de viento sur se reproducen dos macro vórtices que fueron observados también en las imágenes satelitales. En el modelado hidrodinámico del sistema se pudo observar también que la acción del viento produce la sobre elevación y descenso de los niveles de superficie libre en los sectores esperables. Sin embargo, las evoluciones espaciales de esos niveles de superficie libre a lo largo de la laguna presentan diferencias significativas si los vientos se dirigen al sector norte o al sur. La hipótesis que será analizada a continuación es que estos patrones se ven influenciados por la batimetría del cuerpo de agua que genera un cambio de pendiente y concavidades en los perfiles simulados de superficie libre y no linealidad de los mismos, aspecto no reportado en la bibliografía. Al observar los perfiles de las sobre elevaciones se registraron cambios de concavidad en los mismos, los cuales fueron analizados con un modelo simplificado de primer orden.

Para realizar el análisis se extrajeron del modelo numérico varios perfiles transversales para las direcciones e intensidades de viento analizadas. En la Figura 1 se muestra la ubicación de los perfiles a los fines de observar las características de la batimetría.

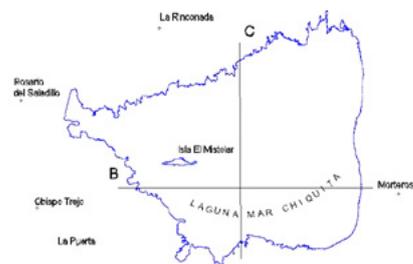


Figura 1.- Ubicación de algunos de los perfiles batimétricos extraídos

En la Figura 2 se observan los perfiles batimétricos.

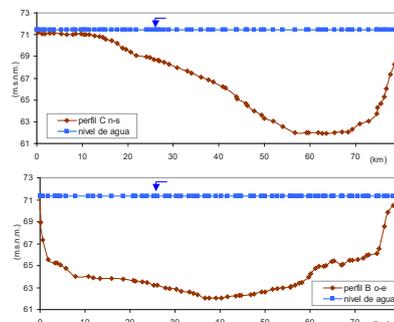


Figura 2.- Perfil B (dirección este –oeste) Perfil A (dirección norte-sur)

A partir de un modelo matemático simplificado utilizando la Ecuación de Saint Venant y la de tensión de corte por viento, se ha encontrado una relación para determinar, en base a los datos de sobre elevación del modelo y de la función de forma de los perfiles transversales, valores del coeficiente de rozamiento por corte debido a la acción del viento (o coeficiente de drag) para las distintas situaciones modeladas

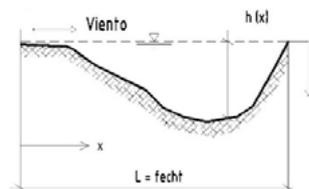


Figura 3.- Croquis simplificado de la acción del viento

$$S = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0,00012 C_D \frac{v_e^2}{h(x)} \quad [1]$$

Donde; S sobre elevación, ε es la elevación de la superficie libre cambiando con la longitud del perfil x, v_e velocidad del viento, C_D coeficiente de Drag, h(x) función simplificada del perfil de fondo de la laguna en la dirección del viento.

Resultados

Para las modelaciones de viento de dirección norte, se presentan los resultados de las sobre elevaciones que se producen en la costa sur de la laguna por efecto del viento sur y los descensos del nivel de laguna en la costa norte en los perfiles transversales de la laguna y los valores máximos registrados en todo el dominio de simulación para las dos intensidades modeladas. En la Tabla 2 se presenta para las simulaciones de viento de dirección sur, los resultados de las sobre elevaciones (que en este caso modelado se traducen en el avance de la laguna, en la costa norte, a la zona de bañado), los descensos del nivel de agua en la costa sur de la laguna en los perfiles transversales de la laguna y los valores máximos registrados en todo el dominio de simulación para las dos intensidades modeladas.

Tabla 1.- Sobreelevaciones y descensos en perfiles de la laguna para intensidad de viento de dirección norte

intensidad viento norte	costa sur		costa norte	
	Sobreelevación [m]		Descenso [m]	
	perfil C	máx campo	perfil C	máx campo
2 m/s	0,03	0,03	-0,10	-0,15
5 m/s	0,16	0,28	-0,36	-0,62

Tabla 2.- Sobreelevaciones y descensos en perfiles de la laguna para intensidad de viento de dirección sur.

intensidad viento sur	costa norte		costa sur	
	Avance s/bañado [m]		Descenso [m]	
	perfil C	máx campo	perfil C	máx campo
2 m/s	0,01	0,08	-0,08	-0,10
5 m/s	0,32	0,55	-0,25	-0,35

Al observar los perfiles transversales se puede apreciar el cambio de concavidad de los mismos al cambiar la dirección del viento actuante.

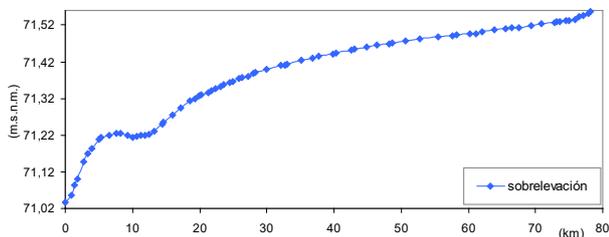


Figura 2.- Perfil sobreelevación viento dirección norte

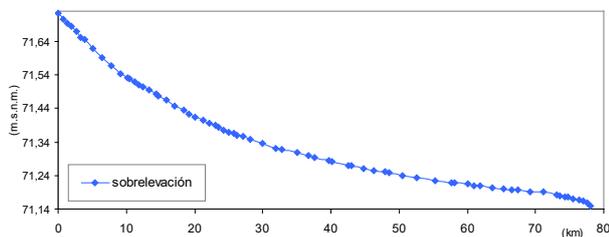


Figura 2.- Perfil sobreelevación viento dirección sur

Por ejemplo, para el caso de viento de dirección sur de dirección sur de 18 km/h, se construyó una función lineal simplificada para el perfil de fondo batimétrico y una función de tipo logarítmica para la sobreelevación, en base a las que se calculó el valor de C_D en base a la formulación [1].

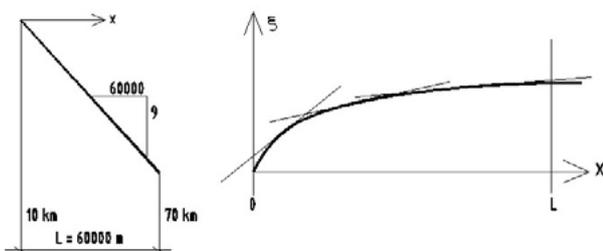


Figura 2.- Esquema del perfil del fondo de la laguna (izq.) y de la superficie libre (der.). Vto Sur perfil C

Se presentan a continuación los resultados del coeficiente de Drag (C_D) para dos de las intensidades de viento modeladas, utilizando los datos obtenidos del perfil batimétrico C.

Tabla 1.- Valores de C_D para la Laguna Mar Chiquita

C_D	Perfil C	
	Viento Norte	Viento Sur
2 m/s	0,0029	0,00096
5 m/s	0,0017	0,0034

Como se observa existe una amplia variabilidad en los resultados, sin embargo, la mayoría de ellos se encuentran dentro del rango de coeficientes de rozamiento publicados para otros sistemas lagunares. En algunos lagos, como el presentado en Overmen, 2021 se encontraron valores similares a los encontradas para la Laguna Mar Chiquita.

En el caso de la Laguna Mar Chiquita se observa que el C_D pareciera ser función de la magnitud e intensidad del viento, de la dirección del viento y de los cambios en la batimetría.

Conclusiones

Del análisis de los perfiles de sobreelevación obtenidos de acuerdo a las modelaciones numéricas se ha detectado una influencia marcada de la batimetría en el desarrollo de la sobreelevación. Se han observado también cambios en la concavidad de los perfiles de sobreelevación entre las direcciones norte y sur, afectados por la batimetría.

En el caso de la Laguna Mar chiquita se observa que el C_D es función de la magnitud e intensidad del viento, de la dirección del viento y de los cambios en la batimetría.

Actualmente, la utilización de sensores fijos no aportan el dato de variabilidad que se produce en el perfil de la superficie libre en el desarrollo del dominio y dadas las condiciones meteorológicas que se producen dentro de la laguna no es factible medir dentro de la laguna con la aparatología disponible actualmente y bajo las condiciones de oleaje que se generan el sector. Por ello es que las mediciones asociadas a los resultados que se obtengan con modernos sensores remotos permitirán generar un avance mayor en el conocimiento.

Los resultados presentados permiten realizar una primera aproximación para la determinación de los rangos de variabilidad del coeficiente de rozamiento producido por el viento constituyendo éste un estudio inédito para este sistema lagunar.

Referencias Bibliográficas

- Koccyigit, M. B. and Falconer, R. A.** (2004). Modelling of wind-induced currents in water based. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management 157. Issue WM4 pages 197-210..
- Overmeen, S.** (2021). "Determining the wind drag coefficient in hydrodynamic modelling of a shallow, fetch-limited water system: A case study in Friesland, The Netherlands", MSc Thesis. University of Twente.
- Paugam, Caroline; Sous, Damien; Rey, Vincent; Meulé, Samuel; Faure, Vincent; Boutron, Oliver; Luna-Laurent, Emile and Migne, Emmanuelle** (2021). Wind tides and surface friction coefficient in semi-enclosed shallow lagoons. Estuarine, Coastal and Shelf Science, elsevier, In Press. Hal-03230566.
- Pozzi, C.; Plencovich, G.; Corral, M.; Pagot, M.; Hillman, G.; Rodriguez, A.; Curto, E.; Bucher, E.H.** (2006). Cap 6: "Circulación de la aguas superficiales en la Laguna Mar Chiquita". Libro: Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita. Enrique H. Bucher. Editor. Publicación invitada para el Boletín y Misceláneas de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina. Pp: 103-115paginas 342. ISBN 987-98313-6-5 (ISBN 13: 978-987-98313-6-6). Libro: Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita.

ADECUACIÓN DEL EJE CANAL ALVARADO. JUJUY. ARGENTINA: UN CAMBIO DE PARADIGMA EN EL ABORDAJE INTEGRAL DE DESAGÜES PLUVIALES SOSTENIBLES

Prieto Villarroya, Jorge¹; Borsellino, Marcelo¹; Moreno, Diego²; Álvarez Padilla, Juan Cruz³; Vera, Guillermo³; Borsellino, Lucio³; Chalabe, Susana⁴; Sadir, Guillermo⁴

¹ Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT – UNSE. Santiago del Estero, Argentina

² Coord. General de Obras Públicas Municipalidad de San Salvador de Jujuy. Jujuy, Argentina

³ Flumen Ingeniería SRL. Santiago del Estero. Argentina

⁴ Dirección de Recursos Hídricos de la provincia de Jujuy. DRH Jujuy. Argentina
jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar irhi.fceyt.unse@gmail.com flumen.ing.srl@gmail.com

Introducción

Los drenajes pluviales con canales a cielo abierto desempeñan un papel fundamental en la localidad de Jujuy debido a sus condiciones climáticas caracterizadas por una temporada de lluvias intensas y periódicas, lo que resulta en una alta precipitación pluvial. Los canales a cielo abierto actúan como vías principales para la captación y el transporte de las aguas pluviales, evitando inundaciones. Además, estos canales también desempeñan un papel importante en la protección de la infraestructura, aliviando la carga sobre los sistemas de drenaje y evitando daños a las propiedades.

El Canal Alvarado (Figura 1) forma parte del sistema de drenaje de San Salvador de Jujuy, siendo uno de los más importantes captadores de escorrentías pluviales. El canal, en su mayor extensión, es a cielo abierto con algunos tramos cubiertos o con alcantarillas sobre las principales vías de acceso al centro de la ciudad.



Figura 1.- Cuenca del Canal Alvarado en el entramado urbano de Jujuy

Objetivos

El presente trabajo contemplaba originalmente los estudios Hidrológicos e Hidráulicos para la readecuación y acondicionamiento hidráulico del Canal para una correcta evacuación de las aguas de origen pluvial.

No obstante lo anterior, finalizado el componente original estrictamente ingenieril, el proyecto fue redefinido, con el nuevo objetivo de garantizar la apropiación del espacio público mediante una visión o mirada integral.

El espacio público se puede interpretar como un lugar para toda la población o, cuando hay falta de definición y apropiación, un espacio de nadie. La falta de interés por utilizar estos espacios tiene varias razones como su difícil acceso por la ausencia de aceras, su saturación con basura, la falta de mobiliario urbano, su mal mantenimiento y la percepción de inseguridad. Son los círculos viciosos de la apropiación: cuando no se mantienen los

espacios públicos, la gente los visita menos y cuando hay menos gente, se siente más insegura, lo cual hace que los visitan aún menos. Este corredor multifuncional, proporciona una serie de funciones interconectadas, como la recreación, la movilidad no motorizada, la reforestación y la protección ambiental

El Proyecto resultante, enriqueció sus objetivos iniciales incorporando nuevos objetivos (Figura 2) alineados con el Plan Estratégico del Gran Jujuy y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro de la agenda 2030 para mitigar el Cambio Climático a nivel mundial:

- 1 Reducción del Riesgo Hídrico mediante la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)
- 2 Fomento de la Movilidad Sustentable
- 3 Movilidad peatonal universal y con perspectiva de género
- 4 Acceso a los servicios básicos
- 5 Acceso universal a los espacios públicos

Figura 2.- Agenda 2030. Nuevos Objetivos de Desarrollo del Proyecto.

Enfoque Ecosistémico del Drenaje Urbano

Los ecosistemas pueden proporcionar múltiples beneficios a diversos beneficiarios, al tiempo que apoyan la protección de la base de recursos naturales. Esto significa que la gestión de los ecosistemas es la ruta más prometedora para abordar los desafíos sociales, al asegurar el papel de la biodiversidad en el “statu quo” de otros sectores, aumentando de forma simultánea la resiliencia y reduciendo la vulnerabilidad del medio ambiente y las personas.

La Planificación con un Enfoque Ecosistémico es un concepto fundamental del Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CDB), que la define como “una estrategia eficaz para la gestión integrada de tierras, extensiones de aguas y recursos vivos por la que se promueve la conservación y utilización sostenible de modo equitativo de los recursos naturales”.

Este enfoque reconoce que los seres humanos, y su diversidad cultural, son un componente integral de muchos ecosistemas. Su misión es garantizar la vida de los ecosistemas a largo plazo implementando un desarrollo humano sostenible.

La adaptación basada en ecosistemas puede ser implementada en proyectos específicos o como parte de programas de adaptación y desarrollo, a diferentes escalas geográficas (local, regional y nacional) y en diferentes plazos (corto, mediano y largo).

Resultados Adecuación Hidrológica e Hidráulica

Para la simulación hidráulica fue necesario realizar previamente un modelo hidrológico para la obtención de caudales de diseño. Teniendo en cuenta el entorno urbano, se eligió el modelo hidrológico Storm Water Management Model SWMM. La definición de cuencas se realizó combinando un Modelo Digital de Elevaciones de 5.0 m de resolución (Instituto Geográfico Nacional) con la cartografía de desagües e imbornales de la Municipalidad. El análisis de precipitaciones se realizó empleando la información de la estación de Jujuy Aeropuerto SMN, con una serie de datos diarios de 57 años, obteniendo una curva IDF para 10, 25 y 50 años de periodo de retorno. El Proyecto, como ya se adelantó adopta un Periodo de Retorno de 10 años, rango aceptable dadas las condiciones del área servida por el desagüe, siendo el caudal acumulado al final del tramo de 10 m³/s

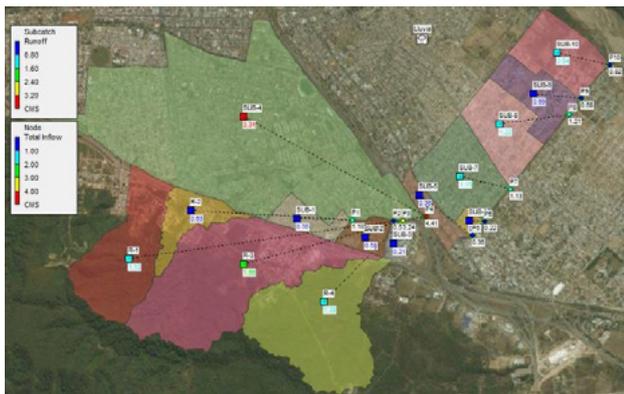


Figura 2.- Modelo Hidrológico para Periodo de Retorno de T = 10 años

El Estudio Hidráulico toma la información arriba indicada y define la geometría del modelo Hec-RAS 1D en régimen permanente del Canal Alvarado (Figura 3)

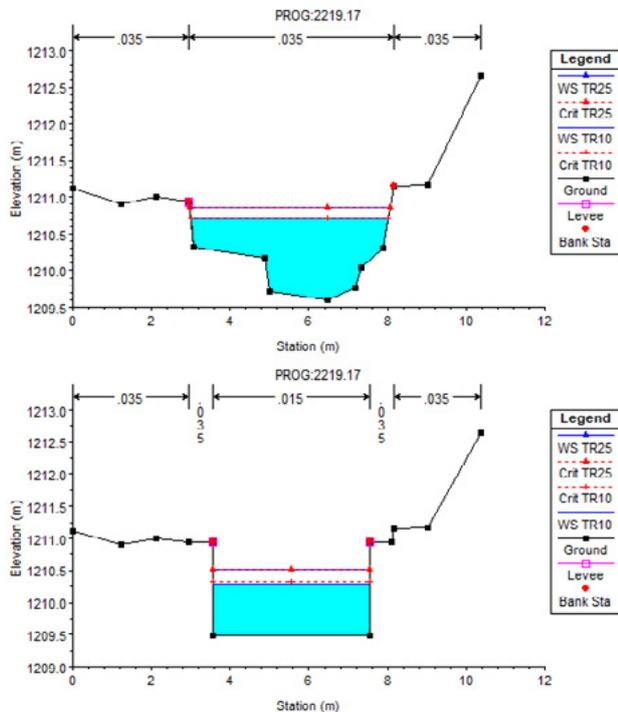


Figura 3.- Comparación situación previa (sup) y Proyectada (inf)

El modelo fue desarrollado en base a las 47 secciones transversales a lo largo de toda la traza del canal hasta su descarga en el Río Grande. Además, se añadieron dos secciones

transversales en el cauce del Río Grande distanciadas 80,0m desde la sección final del Canal Alvarado, con el fin de analizar el comportamiento del cuerpo receptor ante la descarga de los caudales analizados asociados a los diferentes periodos de retorno. También se introdujeron las estructuras hidráulicas presentes a lo largo del tramo en estudio. Las mismas consisten en cinco alcantarillas de sección rectangular con dos vanos y dimensiones variables.

Resultados Adecuación ODS 2030

El espacio público es crucial para el bienestar de la comunidad, pero a menudo enfrenta problemas de falta de mantenimiento, dificultad de acceso, falta de mobiliario urbano, acumulación de basura y percepción de inseguridad. Estos problemas generan un círculo vicioso en el que la falta de uso y mantenimiento de los espacios públicos lleva a una disminución en su visita y, a su vez, a un aumento de la percepción de inseguridad. El enfoque integral busca romper este ciclo al aprovechar el espacio público para múltiples funciones interconectadas, como la recreación, la movilidad no motorizada, la reforestación y la protección ambiental.

- (1) Reducción del Riesgo Hídrico mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN): Acondicionamiento Hidráulico, Cordones, cunetas, badenes y forestación de corredores verdes.
- (2) Fomento de Movilidad Sustentable: Ampl. Red de ciclovías.
- (3) Movilidad peatonal Universal y con Perspectiva de Género: Parapetados peatonales, mejora de iluminación y permeabilidad.
- (4) Acceso a Servicios Básicos: Regularización dominial ReNaBap N° 3182, apertura de calles, rellenos, agua y cloaca
- (5) Acceso Universal a los Espacios Públicos: Mobiliario urbano, salón de usos múltiples, anfiteatro, iluminación de polideportivo.

Conclusiones

El proyecto se basó en la combinación de enfoques ingenieriles y de desarrollo urbano sostenible. Se realizaron estudios hidrológicos e hidráulicos para garantizar la funcionalidad del canal en términos de drenaje pluvial. Sin embargo, se integraron nuevos objetivos al proyecto para abordar la apropiación del espacio público y los desafíos socioeconómicos. Se aplicaron conceptos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para reducir el riesgo hídrico y se promovió la movilidad sustentable y la accesibilidad universal.

El proyecto resultante logró enriquecer sus objetivos iniciales al incorporar elementos clave de desarrollo sostenible y alinearse con los ODS. Se estableció un corredor multifuncional a lo largo del Canal Alvarado que fomenta la recreación, la movilidad no motorizada, la reforestación y la protección ambiental. Además, se impulsó la movilidad peatonal universal y se promovió la igualdad de género en el acceso a los espacios públicos.

Referencias Bibliográficas

- CEPAL, (2020). *Construir un nuevo futuro: una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas, Período de Sesiones No.38, ISBN:9789211220520
- Ven Te Chow. (2005). *Hidráulica de Canales Abiertos* (1a. Ed.)". Santafé De Bogota. Editorial Mcgraw-Hill Interamericana
- Rosman L. (2017) – “Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics” – Cincinatti: Office Of Research And Development

SISTEMATIZACIÓN DE LOS ESCURRIMIENTOS EN EL SECTOR SUR DE LA CIUDAD DE RÍO COLORADO

Adán Quisbert¹, Lucas Mena², Ana Rydzewski¹ y Guillermo Mena^{1,3}

¹Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

²Municipalidad de Río Colorado, Río Negro, Argentina.

³Grupo de Investigación en Hidráulica UTN FRLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: adanquisbert@gmail.com, lucasdamianmena90@gmail.com, arydzewski@ina.gov.ar, omena@ina.gov.ar

Introducción

En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un plan federal de asistencia a municipios, con el objetivo de elaborar documentación, de obras de macro drenaje urbano. En este contexto, se ha llevado a cabo un estudio en la ciudad de Río Colorado, ubicada en la provincia de Río Negro.

En los últimos años la zona sur de la ciudad ha tenido un importante crecimiento poblacional, y se ve afectada recurrentemente por inundaciones y anegamientos debido principalmente a la falta de planificación de los desagües pluviales.

Se propone en este trabajo la implementación de un conjunto de obras de macro drenaje destinadas a sistematizar los desagües y ordenar los escurrimientos del sector, para los que se prevé una descarga directa al Río Colorado.

Zona de estudio

La ciudad de Río Colorado se emplaza en la margen sur del curso de agua homónimo, en un valle fluvial (Figura 1). El área urbanizada al 2022 representa unas 465 hectáreas. Respecto de su conectividad, una de las principales vías de acceso es la ruta nacional N° 22 que vincula la localidad con la ciudad de Bahía Blanca y con la región del Valle Medio y Alto Valle. Además, cuenta con una conexión ferroviaria a través del Ferrocarril General Roca (FCGR).



Figura 1.- Sector urbano de la ciudad de Río Colorado.

La zona de estudio pertenece a la cuenca del río Colorado, donde la planificación y gestión de los recursos hídricos de la cuenca están a cargo del Comité interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO). A su vez, a 300 km aguas arriba, se encuentra el dique Casa de Piedra que regula los caudales del río Colorado y cuyo objetivo principal es controlar y atenuar las crecidas del río, generar energía hidroeléctrica y habilitar áreas de riego.

Diagnóstico de la situación actual

El sector urbano ubicado al sur de las vías del FCGR desagua sus excedentes hídricos hacia un ex canal de riego, mediante un conjunto de canalizaciones ejecutadas sin una adecuada planificación. El esquema de desagües pluviales existente fue construido hace más de cuatro décadas, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales de un sector de la ciudad – en ese entonces era predominantemente rural – hacia el ex canal de riego (Figura 2).

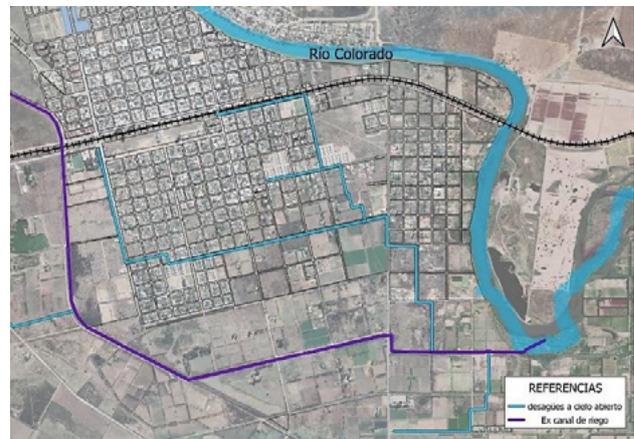


Figura 2.- Red de canalizaciones pluviales existentes.

En las últimas décadas el crecimiento de la población urbana ha sido tan importante, que aquellos desagües a cielo abierto planificados para otras condiciones de servicio hoy día ocasionan importantes inconvenientes durante los eventos de precipitación. Estos canales son de sección irregular y variable a lo largo de la traza. Tienen muy escaso mantenimiento con presencia de vegetación y acumulación de residuos sólidos urbanos. Adicionalmente las pendientes disponibles de estos canales hacia la descarga son escasas. Este conjunto de características provoca escurrimientos lentos, anegamientos y desbordes, debido a la falta de capacidad de los canales.

Con el objetivo de independizar los escurrimientos provenientes de la zona urbana de aquellos que se originan en la zona rural cercana a la ciudad, se optó por estudiar una alternativa con descarga del sector en forma directa al río Colorado. La traza de desagües propuesta y la cuenca de aporte al nuevo punto de descarga – denominada cuenca Sur – se observa en la figura 3.



Figura 3.- Traza propuesta y límites de la cuenca Sur.

Métodos de evaluación

Para analizar el macro drenaje urbano se simuló la cuenca con el modelo de gestión de aguas pluviales EPA SWMM, siendo este un modelo numérico que permite simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de un sistema de drenaje urbano. En la figura 4 se muestra la interfaz del modelo SWMM para el esquema de simulación propuesto:

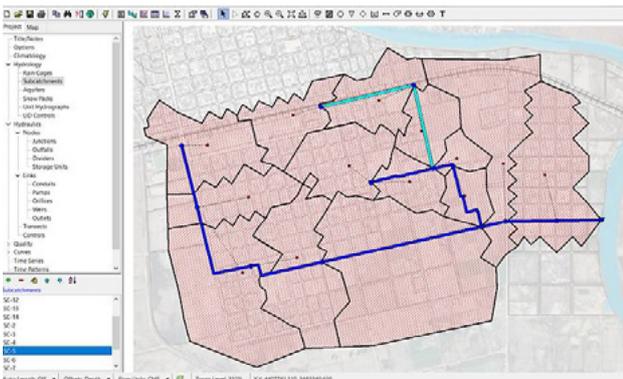


Figura 4.- Interfaz del modelo SWMM.

Obras propuestas

Se han proyectado obras hidráulicas para sistematizar los escurrimientos en la zona sur de la ciudad de Rio Colorado, las que consisten en la limpieza, perfilado y revestimiento de canales, y obras de entubamiento. Complementariamente a las obras descritas, se contempla la reconstrucción de alcantarillas existentes y la construcción de nuevas alcantarillas de cruce tanto para peatones como para vehículos. Y finalmente se contempla la construcción de una obra para la descarga en el río Colorado compuesta por compuertas tipo clapeta o antirretorno (Figura 5).

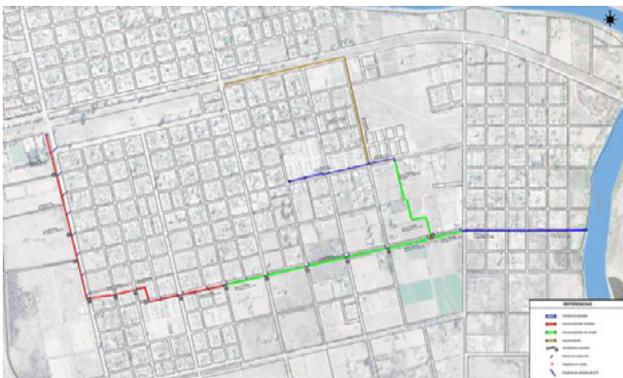


Figura 5.- Obras proyectadas.

Resultados obtenidos

Se realizó la modelación mediante software, para una lluvia de diseño de recurrencia $T_R = 10$ años y 3 horas de duración (Mena, 2022). Se utilizó el método de bloques alternos en la tormenta de diseño, el modelo de infiltración de CN del SCS y el traslado de onda dinámica. Mientras que las dimensiones de los conductos y/o canales se obtuvieron modelando las distintas alternativas y ajustando las dimensiones utilizando el software EPA SWMM, hasta llegar a las obras finalmente propuestas. Se puede observar en la figura 6 que los tramos proyectados tienen una capacidad de conducción adecuada y no presentan desbordes frente al pico de la lluvia de diseño.

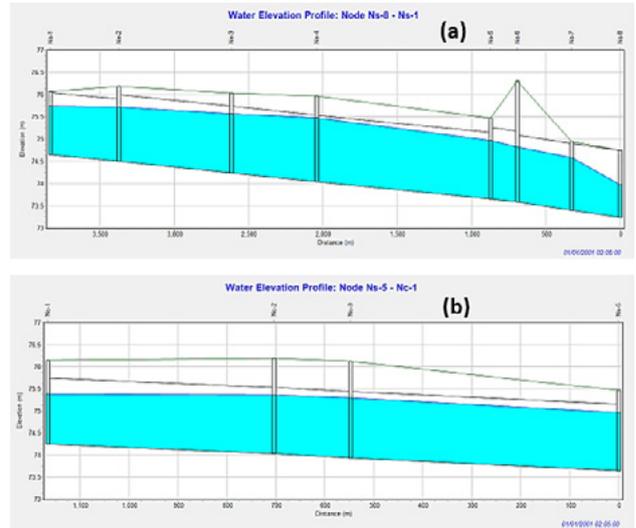


Figura 6.- Perfil longitudinal hidráulico Sur (a) y Centro (b).

Conclusiones

Las obras propuestas representan una mejora a la situación actual de los desagües de la cuenca, ya que reducirán los anegamientos y desbordes que generan los eventos de precipitación.

Es importante pensar y ejecutar inicialmente obras de macro drenaje, ya que sumadas a las futuras obras de micro drenaje (obras menores en las subcuencas que componen la cuenca Sur), contribuirán a garantizar una gestión más eficiente de los sistemas de drenaje pluvial, y brindarán una mayor seguridad y calidad de vida a la comunidad.

Bibliografía

Mena, L.D. (2022). "Determinación de las curvas IDF para la ciudad de Rio Colorado". *Municipalidad de Rio Colorado, Rio Negro*.
 USEPA [The U.S. Environmental Protection Agency] (2023). *EPA - Storm Water Management Model Version 5.2.3*

PROGRAMA DE ACCESO AL AGUA, EL SANEAMIENTO Y LA HIGIENE EN ZONAS RURALES DISPERSAS

José María Regueira, Rolando Buccini y Franco Maestri

Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, Argentina
jmregueira@hotmail.com

Introducción

El presente documento se centra en la presentación del “Programa de acceso al agua, el saneamiento y la higiene en zonas rurales dispersas” aprobado por la Resolución 37/2022 del Ministerio de Obras Públicas de la Nación.

El objetivo del programa es reducir las brechas de acceso al agua, saneamiento e higiene de quienes habitan en zonas rurales dispersas, con incidencia en los actores de la agricultura familiar campesina e indígena. El acceso a servicios de agua potable y saneamiento adecuados es fundamental para el bienestar y el desarrollo de la población, así como también para la preservación del ambiente.

La implementación se lleva adelante a través de cuatro componentes, descritos posteriormente, que permiten identificar las necesidades de la población y proponer soluciones adecuadas a la ruralidad dispersa. La ejecución de los proyectos se realiza a través de convenios de asistencia financiera a municipios, provincias u otros entes, los cuales tendrán a cargo la contratación de la obra mediante el proceso licitatorio que dispongan según la legislación vigente.

Antecedentes y Justificación

La meta 6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se refiere a lograr el acceso universal y equitativo al agua potable y segura para todos. Esto implica garantizar que todas las personas tengan acceso a agua limpia y segura para su uso diario. Por otro lado, la meta 6.2 se centra en alcanzar el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos. Esto implica asegurar que todas las personas tengan acceso a instalaciones de saneamiento adecuadas, como retretes, y promover prácticas de higiene adecuadas para prevenir enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento. En ambos casos se consideran las áreas urbanas, por lo que desde la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) se propuso incorporar como indicadores los valores de acceso en áreas rurales, tanto agrupadas como dispersas,

Como se observa en la figura 1, los niveles de acceso a agua y saneamiento varían considerablemente según el tipo de población del que se trate. En los casos urbanos los valores son relativamente altos y en la ruralidad dispersa es ligeramente menor. Sin embargo se observa una gran caída en estos indicadores cuando se trata de ruralidad dispersa y aún más para los casos de los barrios populares.

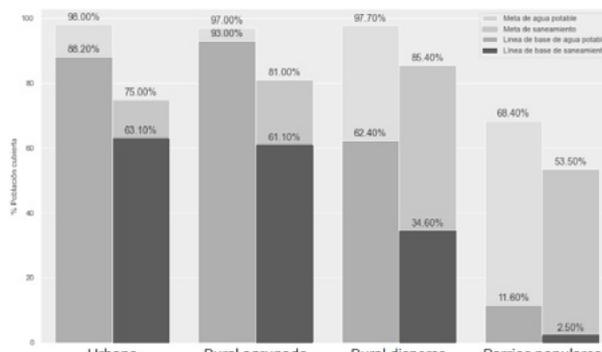


Figura 1: Líneas de base de acceso a agua y saneamiento, y metas a 2030, según tipo de población.

A los fines de identificar las regiones prioritarias para la localización de la inversión en el marco del presente Programa se utilizará la información emanada del mapa de vulnerabilidad sanitaria elaborado por la DNAPyS, el cual permite identificar las áreas del país que requieren una intervención más inmediata en materia de agua y saneamiento.

El análisis de vulnerabilidad permitió determinar que las zonas críticas están concentradas en el norte argentino, principalmente en el oeste de Chaco y Formosa, este de Salta y norte de Santiago del Estero. La región del Norte Grande (NOA y NEA) presenta los mayores niveles de vulnerabilidad del país y a su vez tiene un mayor porcentaje de población en zonas rurales que el resto del país.

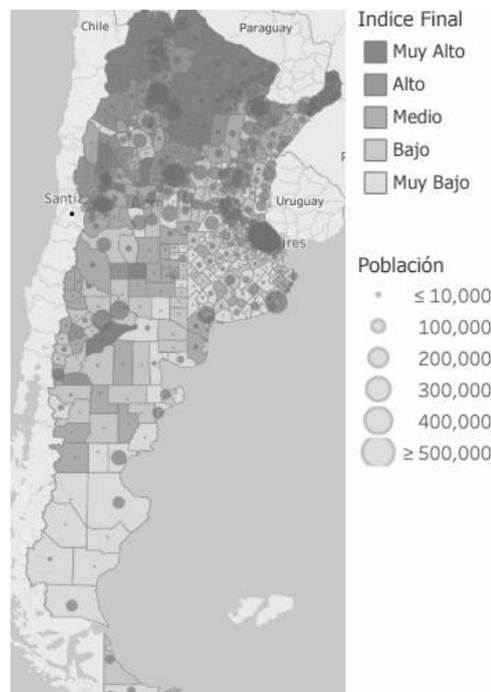


Figura 2: Mapa de vulnerabilidad, elaborado por la Dirección Nacional de Transparencia.

Componentes del programa

I) *Relevamiento*: Ante la necesidad de contar con información actualizada sobre las condiciones de agua y saneamiento en zonas rurales dispersas se contempla la realización de relevamientos de campo. Estos contribuirán en la identificación de las problemáticas en el acceso al agua segura, el saneamiento adecuado y la higiene para las comunidades y familias beneficiarias de cada proyecto enmarcado en el presente Programa.

Dichos relevamientos podrán ser realizados tanto por dependencias de los gobiernos nacional, provincial o municipal, así como por universidades nacionales u organizaciones de la sociedad civil contratadas a tal fin. Los datos serán relevados utilizando la aplicación BINAS 2.0 que permite la carga offline de la información a la Base de Información Nacional de Agua y Saneamiento, administrada por Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento.

II) *Dotación de Infraestructura*: El segundo componente consiste en la ejecución de obras de sistemas de gestión familiar o comunitaria para el acceso al agua y al saneamiento seguros. Se contemplan diferentes tipologías y están sujetas acorde a particularidades geográficas, ambientales y sociales.

Agua segura

- Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia (SCALL): permite aprovechar el agua meteórica, siendo especialmente útil en familias aisladas pertenecientes a zonas con agua subterránea de mala calidad o con acuíferos en profundidades excesivas. El diseño del modelo es definido a partir de la caracterización hidrometeorológica de la región donde serán instalados, estimando una capacidad de almacenamiento necesaria para el consumo del grupo familiar durante los meses de sequía.
- Sistemas de captación, conducción y almacenamiento de aguas superficiales: permiten aprovechar cursos de agua superficiales mediante una obra de captación, conducción y almacenamiento. Requiere la evaluación de calidad de agua de la fuente para determinar las características del sistema a construir.
- Sistema de extracción, almacenamiento, desinfección y distribución de aguas subterráneas.

Saneamiento seguro

- Sistemas de baños secos
- Sistemas de arrastre hidráulico sin producción de lodo
- Sistemas de inodoro con arrastre hidráulico

III) *Talleres de capacitación en gestión del agua, el saneamiento y la higiene*: la mayoría de los sistemas propuestos tienen la particularidad de estar gestionados y mantenidos por las familias beneficiarias. A fin de promover la sostenibilidad de los proyectos y fomentar la apropiación de las tecnologías e infraestructuras instaladas, se contempla la implementación de tareas de capacitación de las familias y comunidades beneficiarias a través de la colaboración y articulación con gobiernos municipales, organizaciones de la sociedad civil y organizaciones comunitarias.

IV) *Mesa de articulación interinstitucional*: el Ministerio de Obras Públicas generará una mesa de articulación interinstitucional para la coordinación e intercambio de información estadística, de recursos y políticas con organismos internacionales, nacionales y subnacionales.

Resultados

En el tiempo de desarrollo del programa se encuentran las siguientes obras en cartera o en desarrollo, divididas entre financiamiento nacional y financiamiento internacional.

En el caso de las primeras, se trata de 29 proyectos, distribuidos en 5 provincias y en 28 localidades, con más de 1217 familias beneficiarias. Estas obras se encuentran resumidas en la tabla 1.

Tabla 1: Obras con financiamiento nacional

Provincia	Familias beneficiarias
Chaco	1
Corrientes	2
Misiones	13
Santiago del Estero	9
Tucumán	4

Por otro lado, las obras de financiamiento internacional se encuentran resumidas en las tablas 2 y 3. En el caso de la primera, a la fecha, se encuentra en proceso de firma del contrato. Son obras distribuidas en 5 provincias, con aproximadamente 4515 familias beneficiarias.

Tabla 2: Obras del Programa Agua Segura Para Comunidades Rurales Dispersas (CAF)

Provincia	Familias beneficiarias
Chaco	400
Formosa	600
Santiago del Estero	1800
Salta	700
Tucumán	150

Tabla 3: Proyecto Agua segura en comunidades indígenas de la provincia de Salta (Préstamo BID N°2776)

Provincia	Familias beneficiarias
Salta	865

Conclusiones

La ejecución de obras públicas de agua y saneamiento en zonas rurales dispersas requiere un enfoque especializado y diferente, ya que los mecanismos tradicionales no necesariamente se adaptan a las condiciones de estos territorios. Por otro lado, es una oportunidad de promover la participación de empresas y organizaciones locales, con contratación de mano de obra local, e incentivando la participación de las mujeres en todas las etapas del proyecto para incorporar la perspectiva transversal de género. Para llevar adelante estos proyectos es necesario y valioso articular con los gobiernos locales, así como establecer mecanismos para fomentar la apropiación de la infraestructura por parte de los beneficiarios. Es prioritario y urgente abordar estas necesidades básicas de los sectores más desfavorecidos, ya que el acceso al agua y el saneamiento son derechos humanos fundamentales. Para ello, y considerando la urgencia que estos territorios presentan, se deben buscar metodologías y gobernanza tales que agilicen la implementación cuando los procesos tradicionales no sean lleguen a tiempo.

METODOLOGÍA PARA PRONÓSTICO DE NIVELES DE EMBALSE MEDIANTE UNA TÉCNICA DE MACHINE LEARNING

Exequiel Santucho y Flavia Bazzano

Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
E-mail: esantucho@herrera.unt.edu.ar ; fbazzano@herrera.unt.edu.ar

Introducción

En este trabajo se abordan aspectos para la gestión eficiente de embalses y su importancia para satisfacer objetivos como el suministro de agua y el control de crecidas. La anticipación de cambios en los niveles de embalse es crucial para tomar decisiones estratégicas.

La inteligencia artificial ha permitido el desarrollo de diversas técnicas de pronóstico para hidrología, demostrando su confiabilidad y mejorando con la longitud de la serie de datos de análisis (Jothiprakash y Magar, 2012; Seo et al., 2015; Fatichi y Vivoni, 2016; Marcais y Dreuzy, 2017; Yang et al., 2017).

El estudio se realiza utilizando datos diarios de niveles del embalse El Cadillal, ubicado al norte de San Miguel de Tucumán, Argentina, en el período 1974-2001. Se comparan los pronósticos obtenidos mediante el enfoque clásico de modelado autorregresivo (ARIMA) con modelos modernos basados en inteligencia artificial, específicamente, la librería XGBoost en Python.

Metodología

Con los avances en las técnicas estadísticas y de aprendizaje automático, los modelos que se basan en información recopilada han llamado la atención debido a su sólida capacidad de aprendizaje y su idoneidad para modelar procesos complejos que no siguen una línea recta (Yaseen *et al.*, 2015). En el ámbito de los estudios de predicción meteorológica e hidrológica, técnicas como los modelos autorregresivos (AR, ARMA, ARIMA), redes neuronales artificiales (ANN), redes neuronales recurrentes (RNN), regresión de vectores de soporte (SVR), programación genética, perceptrones multicapa (MLP), sistemas de inferencia neurodifusos adaptativos y memorias a corto plazo (LSTM) han demostrado proporcionar resultados satisfactorios. Para lograr un rendimiento óptimo en modelos basados en datos, la selección y el procesamiento adecuados de los datos de entrada desempeñan un papel fundamental (Le y Lee, 2019). Por otra parte, las propiedades estadísticas de las series de datos derivadas del análisis de componentes principales y de la correlación pueden ser útiles para identificar las variables explicativas.

El objetivo principal de este trabajo es investigar el potencial de técnicas modernas de tratamiento de datos, para realizar pronósticos basados en inteligencia artificial, puntualmente en modelos de machine learning. De esta manera se plantea la comparación entre un modelo autorregresivo clásico (ARIMA) con un modelo de machine learning propuesto con la librería XGBoost (Chen y Guestrin, 2016), a fin de realizar pronósticos diarios de nivel de embalse.

Un modelo autorregresivo de orden p es un modelo en el que una determinada observación (en este caso el nivel de embalse) es predecible a partir de la consideración de p observaciones precedentes, más un impulso aleatorio independiente. Matemáticamente, estos modelos tienen la forma:

$$\hat{y}_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \epsilon \quad [1]$$

en donde \hat{y}_t es la variable dependiente (nivel de embalse a pronosticar) e $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$ son las variables independientes (niveles de embalse históricos) y ϵ es el error que

representa perturbaciones no explicadas por el modelo. En este caso, las variables independientes son los valores de la misma variable (de aquí el nombre de *auto*), pero en períodos anteriores ($t-1, t-2, \dots, t-p$), donde p es el orden del modelo. El modelo recibe el nombre de autorregresivo porque se asemeja a la ecuación de regresión, que es similar a [1].

Por otra parte, la resolución del problema con la librería XGBoost, implica el uso de una metodología de regresión, de tipo supervisada, que aplica el algoritmo de gradiente de árboles reforzado. XGBoost minimiza una función objetivo regularizada de pérdida convexa, construida con la diferencia entre las variables calculadas y las de objetivo, y unos términos de penalización para las normas de tipo L^1 y L^2 a fin de balancear la respuesta del modelo. El entrenamiento continuo de manera iterativa agrega nuevos árboles que predicen los residuos o errores de árboles anteriores que luego se vuelven a combinar con árboles anteriores para hacer la predicción final. Sin embargo, se conoce que el modelo XGBoost se emplea para datos organizados de manera tabular, por lo que no podría aplicarse a la serie temporal de niveles de embalse sin transformaciones adicionales. De esta manera, para un conjunto dado de datos tabulares, con n filas (ejemplos) y m columnas (características), $D = \{(x_i, y_i)\} (|D| = n, x_i \in \mathbb{R}^m, y_i \in \mathbb{R})$, un modelo de árbol ensamblado usa K funciones aditivas para pronosticar la salida

$$\hat{y}_t = \phi(x_t) = \sum_{k=1}^K f_k(x_t), \quad f_k \in F, \quad [2]$$

donde $F = \{f(x) = w_{q(x)}\} (q: \mathbb{R}^m \rightarrow T, w \in \mathbb{R}^T)$ es el espacio de árboles de regresión. Aquí q representa la estructura de cada árbol que mapea un ejemplo (fila) al correspondiente índice de hoja. T es el número de hojas en el árbol y cada f_k corresponde a una estructura de árbol independiente q y hojas con peso w . La función objetivo regularizada que este algoritmo resuelve para obtener las funciones del modelo se puede consultar en Chen y Guestrin (2016).

A continuación, se comentan detalles de la preparación de los datos para ser ingresados en ambos modelos. Para el primer caso, el modelo ARIMA se alimenta con la serie temporal de niveles de embalse sin modificaciones [fecha | nivel_embalse]. Para el segundo modelo se requiere transformar esta serie en datos tabulares. Para ello se define una ventana de tamaño w que recorre toda la serie, transponiendo el vector de datos contenido en su interior y acumulándolo en una matriz del tipo [fecha | nivel_embalse_1 | nivel_embalse_2 | ... | nivel_embalse_w], donde la fecha correspondiente a cada fila se asocia al dato de nivel de embalse en posición w . Como es regla para los modelos de tipo supervisado, por cada fila de datos (características) se requiere establecer un valor objetivo (target), que en este caso se fija como el nivel de embalse en posición w . Es decir, que el modelo aprende de los valores [fecha | nivel_embalse_1 | nivel_embalse_2 | ... | nivel_embalse_w-1] para predecir el valor nivel_embalse_w. La ventaja adicional de este modelo es que permite incorporar información asociada a la fecha de referencia y a variables externas de tipo climáticas, lo que lo convierte en una metodología mucho más robusta que un modelo autorregresivo. Sin embargo, a fin de comparar ambas metodologías, se decide incorporar sólo información relacionada con la serie temporal, que en este caso se amplía con descriptores estadísticos de los datos incluidos en la ventana w y referencias extraídas de la propia fecha. De esta manera por cada fila de la

matriz anterior se adiciona: la media, máximo, mínimo, desvío estándar, cuartiles 25, 50 y 75 de los valores de nivel de embalse y asociado a la fecha se incluye: año, cuarto de año, mes, semana del año y día del año. Con esto, la matriz de datos ingresada al modelo XGBoost corresponde a [fecha | nivel_embalse_1 | nivel_embalse_2 | ... | nivel_embalse_w-1 | media | máx | mín | std | Q25 | Q50 | Q75 | año | cuarto_de_año | semana_de_año | día_de_año | nivel_embalse_w].

Resultados

El análisis se realiza empleando una serie diaria de niveles registrados en el período 1974 a 2001 en el embalse El Cadillal. Las fechas usadas corresponden a periodos de alta calidad y disponibilidad de datos complementarios que se emplearán en un trabajo futuro.

En estas metodologías de tipo supervisado, el ajuste de los modelos requiere la separación de datos en un conjunto de entrenamiento y otro de prueba o validación. En el primero se realiza el ajuste de todos los hiperparámetros necesarios para optimizar la métrica escogida aplicada sobre el conjunto de prueba. La métrica empleada corresponde a la raíz del error cuadrático medio (RMSE), calculada entre la diferencia de los niveles de embalse pronosticada con el modelo y los valores conocidos. El conjunto de prueba se toma como los últimos 30 días de la serie temporal.

Antes de aplicar cualquier metodología de pronóstico con modelos autorregresivos es necesario realizar un análisis exploratorio. En esta etapa se realiza un proceso de curación de datos, imputando registros o eliminando valores atípicos. Además, es necesario validar la hipótesis de autocorrelación. En este caso, se obtienen valores de correlación de Pearson prácticamente unitarios para los niveles de embalse en un lapso de 10 días, decayendo hasta 0,75 en 30 días, lo que indica una fuerte autocorrelación.

Los resultados obtenidos de aplicar el método ARIMA se muestran en Figura 1 para 1 y 10 días de pronóstico, con valores de RSME de 12,77% y 41,97% respectivamente. Por su parte, los resultantes de la aplicación del modelo XGBoost se presentan en las Figura 2, con valores de RMSE de 11,98% y 12,33% para 1 y 10 días de pronóstico, respectivamente.

En las figuras anteriores se observa que los pronósticos a 1 día siguen un comportamiento similar a los medidos. Aun cuando la ganancia absoluta en el valor de RMSE del modelo XGBoost por sobre el ARIMA parece pequeña, esa diferencia es muy costosa de lograr algorítmicamente, por lo que se destaca el desempeño del primer modelo.

Respecto a las predicciones de mayor alcance temporal, se observa un significativo alejamiento de las observaciones en la aplicación del modelo ARIMA. En la Figura 1 (der.) se observa una gráfica con respuesta lineal en los valores pronosticados, lo que no representa las fluctuaciones esperables en la variable de análisis. En este caso, la superioridad en el resultado obtenido mediante XGBoost se aprecia en la misma figura y es acorde al valor obtenido en el RMSE, que se incrementa levemente respecto al pronóstico a 1 día.

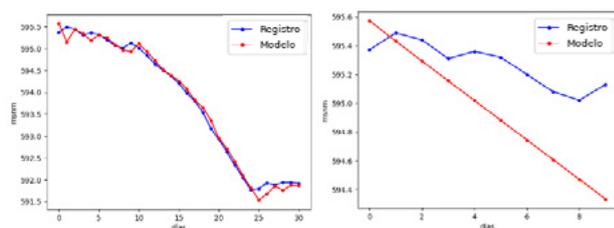


Figura 1.- Resultados obtenidos con modelo ARIMA para 1 día (izq.) y 10 días (der.) de pronóstico.

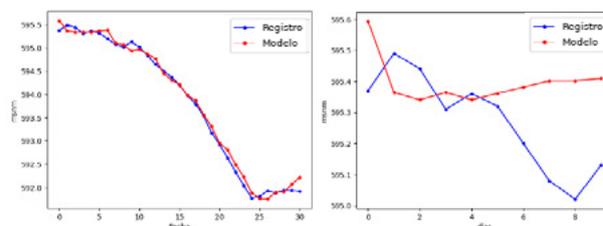


Figura 2.- Resultados obtenidos con modelo XGBoost para 1 día (izq.) y 10 días (der.) de pronóstico.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de las técnicas ensayadas muestran que son capaces de generar información confiable para decisiones que requieran anticipación de un día. Además, los resultados obtenidos con la librería XGBoost, para 10 días de anticipación, presentan un comportamiento más robusto que los del método ARIMA, obteniendo un error similar al pronóstico a un día.

Por otra parte, en el modelo XGBoost es posible enriquecer el pronóstico de la variable endógena (nivel de embalse) con una componente exógena como ser datos de tipo meteorológico (precipitaciones, temperaturas, etc.). En una etapa posterior se pretende evaluar el modelo incorporando esta información, a fin de evaluar la extensión del período de pronóstico confiable.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Hidroeléctrica Tucumán S. A. por facilitar los datos para el análisis.

Referencias bibliográficas

- Chen, T. and Guestrin, C. (2016). "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System". *22nd ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. San Francisco, California.
- Fatichi, S. and Vivoni, E.R.; Ogden, F.L.; Ivanov, V.Y.; Mirus, B.; Gochis, D.; Downer, C.W.; Camporese, M.; Davison, J.H.; Ebel, B.; et al. (2016). "An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology". *J. Hydrol.*, , 537, 45–60.
- Jothiprakash, V. and Magar, R.B. (2012). "Multi-time-step ahead daily and hourly intermittent reservoir inflow prediction by artificial intelligent techniques using lumped and distributed data". *J. Hydrol.*, 450–451, 293–307.
- Marcais, J. and de Dreuz, J.R. (2017). "Prospective Interest of Deep Learning for Hydrological Inference". *Ground Water*, 55, 688–692.
- Seo, Y., Kim, S., Kisi, O. and Singh, V.P. (2015) "Daily water level forecasting using wavelet decomposition and artificial intelligence techniques." *J. Hydrol.*, 2015, 520, 224–243.
- Yang, T., Asanjan, A.A., Welles, E., Gao, X., Sorooshian, S.; and Liu, X. (2017) "Developing reservoir monthly inflow forecasts using artificial intelligence and climate phenomenon information". *Water Resour. Res.*, 53, 2786–2812.
- Yaseen, Z.M., El-shafie, A., Jaafar, O., Afan, H.A. and Sayl, K.N. (2015). "Artificial intelligence-based models for stream-flow forecasting:" 2000–2015. *J. Hydrol.* 530, 829–844.

IRRI-DRIPPER: SISTEMA VIGÍA DEL RIEGO PRESURIZADO – FASE 1

Carlos Schilardi¹, Luis Chiaramonte² y Diego Molina²

1. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

2. Instituto Tecnológico - Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

E-mail: ceschilardi@uncu.edu.ar

Introducción

La presurización de los sistemas de riego agrícolas es uno de los caminos que permiten intensificar la producción agrícola dando mayor garantía a la seguridad alimentaria nacional y global en un contexto cada vez más desafiante por el crecimiento poblacional y los efectos del cambio climático.

Para que la tecnología del riego presurizado sea exitosa es fundamental su adecuado diseño, programación, control y mantenimiento (Schilardi et al, 2012). En la actualidad se ha desarrollado mucha tecnología para el control de los sistemas de riego presurizados; pero la gran mayoría no está disponible en el territorio nacional y de la que se dispone, tiene un alto costo y problemas de mantenimiento.

El presente trabajo tiene el objetivo de desarrollar un sistema tecnológico (Irri-Dripper) útil, práctico y de bajo costo, que permita el control en tiempo real del óptimo funcionamiento de las instalaciones del riego presurizado.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo tecnológico de la primera fase se inició con el módulo IrriDripper que permitiría controlar de forma autónoma en tiempo real el desempeño de los sistemas de riego por goteo.

Dentro del módulo Irri-Dripper la fase 1, tiene objetivo el desarrollo de un equipo para medir el caudal de emisores en tiempo real denominado: I-Dripper. Para el desarrollo del prototipo I-Dripper se utilizará el software, la tecnología de microcontroladores y sensores libre Arduino.

Para la programación del prototipo se utilizará el Entorno Integrado de Diseño Arduino (IDE), Ruiz Peñalver et al, 2013; que utiliza el lenguaje de programación C. Ello permite el desarrollo de códigos propios de forma libre y además poder acceder a una biblioteca enorme de códigos Arduino que está en constante crecimiento gracias a la comunidad de código abierto.

El dispositivo cuenta con un sistema central el microcontrolador Arduino Uno basado en ATmega328 (Chandan y Pramitee, 2015) al cual se han anexado los siguientes dispositivos (figura 1):

- Arduino uno: microcontrolador que integra la medición, análisis y envío de la información a dispositivo celular del caudal de goteros.
- reloj en tiempo real: para capturar la fecha y toma de datos de caudal de goteros.
- tarjeta de memoria SD: para grabar y almacenar los datos registrados.
- módulo de comunicación Bluetooth: para transmitir los datos registrado en la placa Arduino a teléfono celular del operar del equipo.
- micro pluviómetro: para censar el caudal erogado de goteros en puntos de control del sistema de riego.

El dispositivo micro pluviómetro tiene la capacidad de medir adecuadamente caudales de goteros en un rango de 0,5-4 L/h, dispone de un micro cangilón con la capacidad de captar y medir 1,5 ml por pulso con un consumo medio de 70 mA. La instalación en terreno del dispositivo se realiza con estaca de acero y se nivela adecuadamente con un dispositivo de burbuja que dispone

el cuerpo del micro pluviómetro. La ubicación en el terreno del dispositivo se realizará en punto crítico en cada turno de riego del sistema de forma tal de captar la información del punto donde se podrán observar en mayor intensidad y frecuencia problemas asociados a la operación, programación y mantenimiento del sistema de riego, transformado el dispositivo en un soporte vigía en tiempo real del desempeño y mantenimiento de las instalaciones de riego presurizado.

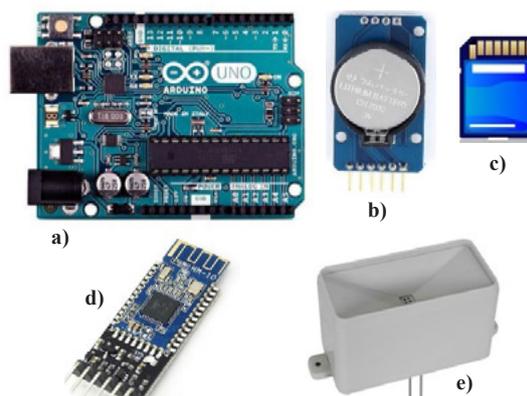


Figura 1.- componentes del prototipo I-Dripper.

Resultados

La figura 1 muestra el prototipo desarrollado donde se observa la estaca de nivelación de terreno y la caja de protección de todos los dispositivos electrónicos para su óptima operación en las condiciones de campo.



Figura 1.- prototipo I-Dripper.

La figura 2 muestra resultados de la medición de goteros turbulentos (no autocompensados) a campo. Se observa una variabilidad promedio natural de descarga de 0,3 L/h. El caudal real validado y controlado con mediciones de probeta a campo es de 1,65 L/h, respecto al caudal teórico de 1,9 L/h. La lámina real es de 0,93 mm/h y la teórica es de 1,03 mm/h. Las diferencias observadas son causa de falta de regulación de válvulas a campo.



Figura 2.- caso medición de goteros turbulentos

DISEÑO ÓPTIMO DE RIEGO POR GOTEO POR HIDRO-ZONAS CON MODERNAS TÉCNICAS DE LA INFORMACIÓN

Carlos Schilardi, Leandro Martín y Rocío Hernández

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
cschilardi@fca.uncu.edu.ar

Introducción

El crecimiento exponencial de la población mundial que demanda más alimentos y mejor calidad de vida, como así también el incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos traccionados por el cambio climático, ponen en mayor tensión la disponibilidad de los recursos hídricos para los distintos usuarios (agricultura, industria, y centros urbanos), determinan una agricultura con mayor riego productivo.

La intensificación de la producción agrícola se convierte en un desafío apasionante para las zonas bajo riego agrícola que disponen de aproximadamente del 70% del recurso hídrico a nivel nacional.

La óptima gestión del riego necesita de técnicas y tecnologías modernas, prácticas y útiles que puedan hacer frente a este desafío, intensificando la producción agrícola de una manera económica y ambientalmente sostenible

El presente trabajo propone una integración de técnicas y tecnologías con modernas técnicas de la información que permiten mejorar el diseño de los sistemas de riego por goteo a través del concepto de hidro-zonas o ambientes de riego optimizando los recursos hídricos y energéticos e intensificando la producción agrícola bajo riego de forma económica y ambientalmente sostenible.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realiza en una propiedad agrícola ubicada en la zona de Tunuyán, Mendoza, Argentina; donde se planifica la implantación de 215 ha de nogales que se regarán a través de agua subterránea con sistemas de riego por goteo (zona de riego integral).

Inicialmente para caracterizar la futura zona agrícola bajo riego, se realizaron los siguientes estudios de primer nivel: a) muestreos de suelos con sonda de electro-conductividad aparente de suelos a dos profundidades (0,5–1,5 m), b) relevamiento fotogramétrico y planialtimétrico con dron (20 cm de resolución) para la obtención de modelo digital de elevaciones (DEM) y curvas de nivel cada 0,5 y 1 m de equidistancia, y

Los estudios iniciales luego permitieron realizar estudios de segundo nivel: c) muestreo físico/químico de suelos a dos profundidades (0-60 cm; 60-120 cm) permitiendo posteriormente la espacialización de variables principales para el manejo del riego (lámina disponible total de suelo; profundidad de tosca, salinidad de suelos), con una densidad de muestreo de 1 muestra cada 5 ha, d) determinación de hidro-zonas o ambientes de riego

Posteriormente se realizaron estudios de tercer nivel: d) ensayos en blanco a campo en cada hidro-zona para determinar el caudal y espaciamiento adecuado de emisores de riego. Se probaron emisores de 2,2 a 4 L/h y de 0,75 a 1 m de espaciamiento entre ellos; f) determinación y espacialización de bloques de manejo (cabezales de riego), i) espacialización y sectorización de turno y zonas de válvulas por turnos de riego, y j) calendarización del cabezal de riego.

Para la espacialización de las variables principales de suelos se utilizaron las técnicas de interpolación vía kriging. Para la

determinación de hidro-zonas o ambientes de manejo se utilizó el plugin Smart-Map (Pereira et al, 2021), que utiliza las técnicas espaciales mencionadas por Fridgen et al, 2004; que permite definir hidro-zonas o ambientes de manejo según los índices NCE-entropía de clasificación normalizada y FPI-índice de rendimiento de borrosidad). Los ensayos en blanco para selección adecuada de caudal y espaciamiento de emisores se realizaron con la metodología definida por Pizarro (1996). La calendarización de riego por hidro-zonas o ambientes de riego se realizó con la metodología de FAO (1998), mediante la modelación de calendario de riego con el modelo CROPWAT (FAO, 2008).

Resultados

Estudios de primer nivel:

Los estudios de electro-conductividad aparente de suelos permitieron distribuir en el terreno 44 puntos de muestreos de suelos en 215 ha lo que permitió obtener una densidad de muestreo de 1 muestra cada 5 ha a una equidistancia de 92 m en promedio.

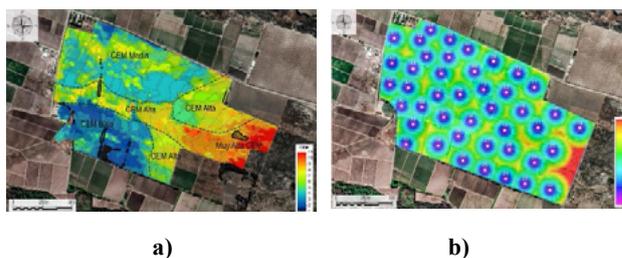


Figura 1.- a) electro-conductividad aparente de suelos y b) puntos de muestreo de suelos.

El relevamiento fotogramétrico con dron, permitió la obtención de un modelo digital de elevaciones y la confección de curvas de nivel cada 0,5 y 2 m de equidistancia, información útil para el diseño del sistema de riego por goteo que se realizará en una etapa posterior. Se observa un desnivel para la propiedad agrícola total de 22 m.

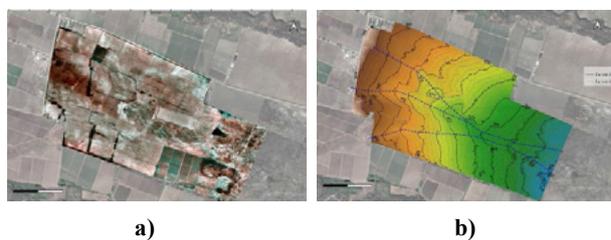


Figura 2.- mosaico del relevamiento fotogramétrico con dron y modelo digital de terreno; y curvas de nivel (2 m, 0,5 m).

Estudios de segundo nivel:

Las espacialización de las principales variables de suelos determinaron que predominan las texturas franco a franco arenosas con un agua disponible total de 70 a 100 mm. Las zonas con presencia de tosca superficiales se ubicaron hacia el este y en el centro de la propiedad agrícola. La salinidad observa un mayor

incremento hacia el este debido a la presencia de freática zonal profunda.

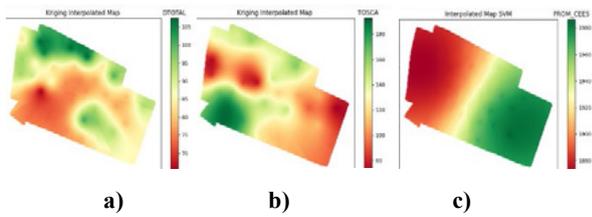


Figura 3.- planos de: a) lámina disponible total; b) profundidad de tosca y c) salinidad de suelos (colores rojos: valores bajos de las variables, colores verdes: valores altos de las variables).

Integrando la espacialización de la lámina disponible total, la profundidad de tosca y la salinidad de suelos se determinaron 6 hidro-zonas o ambientes de riego para la propiedad agrícola bajo estudio.

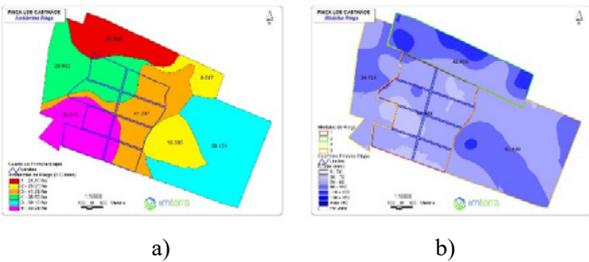


Figura 4.- a) hidro-zonas o ambientes de riego b) lámina disponible total (valores más oscuros representan mayor lámina disponible total).

Estudios de tercer nivel:

Los ensayos en blanco de emisores de riego determinaron que la mejor combinación para el mojado de suelo y manejo del sistema de riego es el emisor que dispone de 4 L/h como caudal de manejo y 1 m de espaciamiento entre emisores.



Figura 5.- ensayos en blanco de emisores.

La figura 6 detalla el resultado de zonificar la disposición sobre el terreno del área de influencia de cada cabezal de riego que surge del resultado de analizar las hidro-zonas o ambientes de riego con la espacialización de la lámina disponible total de los suelos.

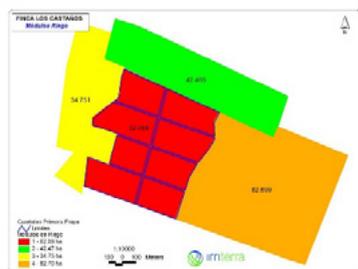


Figura 6.- zonas de cabezales de riego y detalle de zonas de válvulas y turno en cabezal de riego

La figura 7 detalla en función de las hidro-zonas y la espacialización de la lámina disponible total, la ubicación de

turnos y válvulas de riego para el caso del cabezal 1. Ello permite que cada cabezal y dentro de cada uno de ellos cada turno de riego dispongan de una lámina disponible total lo que permitiría la optimización del diseño, planificación y operación del sistema de riego por goteo.

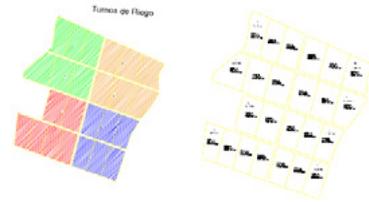


Figura 7.- zonificación de válvulas y turno de riego como ejemplo en el cabezal 1.

La figura 8 detalla el resultado de la calendarización obtenida mediante el modelo CROPWAT (FAO, 2008) que permite integrar todo el análisis de las relaciones agua-suelo-planta-atmósfera para la calendarización del riego agrícola.

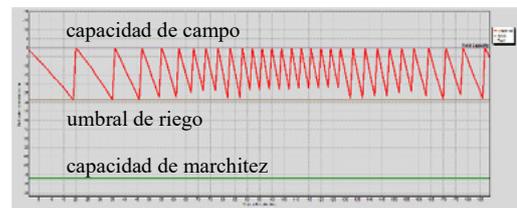


Figura 8.- calendarización del riego

Conclusiones

Las modernas técnicas de muestreo de electro-conductividad aparente de suelos y vuelo aero-fotogramétrico con dron de alta resolución (20 cm) permitieron definir de forma adecuada el muestreo físico químico de suelos para caracterizar su variabilidad espacial.

Los sistemas de información geográficos conjuntamente con modelos que integran modernas técnicas de análisis geoestadístico permitieron analizar espacialmente las principales variables para el manejo del riego permitiendo la caracterización de hidro-zonas o ambientes de riego.

El diseño de los sistemas de riego por goteo con el enfoque presentado permitiría optimizar el diseño de cabezales, turnos y válvulas de riego, permitiendo obtener una mayor uniformidad y optimización del consumo de agua y energía, al disponer en cada una lámina disponible total más uniforme.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome. ISBN 92-5-104219-5.
- FAO. (2008). CropWat 8.0 for windows 2000-2008, Inst. Food Agricultural Organization (FAO), Rome, Italy.
- Fridgen Jon J., Kitchen Newell R., Sudduth Kenneth A., Drummond Scott T., Wiebold William J., and Fraisse Clyde W. (2004). Management Zone Analyst (MZA): Software for Subfield Management Zone Delineation. American Society of Agronomy 96:100-108 (2004).
- Pereira, G.W.; Valente, D.S.M.; Queiroz, D.M.d.; Coelho, A.L.d.F.; Costa, M.M.; Grift, T. (2022). Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. *Agronomy*, 12, 1350. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>
- Pizarro Cabello, Fernando. (1996). Riego Localizados de Alta Frecuencia. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera Edición. 513 pág. ISBN 10: 847114610X / ISBN 13: 9788471146106.

APLICACIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO BASADO EN LAS ECUACIONES RANS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD EN CANALES – CASO TRAMO URBANO ARROYO LA CAÑADA

Rodrigo Schöninger^a, Juan Weber^c, Leticia Tarrab^a
Leandro Massó^{a,b}, Antoine Patalano^{a,b} y Andrés Rodríguez^{a,b}

^aLH-CETA. Laboratorio de Hidráulica - Centro de Estudios y Tecnología del Agua, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

^bIDIT. Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEFyN, Córdoba, Argentina.

^cGrupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS). Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.

E-mail: rodrigo.schoninger@mi.unc.edu.ar

Introducción

El agua es un recurso vital para la humanidad y, por lo tanto, estudiar en detalle las complejas componentes del ciclo hidrológico son fundamentales para garantizar el uso sostenible y la disponibilidad futura de este recurso. Dentro de ese gigantesco ciclo natural -que moviliza el agua en el mundo- se encuentran nuestros ríos y arroyos. En el estudio particular de estos cauces naturales se pueden abordar múltiples aspectos que se engloban fundamentalmente en dos áreas: (1) *calidad de aguas* y (2) *cantidad (caudales)*. En este trabajo se presenta un caso de estudio acotado sobre una sección del tramo urbano del arroyo La Cañada, ubicado en la ciudad de Córdoba Capital; el trabajo está enfocado en la cuantificación de caudales. En dicha sección se encuentra instalada una estación fija que cuenta con una cámara de video destinada a la aplicación de la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV) mediante la cual se estiman velocidades superficiales (Patalano, 2017) (Figura 1). Con estas mediciones se puede determinar el caudal siguiendo dos pasos genéricos: (1) transformación de las velocidades superficiales a velocidades medias en cada vertical y (2) integración de las velocidades medias en la sección transversal para obtener el caudal.

En este caso particular, la medición de velocidades superficiales -y la consecuente determinación del caudal- se encuentra limitada debido a que sobre margen izquierda del canal el talud lateral obstruye la visual de la cámara en aproximadamente un tercio del ancho (por la posición relativa de la cámara y la profundidad del canal). Por este motivo se buscó un modelo matemático de base física para aproximar la distribución de velocidades en la sección y, con la información disponible de las velocidades superficiales, ajustar el modelo y estimar el caudal.



Figura 1.- Imagen registrada por la estación de LSPIV en la sección de estudio del Arroyo La Cañada.

Modelación numérica de la distribución de velocidades en la sección

El modelo utilizado (Weber y Martijena., 2008), basado en la ecuación de Navier-Stokes en la dirección principal del flujo combinada con la ecuación de conservación de masa, se encuentra representado por la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_{zx} \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -gS_0 \quad [1]$$

Esta ecuación diferencial en derivadas parciales (EDP) gobierna la distribución bidimensional (en el plano de la sección) de la componente longitudinal de la velocidad U , promediada en el tiempo, para canales a superficie libre con flujo uniforme y permanente. Los coeficientes ϵ_{yx} y ϵ_{zx} son las viscosidades cinemáticas de torbellino [m^2/s] en las direcciones vertical y lateral, respectivamente, mientras que g es la aceleración debida a la gravedad y S_0 la pendiente de fondo. Estos coeficientes son funciones de las respectivas coordenadas en la sección (Figura 2):

$$\epsilon_{zx} = U_c k z \left(1 - \frac{z}{H} \right) \quad [2]$$

$$\epsilon_{yx} = U_c k y \left(1 - \frac{y}{B} \right) \quad [3]$$

Donde H es la profundidad máxima y B el ancho del canal en la superficie libre. La ecuación para la distribución para ϵ_{yx} se deduce a partir de una analogía con la ecuación para la distribución de ϵ_{zx} (Weber y Martijena., 2008). Los autores del modelo consideran una función definida por tramos para la viscosidad de torbellino lateral, sin embargo, aquí se ha tomado la ecuación [3] para su cuantificación en todo el ancho del canal.

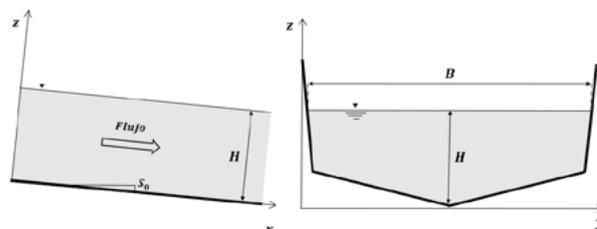


Figura 2.- Esquema de la sección y el canal.

Condiciones de contorno: debido a que el modelo desprecia los efectos viscosos -hipótesis razonable en la zona principal de flujo- se fijan los primeros nodos, adyacentes a las paredes, situados por encima de la subcapa viscosa (en la región turbulenta de la capa límite) a una distancia adimensional $z^+ = zU_c/\nu$, siendo U_c la velocidad de corte media en el fondo y ν la viscosidad cinemática del agua, dentro del intervalo $30 \leq z^+ \leq 100$, donde el valor de velocidad se obtiene de la ley logarítmica:

$$\frac{U}{U_c} = \ln(z^+) + A \quad [4]$$

A es un parámetro de calibración del modelo; una forma de tener en cuenta las variaciones en la rugosidad en los contornos rígidos. En la superficie libre, se considera que: $\partial U / \partial z = 0$ (condición de contorno de Newman).

Implementación: se programó una solución a la EDP [1] usando el lenguaje de programación *Python*. La técnica numérica utilizada se denomina Método de Diferencias Finitas (MDF).

La idea fundamental de los métodos numéricos es la de transformar operaciones matemáticas abstractas en operaciones aritméticas simples que pueden ser programadas de manera relativamente sencilla en un computador (Chapra y Canale, 2011). En este sentido, el MDF transforma la ecuación diferencial en un conjunto de ecuaciones algebraicas (lineales si la EDP es lineal, como en este caso) que pueden ser resueltas de dos maneras: (a) por solución directa o (b) de forma iterativa. En esta aplicación se ha propuesto una solución iterativa, denominada, *método de relajaciones*. Con el objetivo de mejorar la velocidad de convergencia de este método se usó la *sobrerrelajación simultánea* (SOR) que se basa en ponderar dos iteraciones sucesivas (k y $k + 1$) mediante un parámetro ω que se encuentra en el intervalo $1 \leq \omega \leq 2$.

Resultados

Se analizaron dos casos en condiciones de crecidas: con aguas bajas (Caso 1), con una profundidad de flujo $H = 0,52$ m y otro con aguas medias donde $H = 1,12$ m (Caso 2). Debido a los inconvenientes mencionados, las estimaciones por velocimetría de imágenes poseen elevadas dispersiones por lo cual ajusté el modelo de tal manera que los órdenes de magnitud de las velocidades superficiales obtenidas por la modelación numérica y las estimadas por LSPIV fueran semejantes. El parámetro A , introducido a través de la condición de contorno, fue utilizado para representar variaciones de las rugosidades a lo largo del ancho del canal. En el fondo, la zona central se encuentra desgastada por el flujo constante de agua, lo cual ha hecho aflorar pequeñas protuberancias de la losa de hormigón, mientras que, en las zonas laterales, la losa se encuentra mejor conservada. Mediante estas modelaciones fue posible obtener caudales y representar la distribución bidimensional completa de la velocidad en la sección transversal. Los resultados se muestran en la Tabla 1:

Caso	H [m]	A_m [m ²]	U_{media} [m/s]	Q [m ³ /s]
1	0,52	6,70	3,07	20,55
2	1,12	15,65	4,81	75,32

Tabla 1.- Resultados obtenidos de la modelación.

En las Figuras 3 y 5 se muestran los resultados del modelo junto con los valores medidos con LSPIV para el Caso 1 y el 2 respectivamente. Se observa un buen ajuste del modelo a los valores medidos, observándose una gran dispersión de los mismos propia de la técnica.

Con el fin de observar las distribuciones de velocidades en la sección trasversal se muestran, en la Figuras 4 y 6, las isovelas (curvas de nivel de la superficie de velocidades medias) para ambos casos. Se mantuvieron constantes los valores del parámetro A entre ambas corridas lo cual implica que el modelo permitirá estimar caudales para otros valores de H diferentes. El paso espacial (separación entre nodos) de la malla en diferencias finitas se fijó en $\delta = 1$ cm para ambas direcciones propiciando que la representación de la sección sea adecuada y que las curvas obtenidas tengan la suavidad deseada.

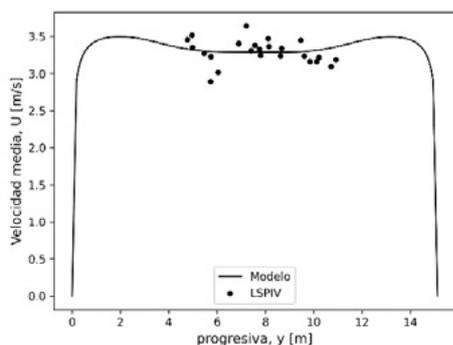


Figura 3.- Distribución transversal de velocidades superficiales Caso 1

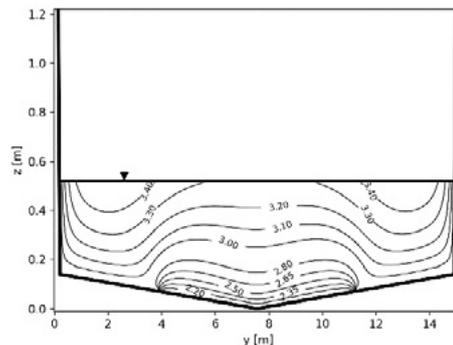


Figura 4.- Isovelas para Caso 1

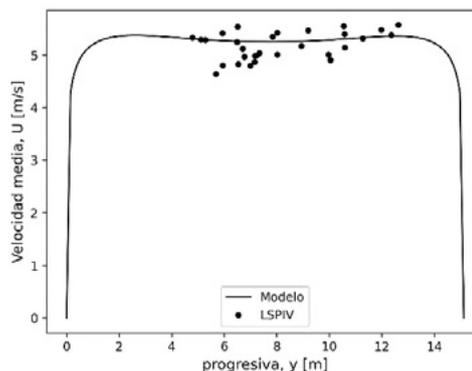


Figura 5. Distribución transversal de velocidades superficiales Caso 2

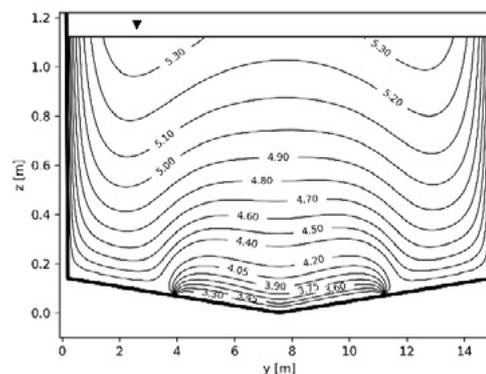


Figura 6.- Isovelas para el Caso 2

Conclusiones

Se obtuvieron caudales y distribuciones de velocidades medias para el arroyo La Cañada partiendo de información básica (forma de la sección, pendiente y nivel de aguas). Las técnicas de velocimetría de imágenes a gran escala pueden ser complementadas con estas modelaciones numéricas permitiendo obtener, además de las distribuciones de velocidades, resultados para situaciones como la presentada en las cuales las imágenes no tengan la calidad adecuada (por la posición de la cámara, falta de luz o de trazadores).

Bibliografía

- Martijena, S. H. (2008). *Desarrollo y aplicación de un modelo numérico para la predicción de la distribución de velocidades en canales*. Córdoba: Proyecto final.
- Weber, J. F., & Martijena, S. (2008). "Modelación numérica de la distribución transversal de velocidades en canales - caso trapecial". *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 385-401.
- Patalano, A. (2017). *Desarrollo e implementación a gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba.
- Chapra, S. C. & Canale, R. P. (2011). *Métodos numéricos para ingenieros*. Sexta edición. Ed. McGraw-Hill.

ANÁLISIS DEL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO: PRESUPUESTOS, OBRAS Y DATOS DE PRESTADORES

Tagliavini, Damiano

damianotagliavini@gmail.com

Introducción

El presente documento se centra en el análisis del sector de agua y saneamiento, examinando específicamente tres dimensiones clave: presupuestos, obras y prestadores. El acceso a servicios de agua potable y saneamiento adecuados es fundamental para el bienestar y desarrollo de la población, así como también para la preservación del ambiente. En el contexto del régimen federal, donde a su vez el dominio originario de los recursos naturales se encuentra en mano de las provincias, se destaca la heterogeneidad en el sector, tanto en diferencias de acceso al servicio en diferentes puntos del país, como en los marcos normativos.

Se examinará cómo se asignan los recursos financieros en el marco del régimen federal, evaluando la distribución de fondos entre el gobierno nacional y las provincias, así como las políticas de financiamiento implementadas. Además, se analizarán las obras de infraestructura realizadas en el sector de agua y saneamiento, vinculándolas al grado de vulnerabilidad del departamento donde se realiza. Otro aspecto crucial a examinar son los prestadores de servicios de agua y saneamiento, a todos los niveles (Nacional, provincial y local).

A través de este análisis exhaustivo de las dimensiones presupuestarias, las obras de infraestructura y los prestadores de servicios, se pretende obtener una visión integral de la situación actual del sector.

Metodología

Para cada una de las tres dimensiones abordadas en este análisis, se llevaron adelante las siguientes consideraciones y estrategias para la segmentación, adquisición y procesamiento de los datos.

- Análisis de presupuestos:** Se tomará como base los resultados de la consultoría realizada desde la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) siguiendo la metodología TrackFin desarrollada por la Organización Mundial de la Salud, cuya información es utilizada en WASH Accounts, un marco de contabilidad internacional para rastrear sistemáticamente el gasto relacionado vinculado a agua, saneamiento e higiene.
- Datos de prestadores:** Se realizó un relevamiento de prestadores de agua y saneamiento en todas las localidades urbanas del país, es decir de más de 2.000 habitantes. Se indagó principalmente en el tipo de gestión de la organización y la población dentro del área de concesión de la misma.
- Análisis de obras:** A partir de los datos del Sistema de Gestión de Obras del Ministerio de Obras Públicas y de la base de datos de AySA, se tomaron la totalidad de las obras de agua y saneamiento registradas para el período de tiempo entre el 10 de diciembre de 2019 y mayo de 2023. Se correlacionó la cantidad de obras y el monto presupuestado para cada una a pesos corrientes, con el grado de vulnerabilidad para cada departamento. Este indicador de vulnerabilidad, publicado por la Dirección Nacional de Transparencia, y con aportes de datos de la

DNAPyS, entre otros, vincula por medio de una ecuación a tres dimensiones: social, sanitaria y de salud.

Resultados

1) Análisis de presupuestos

Presupuesto nacional

Analizando los datos del presupuesto nacional se observó un aumento en los últimos años en el monto total asignado a la función Agua y Alcantarillado, pasando su valor a dólar promedio anual. En los años 2019, 2020 y 2021 se encuentran valores de \$475, \$1.236 y \$2.280 millones de dólares respectivamente, representando cada uno el 0,48%, 1,23% y 2,01% del presupuesto total. Esto evidencia el aumento paulatino, y recuperación, de la inversión en este sector. A pesar de ello, según el análisis de brechas de infraestructura realizado por el MOP, la inversión actual es, todavía, insuficiente para alcanzar las metas de cobertura para 2030.

Presupuesto histórico (USD)



Figura 1.- Variación neta del presupuesto nacional.

Transferencias nacionales y provinciales

Paralelamente, a partir de los datos de TrackFin, se pueden ver los valores a 2021 de las transferencias nacionales y provinciales, así como los valores de gasto directo de nación. En valores nominales destacan las transferencias hacia el área metropolitana, que contabiliza la totalidad de Buenos Aires y Ciudad de Buenos Aires, lo cual abarca el 44,9% de la población total. Analizando el destino de las transferencias, en el caso de las nacionales un 83,13% fueron destinadas a gastos de capital, mientras que un 16,87% a gastos de operación. En el caso provincial estas proporciones se invierten, con un 27,10% y 72,90%, respectivamente.

Para un análisis objetivo es necesario considerar la cantidad de población de cada una de las regiones. Al hacer esto se puede observar en la Figura 2, destacándose el mayor monto per cápita correspondiente a la región nordeste, en su mayor parte correspondiente a transferencias nacionales en gastos de capital y en segundo lugar transferencias provinciales con el mismo fin. En segundo lugar y con similar proporción, se encuentra la región de cuyo. Estos resultados son esperables debido a la vulnerabilidad y/o la dificultad de acceso a agua y saneamiento en estas regiones. En las demás regiones se observan transferencias en similar proporción per cápita, en mayor medida por transferencias nacionales para gastos de capital, salvo en

región patagonia, donde esta proporción se invierte teniendo más transferencias provinciales para el mismo fin.

Cobertura de gastos a partir de tarifas

Finalmente, en materia de presupuestos, se analiza la comparación entre ingresos por tarifa y gastos operativos en cada una de las regiones. Al analizar estos valores se puede calcular el porcentaje de cobertura de los gastos a partir de las tarifas, lo que se muestra en la figura 3.

Se destaca la región de cuyo con el mayor porcentaje de cobertura, del 93,5%, seguida por la región nordeste. Le siguen las regiones noroeste y pampeana, con porcentajes muy similares, y luego por debajo de estas la región patagónica. El menor porcentaje de cobertura corresponde al área metropolitana, con sólo un 37,8%.

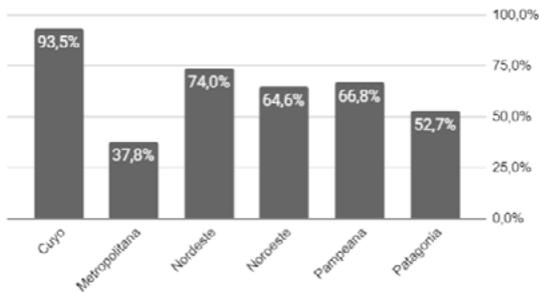


Figura 2.- Población acumulada representada según prestadoras.

2) Datos de prestadores

Se desarrolló un relevamiento de prestadores partiendo de las localidades urbanas, es decir aquellas con más de 2000 habitantes, según censo del 2010. A lo largo del territorio nacional se estima que hay más de 1400 prestadoras, dato que no cuenta con un valor exacto. Se detectaron 631 prestadoras, representando el 90,36% de la población, (36 millones de habitantes), que, extrapolando a la población del censo de 2022, resulta en 42,76 millones de habitantes bajo el área de concesión de estas prestadoras. Dada la concentración poblacional existente en Argentina, la población representada por estas prestadoras tiene un comportamiento no lineal, tal que con sólo 15 prestadoras se cubre un 65% de la población, y con las mayores 50 se representa un 76,28% de la población.

En lo referido a la composición de estos prestadores, sólo una es de gestión nacional, 5 son privados, 24 son provinciales (3,81% del total), 26 (4,13%) de gestión comunitaria, 217 (34,33%) municipales o comunales y finalmente 357 (56,67%) son cooperativas. Sin embargo, cuando se analiza según la población cubierta sólo una empresa, AySA, representa el 36,29% de la población del país, equivalente a 13 millones de habitantes. El resto de la población está representada por prestadores provinciales (31,17%, 11,2 millones de habitantes), municipales o comunales (14,62% y 5,2 millones de habitantes), cooperativas (9,82% y 3,5 millones de habitantes), privados (7,71% y 2,7 millones de habitantes) y finalmente comunitarias (0,39% de la población y unos 142 mil habitantes).



Figura 3.- Cantidad de prestadores y población abarcada según tipo.

3) Datos de obras

Se analizaron las obras con fecha posterior al 10 de diciembre de 2019 y hasta mediados de 2023, con datos provenientes del ministerio de obras públicas, para la categoría de agua y saneamiento, y provenientes de AySA. Se contabilizaron 2652 obras y se correlacionó la ubicación de cada una con el grado de vulnerabilidad del departamento donde se realizan. Este indicador de vulnerabilidad es el proveniente del análisis realizado por la Dirección Nacional de Transparencia. Al hacer esto se encuentra una similar distribución por sector, estando 31 60% de las mismas en regiones de media, alta y muy alta vulnerabilidad.

Dado que la cantidad de obra por sí solo no es un dato completo, pudiendo haber obras de diversa magnitud contabilizadas por igual, se incluye el análisis de presupuesto asignado. En este caso se observa un salto en la diferencia de inversión según la vulnerabilidad departamental, estando un 69% del presupuesto destinado a los sectores de más vulnerabilidad mencionados, con un monto total de 612,01 mil millones de pesos corrientes.



Figura 5.- Cantidad y monto presupuestado en pesos corrientes para obras de agua y saneamiento, entre diciembre de 2019 y mayo de 2023, realizadas desde el Ministerio de Obras Públicas, incluyendo AySA.

Análisis y discusión

El análisis del sector de agua y saneamiento tiene cierta complejidad debido a la descentralización y heterogeneidad existente. A pesar de ello, con la información disponible, se ha logrado hacer un análisis interesante de las inversiones realizadas en el sector, el aumento de la cantidad de obras en ejecución y su vinculación con las necesidades identificadas en virtud de la vulnerabilidad sanitaria. Asimismo, el relevamiento realizado de la distribución y de formas de prestación existentes, ha permitido identificar la magnitud de la heterogeneidad existente, la cantidad de actores intervinientes, así como las diferencias regulatorias y de formas de prestación mayoritaria entre las diferentes provincias, así como también posibles inequidades existentes.

Conclusiones

Si bien se evidencia un aumento significativo del presupuesto nacional en el sector, así como una más equitativa distribución de las obras en base a criterios de vulnerabilidad, se requiere aumentar el mismo a los fines de alcanzar las metas de los ODS 2030. A su vez, se evidencia la necesidad de mejorar la disponibilidad de información y la articulación entre las diferentes jurisdicciones a los fines de contar con una base de datos nacional que permita tener la información actualizada del sector para hacer más eficiente la definición de las políticas públicas y la asignación de recursos.

ADAPTACIÓN DE UNA BOMBA HIDROCINÉTICA EN EL ÁREA RURAL DE GENERAL GÜEMES, SALTA

Tejerina Díaz, Fabián G.¹; Arias, Carlos F.¹; Zanovello, Lucas²

¹ Estación Experimental Agropecuaria Salta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Teléfono: (0387) 490 2081. Ruta Nac. 68 - Km 172 (CP 4403) Cerrillos, Salta.

² Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar de la Región Patagonia (IPAF Patagonia), INTA. Plottier, Neuquén.

Cel. 0387 - 155219778 e-mail: tejerina.fabian@inta.gov.ar

Introducción

Los productores del departamento General Güemes (paraje San Antonio, Santa Rita, El Algarrobal y sus alrededores), se caracterizan por ser productores familiares diversificados con ganadería (cerdos, cabras, caballos, ovejas y vacas) y agricultura diversa que se realiza con riego gracias a la presencia de vertientes en la zona. Las actividades agrícolas que se desarrollan son la horticultura y huertas para autoconsumo; la siembra de pequeñas superficies con pasturas, maíz o alfalfa como aporte forrajero para animales. Disponen de cursos de agua de vertientes, pero por encontrarse en zonas marginales a la distribución de energía o por elevado costo de la misma, no es posible extraerla mecánicamente. Para dar respuesta a esta problemática y ante la demanda de alternativas, se construyeron dos “bombas de río” de diferentes tamaños, siguiendo el diseño del INTA IPAF PATAGONIA. Estas fueron probadas en finca “Mi Escondida” ubicada en el paraje San Antonio, departamento de General Güemes, provincia de Salta, iniciando así el proceso de validación de esta tecnología en la zona.

El objetivo del presente trabajo es brindar sugerencias de construcción y puesta en funcionamiento de una bomba de río para el aprovisionamiento de agua con mínimo costo, para pequeños productores ganaderos ubicados al este de General Güemes.

Funcionamiento

El diseño actual de la bomba de río es una adaptación del “Tornillo de Arquímedes” que fue diseñada por Da Vinci durante el siglo XV, pero pudo ser construida por primera vez a mediados del siglo XVIII por un artesano metalúrgico inglés llamado H. A. Wirtz en un formato de espiral plana.

Las bombas de bobina o loop pump están conformadas por una tubería en forma de bobina, un impulsor o hélice, una conexión rotativa y una conducción de salida para transportar el agua hacia el depósito de almacenamiento. Existen diversos formatos para su construcción que se agrupan en dos grandes categorías según el giro con respecto al paso del agua: las de eje perpendicular al sentido del agua, similares a las ruedas hidráulicas, y las de eje paralelo al sentido del agua que se asemejan a los generadores mareomotrices. La disposición de la bobina puede variar ya que su disposición puede ser plana (en espiral) o tridimensional y helicoidal (cilíndrica o cónica).

Las bombas de río fabricadas para esta experiencia son de eje paralelo y bobina helicoidal cilíndrica y cónica según cada prototipo. La elección de este tipo de bombas se debe al bajo costo y accesibilidad constructiva. La bomba de agua se fija con una sogá o una linga a un objeto firme que se encuentra fuera o dentro del curso del agua como un gavión o una jabalina, ésta gira con la fuerza del curso de agua y toma pulsos alternados de agua y aire, la acumulación de aire en la bobina genera la presión suficiente impulsar el agua desde el curso, por la manguera de salida, al depósito de almacenamiento ubicado a una determinada altura o a su lugar de consumo.

Partes de la bomba de río

La bomba de río consta de varios componentes (Figura 1), sin embargo, podemos diferenciar de tres partes principales: Hélice, Acople giratorio y Cuerpo de la bomba. A continuación, se detalla cada una de las partes.

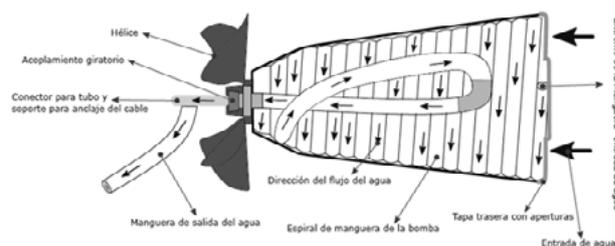


Figura 1.- Detalle de las partes que conforman la bomba de río. Adaptado de ECO Innova, 2011.

Hélice: Es la que otorga el movimiento giratorio a la bomba por acción de la corriente de agua. Para la construcción de la bomba, se utilizaron unas hélices de electroventilador de vehículos a motor.

Acople giratorio: El acople giratorio consta de un rodamiento que permite que la hélice y el cuerpo de la bomba giren, a la vez que el soporte y la manguera de salida permanezcan fijos. También conecta el espiral de la manguera de la bomba (bobina) con la manguera de salida del agua. En esta experiencia se utilizó un aspersor de golpe desarmado para realizar el acople giratorio. Como el mismo tiene un sello mecánico constituido con arandelas de plástico, las mismas deben ser reemplazadas con periodicidad a un bajo costo.

Cuerpo de la Bomba: Lo conforman el:

- Recipiente cónico o tanque: Recipiente cónico (tanque) que contiene el espiral de la manguera de la bomba (bobina).
- Espiral o bobina de manguera de la Bomba: Conformada por la manguera enrollada en espiral, dentro del recipiente cónico. La manguera permite el ingreso del agua y de aire, generando la presión necesaria para el bombeo de la misma.
- Tapa trasera: De plástico, perforado y colocado en la parte trasera del tanque.
- Flotante: Permite mantener la bomba sumergida al 50%, para lograr un correcto funcionamiento de la bomba.

Estrategia Metodológica

La Oficina de Información Técnica General Güemes trabaja desde la extensión con productores, instituciones privadas y públicas de todo el departamento homónimo, transfiriendo conocimientos y experiencias generadas desde la investigación. Es así cómo se identifican demandas (de asistencia técnica, tecnologías apropiadas, etc.) a las que se dan respuestas inmediatas.

El trabajo realizado hasta aquí con las bombas de río por parte de

INTA, se hace en el marco de un trabajo colaborativo de diseño abierto con tecnología apropiada. Desde este enfoque se propone el aprendizaje mediante la experimentación (learning by doing, Lundvall 2004), a través de la experiencia de diseñar, adaptar, construir y evaluar la tecnología, sistematizar los resultados y compartirlos con los productores y la comunidad de usuarios de estos sistemas de bombeo. En ese marco, desde el equipo de trabajo se propuso la construcción de dos bombas de río con eje paralelo al sentido del agua, con materiales disponibles en la zona y que fueron probadas en la finca “Mi Escondida”.

Las pruebas se hicieron midiendo la velocidad del cauce mediante el método de boya flotante y por la media de los tiempos obtenidos en superficie. Las mediciones de los caudales se tomaron con repeticiones de acumulación de agua elevada con tanques a diferentes alturas. Para este trabajo se registró la mayor altura de bombeo para cada prototipo y el caudal erogado a esa elevación con respecto al pelo de agua.

Desarrollo: Durante el proceso, el equipo de técnicos procuró conseguir todas las piezas necesarias para la construcción en negocios de cercanía, utilizando piezas estándar y repuestos de otros sistemas tecnológicos estables como los autos y agro partes. De esta manera se asegura que el modelo resultante pueda ser replicado a un bajo costo y con disponibilidad de piezas.

Instalación y funcionamiento de la Bomba de río: Como primer paso para la instalación de la bomba de río, en un arroyo que atraviesa la finca, se seleccionó y preparó el sitio. Básicamente, este paso consistió en ubicar el lugar en el arroyo “Ojo de Agua”, que se encuentra más cercano a los depósitos de almacenamiento hacia donde se llevaría el agua, y limpiar el sitio. Para manejar la velocidad del cauce y ubicar la bomba de río correctamente, se construyó un pequeño dique de piedras.

Luego de estudiar la velocidad superficial del arroyo, se colocó la jabalina (barreta) para el soporte de la bomba (Figura 2). Se conectó la manguera de salida para llevar el agua desde la bomba hacia los tres tanques de almacenamiento, con los que cuenta el establecimiento.

Es necesario colocar la bomba en una posición adecuada dentro del cauce, principalmente por la velocidad y profundidad que faciliten el giro libre de la hélice de la bomba. En este sentido, cuando se trata de arroyos de bajo caudal, la velocidad y profundidad del cauce se puede manejar, hasta cierto punto, construyendo un pequeño dique sobre el mismo.

Sin embargo, se observó que es conveniente instalar un tanque elevado cercano al cauce y llenarlo con la bomba y, desde allí, llevar el agua por gravedad hacia los tres tanques para que las pérdidas de carga no afecten el rendimiento general de la bomba. De esta forma, se hace un uso más eficiente de la bomba de río, obteniendo un mayor caudal de bombeo, debido a que el mismo disminuye con la distancia y la altura de elevación a la que se desea llevar el agua por las pérdidas de carga.



Figura 2.- Bomba de río instalada y en funcionamiento.

Resultados

El rendimiento de la bomba depende de la velocidad del agua del

arroyo, o canal, y del tamaño de la bomba. A medida que mayor sean las velocidades del agua y el tamaño de la bomba, el caudal erogado es mayor. El tamaño, básicamente, depende del diámetro del cuerpo de la bomba y el diámetro de la manguera al interior de la bobina.

Los prototipos construidos se probaron a una velocidad de 0,5 m/s, se midió el caudal y la altura de elevación. Los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 1):

Tabla 1.- Detalles de las características y rendimiento de los prototipos de bomba de río.

Bomba	Características	Q	V	h
		l/día	[m/s]	[m]
1	Cuerpo: 37 cm, Hélice: 39 cm Espiras: 19, Tapa: 32 cm	2880	0,5	1,20
2	Cuerpo: 46,6 cm, Hélice: 50 cm, Espiras: 23, Tapa: 32,4 cm	6700	0,5	3,20

Conclusiones y Recomendaciones

La bomba construida (prototipo 2) tiene un rendimiento de 6700 l/día, lo que es suficiente para cubrir la demanda domiciliar de agua del productor. Con el volumen de agua disponible por día, también puede regar una huerta familiar y/o bebida para animales menores.

Es importante considerar que el caudal disminuye con la distancia y la altura de elevación, por lo tanto, para hacer un uso más eficiente de la bomba de río y llevar agua a una mayor distancia y altura, es conveniente instalar un tanque elevado lo más cerca de la bomba y, desde ese tanque, llevar el agua, por gravedad, hacia los tanques de almacenamiento definitivo o lugar donde se necesite llevar el agua. El rendimiento es menor si se coloca la manguera de salida de la bomba directamente al lugar donde se quiere llevar el agua.

Es importante tener en cuenta que, para que la bomba de río funcione correctamente, la velocidad de giro tiene que estar en relación con la velocidad con la que el agua ingresa al cuerpo de la bomba y la bobina de manguera; ya que al girar demasiado rápido el agua no ingresa produciendo un efecto “desborde” (spillage según Mortimer & Annable, 1985) que hace que el agua retroceda en lugar de avanzar por la bobina de manguera.

Al ser una tecnología que recién se está implementando en la zona, es necesario continuar evaluando el funcionamiento permanente de la misma, para identificar mejoras a realizar.

Referencias Bibliográficas

- Cianchi, M (2006). *Las máquinas de Leonardo Da Vinci*. pp 43. Becocci Editore.
- Zanovello, L.; Arias, C.; Buda, v. Guñazú, M.; Vásquez, P.; Tejerina, F.; Vega, O. (2023). *La bomba de río, construcción de tecnologías apropiadas*. Ediciones INTA.
- Zanovello, L.; Guñazú, M.; Gomez, D.; Girolimini, F.; Calcagni, H.; Sheridan, M. (2018). *Experiencia Adaptativa en diseño de bombas de río: acceso al agua en zonas marginales de norpatagonia*. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar
- Lundvall, B. (2004). *The economics of knowledge and learning. Research on Technological innovation*. pp 12-15.
- INTA Agricultura Familiar CIPAF (11 de octubre de 2018). *Bomba de Río - INTA IPAF Región Patagonia* (Video). https://www.youtube.com/watch?v=H1oXMDQFOVc&t=4s&ab_channel=INTAAgriculturaFamiliarCIPAF
- ECO Innova (2011). *Bomba de río*. <http://www.ecoinnova.com.ar/bombeo-de-rio.php>
- Mortimer G.H.; Annable R. (1984). *The Coil Pump, Theory and Practice. Journal of Hydraulic Research*, Vol 22, No.1

MODELACIÓN FÍSICA DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA TIPO ARQUÍMEDES

J.F. Varvasino, J. Sutin Freiman, A. Rivetti, M. Angulo, C. Lucino, S. Liscia

UIDET Hidromecánica - Facultad Ingeniería – UNLP-Argentina
47 n° 200, +542213548417, joasutin@hotmail.com, jfvarva@gmail.com

Introducción

La demanda de electricidad a nivel mundial aumenta del orden del 2% anualmente, y alcanza valores del orden del 5% en los países de mayor crecimiento. Un mundo con población en aumento debe contar con una provisión confiable de energía ya que la misma es un bien indispensable para el desarrollo y crecimiento de la sociedad. [1]

La matriz energética de Argentina está compuesta en primer lugar por un 60,5% proveniente de centrales que utilizan combustibles fósiles, mayormente gas natural, luego, en segundo lugar, aparecen las centrales hidroeléctricas con un 25,8% y, el 13,7% restante proviene de centrales atómicas y energías sustentables. [2]

Ante la problemática emergente del cambio climático, las alternativas de generación de energías limpias cobran mayor relevancia pese a las complicaciones de llevar este tipo de soluciones a grandes escalas. Por otro lado, debe entenderse que el problema no sólo radica en la generación de energía sino también en su transporte y distribución, cuestión que afecta fundamentalmente a los pequeños poblados alejados de los grandes centros de generación eléctrica imposibilitando el desarrollo de estos.

Dado esto y a sabiendas que todavía hay poblados sin disponibilidad eléctrica, se decidió estudiar, a nivel de modelo físico, una turbina hidrocínética tipo Arquímedes. Las turbinas hidrocínéticas permiten generar energía eléctrica a partir de una fuente renovable, utilizando la energía de los cursos de agua, principalmente de ríos, mares y canales artificiales, entre otros.

Metodología

Con el objetivo de analizar el comportamiento de una turbina hidrocínética que aprovecha la componente cinética de un río sin regulación, se diseñó y construyó un modelo físico para determinar la curva de rendimiento para diferentes condiciones de ensayo. La potencia del escurrimiento se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P_h = \frac{1}{2} \rho A v_{in}^3 \quad (1)$$

Donde la P_h es la potencia del flujo, ρ es la densidad del agua, A es el área perpendicular al escurrimiento y V_{in} es la velocidad del escurrimiento. Al estudiar la potencia de la turbina sin considerar el sistema de transmisión eléctrico del generador, queda como resultado la siguiente expresión:

$$P = P_h \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad (2)$$

Donde P es la potencia mecánica restando las pérdidas friccionales, P_h es la potencia hidráulica, η_h es el rendimiento hidráulico y η_m es el rendimiento mecánico. La potencia resultante se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P = T * \omega = mgv \quad (3)$$

Donde T es el Torque correspondiente a la potencia mecánica,

ω es la velocidad angular, m es la masa del sistema de contrapeso, g es la gravedad y v es la velocidad ascensional del contrapeso. Para medir la potencia de la turbina se diseñó un sistema de poleas y contrapeso que consiste en un conjunto de pesas unidas al eje mediante un sistema de poleas, en donde el giro del rodete genera un desplazamiento ascensional de las pesas, siendo ese movimiento, la velocidad del contrapeso v que se considera para el cálculo de la potencia de la turbina, Ec.3.

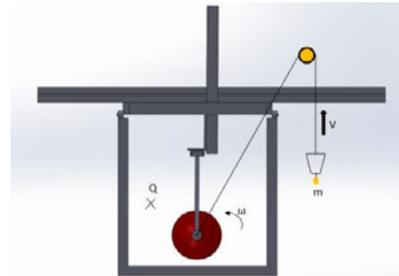


Figura 1.- Vista frontal de la turbina implantada en el canal de ensayo.

Si a la potencia P le sumamos las pérdidas friccionales (P_{diss}) que se disiparon durante el ensayo se obtiene la potencia mecánica (P_m).

$$P_{diss} = \frac{(m_t - \rho V_t)g}{2} f \omega 2r_{soporte} \quad (4)$$

Donde P_{diss} es la potencia disipada, $r_{soporte}$ es el radio del dispositivo de soporte, f es el coeficiente de fricción entre las 2 superficies donde se produce el giro de la turbina, m_t es la masa de la turbina, V_t es el volumen de la turbina. Por último, el cociente de P_m y P_h da como resultado el rendimiento hidráulico de la turbina hidrocínética tipo Arquímedes.

$$\eta_h = \frac{P + P_{diss}}{P_h} = \frac{P_m}{P_h} \quad (5)$$

Variables relevadas

Los parámetros que se midieron durante el ensayo para poder obtener la curva de rendimiento de la turbina son:

1. Caudal circulante (Q) por el canal se obtuvo con un vertedero triangular aguas abajo del canal.
2. La masa del sistema de contrapeso (m) que se midió con una balanza de precisión.
3. La velocidad angular de la turbina (ω) se la midió con una cámara de fotos que capturaba el paso de una marca negra sobre el eje de la turbina (Fig. 4).



Figura 2.- Proceso de grabación de la turbina durante su ensayo

Configuración del modelo físico

Para el dimensionado del modelo físico de la turbina hidrocínética tipo Arquímedes, se partió de un diseño optimizado en CFD por la UIDET de Hidromecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Partiendo de esta geometría, se diseñó el modelo físico mediante las “Leyes fundamentales de la similitud”, las cuales implican una similitud tanto dinámica, cinemática como geométrica en los puntos de funcionamiento denominados homólogos.

La condición limitante para la construcción del modelo físico es el tamaño del canal en el cual se ensayó. El canal presenta una sección cuadrada de 60cm de lado, por lo que se adoptó un diámetro de rodete para el modelo de 20cm. Se adoptó el mayor diámetro posible con el objetivo de reducir la influencia del torque friccional en las mediciones y, a su vez, dejar una distancia al fondo de $D/2$ y de las paredes laterales de D para que el efecto pared no tenga influencia.

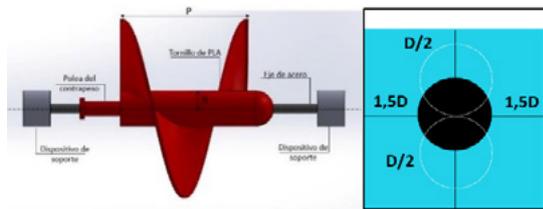


Figura 3.- Izquierda: componentes de la turbina hidrocínética. Derecha: ubicación de la turbina en el canal

La turbina se construyó y ensayó en el laboratorio de Hidromecánica. El ensayo consiste en que el contrapeso recorre una distancia L , la cual tiene una trayectoria rectilínea vertical ascendente. Al comenzar el ensayo, el contrapeso se encuentra apoyado en el suelo y el ensayo termina cuando el contrapeso llega hasta la polea ubicada en el puente colgante.



Figura 4.- Trayectoria del sistema de contrapesos.

El procedimiento descrito se realizó para obtener entre 7 a 10 puntos de funcionamiento asociados a contrapesos que varían de 35 a 250 gramos, mientras que el giro de la turbina es captado con una cámara grabando el paso de la marca negra ya explicado.

Por último, se presenta el número de Reynolds de nuestro modelo físico para describir el flujo ($3,4 \times 10^4$).

Resultados

El ensayo se repitió para 3 profundidades y 2 condiciones diferentes. En la Tabla 1, se muestran los rendimientos máximos de la turbina hidrocínética con sus revoluciones por minutos asociadas para los diferentes escenarios ensayados mientras que en la Figura 5 se muestran los rendimientos máximos para las 2 condiciones ensayadas.

Para la elaboración de las tablas y gráficos donde se muestran los resultados obtenidos se implementó el factor TSR, el cual sirve para comparar el funcionamiento de distintas turbinas independientemente de la escala. Este término resulta del cociente de la velocidad de la periferia del álabe ($R \cdot \omega$) y la

velocidad del flujo (v_{in}). Siendo R el radio de la turbina.

Tabla 1.- Rendimientos máximos de la turbina hidrocínética para los diferentes escenarios.

Escenario	Libre		Con tobera	
	TSR [-]	η_h [%]	TSR [-]	η_h [%]
A 5cm de la S.L	1,9	40,2	3,1	67,6
Sección central	1,8	40,4	3,1	66,6
A 5cm del fondo	1,8	35,9	2,9	68,6

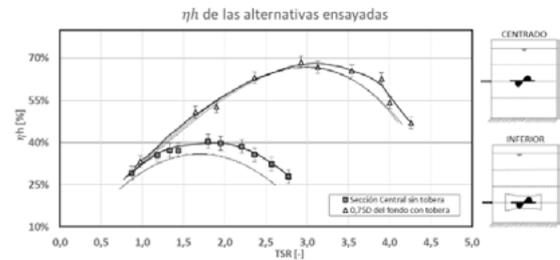


Figura 5.- Comparación de las curvas de η_h vs TSR de la modelación física con su banda de incertidumbre para una condición sin tobera en la sección central y con tobera a 5cm del fondo. En trazo fino se adjuntan las curvas que no resultaron óptimas.

En la publicación [3] se presenta un gráfico que compara el funcionamiento de diferentes rotores de turbinas hidrocínéticas. A continuación, se presenta una donde se ubica nuestra turbina hidrocínética tipo Arquímedes sin tobera, respecto del resto tipo de tipología de turbinas y disposición de las palas.

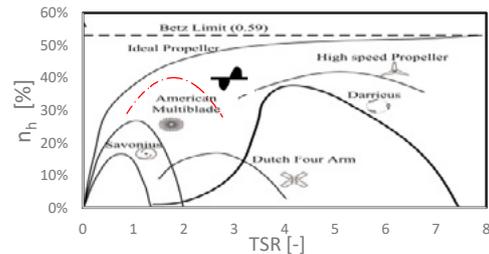


Figura 6.- Comparativa del funcionamiento de los rotores de la literatura con la alternativa sin tobera obtenidos en el presente estudio.

Conclusiones

Para los casos sin tobera, la mayor eficiencia de la turbina se dio para la condición en la cual se encuentra en la sección central, mientras que en la alternativa de tobera el rendimiento máximo se da cuando la turbina se encuentra a $0,75D$ del fondo. Al estar cerca del fondo, el agua se encuentra más contenida por los bordes sólidos, factor que favorece a encauzar el flujo y generar una mayor eficiencia.

El uso de la tobera genera un incremento de la eficiencia de valores próximos al 50%, siendo ésta una mejora considerable.

Tal sistema puede servir como protección a la turbina frente a obstáculos que el cauce del río arrastre. Cabe mencionar que el punto óptimo de funcionamiento de la turbina con tobera se encuentra prácticamente para el doble de velocidad de rotación. La turbina libre alcanza su punto óptimo para un TSR de 1,8 y, la alternativa con tobera para 3,1.

Bibliografía

- Proyecto de instalaciones hidromecánicas (2004). “Aprovechamiento energético de un curso de agua”. Universidad Nacional de La Plata.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) – “Informe anual 2020”.
- J Khan, T Iqbal, J Quaicoe (2011). “Power Tracking Control Challenges in Hydrokinetic Energy Conversion Systems”. IEEE, Dittroit, USA.

INFLUENCIA DE LOS EVENTOS DE ROTURA DEL GLACIAR PERITO MORENO EN LAS CRECIDAS DEL RÍO SANTA CRUZ, ARGENTINA

Brenda Vath, Sergio O. Liscia, Mariano de Dios, Pablo Cacik
UIDET Hidromecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata - Argentina
brenda.vath@gmail.com - dediosmariano@gmail.com - soliscial1@gmail.com - pablocacik@gmail.com

Introducción

El río Santa Cruz, ubicado en la Patagonia Argentina, nace en la Cordillera de los Andes, incluyendo en su cuenca alta un importante sector del Campo de Hielo Patagónico Sur. De este campo de hielo se desprenden glaciares de descarga, cuyos frentes entran en contacto con los lagos Viedma y Argentino (Figura 1).



Figura 1.- Cuenca del río Santa Cruz.

Uno de los glaciares que forma parte de la cuenca del río Santa Cruz es el Perito Moreno que, a diferencia de la mayoría de los glaciares patagónicos, que se encuentran en proceso de retroceso y disminución de su espesor, presenta un comportamiento estable.

El frente del glaciar Perito Moreno presenta un ciclo oscilatorio estacional de avance (junio-diciembre) y retracción (diciembre-abril). En algunos años, durante el semiperíodo de avance, el frente del glaciar alcanza el extremo oeste de la península de Magallanes, formando un dique de hielo que represa el lago Rico¹. La descarga hacia el Canal de los Témpanos se ve impedida debido a que la base del glaciar apoya sobre el sustrato rocoso. Los aportes al lago Rico continúan, por lo que su nivel de agua aumenta progresivamente alcanzando a superar por varios metros el nivel medio del lago Argentino. En un determinado momento este dique de hielo pierde estanqueidad y se producen filtraciones en el cierre. Como resultado de esta situación, el agua del lago Rico comienza a trasvasar progresivamente hacia el Canal de los Témpanos. Primero lo hace por el contacto basal entre el lecho rocoso y el glaciar y, posteriormente, a través de un túnel, cuyo techo finalmente colapsa. Este fenómeno puede tener una corta duración, un par de días, provocando un desembalse rápido del lago Rico. Este desembalse, comúnmente denominado “rotura” del glaciar Perito Moreno, da lugar a una onda de crecida que eleva los niveles del lago Argentino y produce un aumento perceptible en el régimen de descarga del río Santa Cruz.

Este proceso singular que presenta el glaciar Perito Moreno ha sido motivo de numerosos estudios a lo largo de décadas (Nichols y Miller, 1952; Lenzano, 2018; entre otras). En la Figura 2 se muestra el cierre del glaciar Perito Moreno contra la península de Magallanes, mientras que en la Figura 3 se puede observar el fenómeno de “rotura” del glaciar. Este evento de rotura del dique de hielo es la razón por la cual el glaciar Perito Moreno es destino turístico a escala internacional.



Figura 2.- Proceso de cierre del glaciar Perito Moreno contra la península de Magallanes.



Figura 3.- Rotura del puente de hielo del glaciar Perito Moreno (última etapa de la rotura del año 2004).

Objetivos del trabajo

A partir de la serie anual de caudales máximos de la estación hidrométrica ubicada inmediatamente aguas abajo de la descarga del lago Argentino (estación Charles Fuhr), se observa que los ocho mayores valores de la serie (60 años de registro) están en coincidencia con eventos de rotura del glaciar Perito Moreno. Se destaca que el caudal máximo registrado es de 2520 m³/s (tener presente que el módulo de río es de 700 m³/s).

Por lo tanto, interesa analizar el impacto que los eventos de rotura y desembalse tienen sobre el nivel del lago Argentino y los derrames del río Santa Cruz. En este sentido, los objetivos específicos de este trabajo son:

- Caracterizar los desembalses históricos que se han producido por la rotura del glaciar Perito Moreno: duración de los eventos, desnivel máximo alcanzado, incremento de caudal en Charles Fuhr, evolución temporal de los niveles de los lagos, etc.
- A partir del análisis anterior, generar un hidrograma adimensional que permita describir los fenómenos de desembalse rápido del lago Rico.
- Desarrollar un modelo matemático (modelo de simulación de embalse) para predecir los hidrogramas de crecida en el río Santa Cruz producto de la rotura del glaciar Perito Moreno.
- Evaluar el escenario de evento máximo posible de trasvase, acorde a ser aplicado al estudio de la CMP del río Santa Cruz.

Materiales y métodos

El análisis de la influencia del fenómeno de apertura de brecha entre el glaciar Perito Moreno y la península de Magallanes en la descarga del río Santa Cruz se aborda a partir de un modelo de simulación de operación de embalse. Este modelo reproduce el

¹ Se define “lago Rico” al sistema lacustre conformado por el Brazo Rico, lago Roca y Brazo Sur del lago Argentino.

comportamiento de los niveles del lago Argentino y los caudales del río Santa Cruz frente al paso de la crecida provocada por el desembalse rápido del lago Rico. En la Figura 4 se presentan un esquema del modelo utilizado.

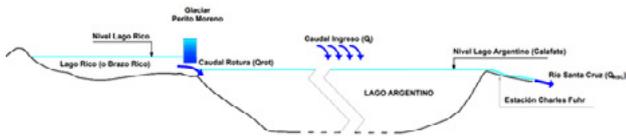


Figura 4.- Esquema del modelo de embalse utilizado.

Se resuelve numéricamente la ecuación de continuidad en el lago Argentino, es decir, las variaciones que se producen en el reservorio producto de los volúmenes que entran y salen del mismo:

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + (Qe_t - Qs_t) * \Delta t \quad [1]$$

Donde:

$V_{(t)}$ = volumen del lago Argentino en un tiempo t .

$V_{(t-1)}$ = volumen del lago Argentino en un tiempo $t-1$.

$Qe_{(t)}$ = caudal entrante al lago Argentino en un tiempo t .

$Qs_{(t)}$ = caudal saliente del lago Argentino en un tiempo t . Este caudal se obtiene a partir de una ley que vincula el nivel del lago Argentino con los caudales en Charles Fuhr.

Δt = intervalo de tiempo.

El caudal entrante al reservorio ($Qe_{(t)}$) resulta de la sumatoria de los siguientes ingresos:

$$Qe_{(t)} = Qr_{(t)} + QLLEO_{(t)} + QLA_{(t)} \quad [2]$$

Donde:

$Qr_{(t)}$ = caudales asociados al desembalse rápido del lago Rico.

$QLLEO_{(t)}$ = aportes del río La Leona.

$QLA_{(t)}$ = aportes del resto de la cuenca del lago Argentino.

Para resolver la ecuación 1 es necesario construir las leyes altura-volumen del lago Argentino y lago Rico. Para este propósito, se emplearon imágenes satelitales (Landsat 8) e información radar (SRTM).

Resultados

Tomando como base los desembalses históricos que se han producido por la rotura del glaciar Perito Moreno, de los cuales se cuenta con registros, se construyó una curva adimensional que permite caracterizar la variación del nivel del lago Rico (h) en función del tiempo (Figura 5). Como parámetros adimensionales se tomaron el máximo desnivel de cada evento (ΔH) y la duración total del mismo (D). Luego, conocida la ley altura-volumen del lago Rico es posible determinar los caudales asociados al desembalse rápido ($Qr_{(t)}$).

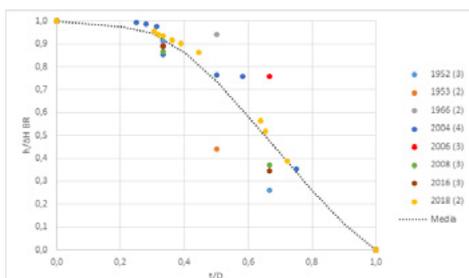


Figura 5.- Curva adimensional de variación del nivel del lago Rico (h) durante los eventos de rotura del glaciar Perito Moreno.

Los resultados que se obtienen del modelo de simulación de embalse (ecuación 1), y que pueden ser validados con datos de campo, son los niveles del lago Argentino (estación El Calafate) y los caudales en el río Santa Cruz (estación Charles Fuhr). En la Figura 6 se muestran los niveles del lago Argentino en función del tiempo luego de iniciado el evento de desembalse del año 2018.

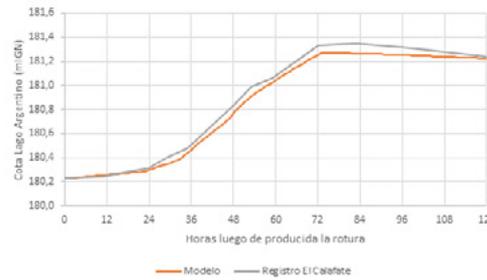


Figura 6.- Niveles del lago Argentino en función del tiempo luego de iniciado el evento de desembalse del año 2018 (modelado y registros).

Como resultado final de este trabajo se obtuvo una familia de curvas con el objetivo de pronosticar el caudal máximo del río Santa Cruz, conociendo el nivel del lago Rico y el lago Argentino (Figura 7), cuando se produce la rotura del glaciar Perito Moreno.

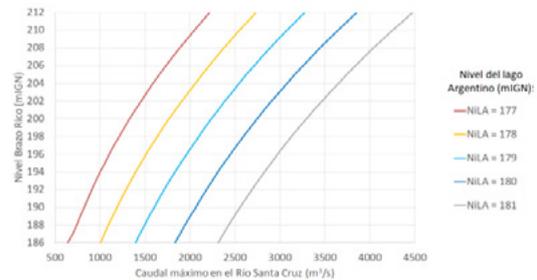


Figura 7.- Pronóstico de crecidas del río Santa Cruz frente a eventos de rotura del glaciar Perito Moreno.

Conclusiones

En este trabajo se presenta un análisis detallado de los eventos de rotura del glaciar Perito Moreno durante los últimos 60 años y sus consecuencias hidrológicas sobre los caudales del río Santa Cruz. Los registros históricos muestran desniveles máximos en el lago Rico de 24.5 m (1956) e incremento de caudales de hasta 1440 m³/s (1988), duplicando el caudal de base previo a la rotura.

Se confeccionó un modelo de simulación de embalse que permite pronosticar los hidrogramas de crecida en el río Santa Cruz producto de los desembalses rápidos que ocasiona la rotura del glaciar Perito Moreno. Los resultados obtenidos presentan una muy buena concordancia con las observaciones de campo, con diferencias en los caudales pico del orden del 6% para crecidas superiores a 1700 m³/s (superiores a 5 años de recurrencia).

Finalmente, no debe perderse de vista la complejidad hidrológica de la cuenca en estudio, que involucra el deshielo de glaciares, derretimiento de nieve y aportes de lluvias interactuando con el sistema lacustre.

Referencias

- Lenzano, M. G., Lannuttia, E., Tothb, C., L., L., Lo Vecchia, A., Falaschia, D., & Vich, A. (2018). Analyzing the oscillations of the Perito Moreno Glacier, using time-lapse image sequences. Cold Regions Science and Technology
- Nichols, R., & Miller, M. (1952). The Moreno Glacier, Lago Argentino, Patagonia. Advancing glaciers and nearby simultaneously retreating glacier. Journal of Glaciology. (Chang, 1988).

OBRAS PARA GENERAR OFERTA HÍDRICA EN RÍO ATUEL

Gustavo Villegas

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215
E-mail: gustavomaurovillegas@gmail.com

Introducción

La Provincia de La Pampa ha planteado por ante la CSJN una queja contra la Provincia de Mendoza y la Nación en el marco del art. 127 CN, requiriendo caudales del río Atuel con fines de recomposición ambiental.

La Corte sobre la base del nuevo paradigma que surge de la Constitución Nacional (artículo 41), sostuvo en 2017 que para proteger al ambiente es necesario la existencia de deberes positivos, es decir, hacer obras en defensa del ambiente, considerando que el problema no está en la demanda de un caudal, sino en la oferta del agua, de dónde proviene o quién la aporta. En función de lo cual, en una primera instancia decidió adoptar una función de cooperación, control y monitoreo, y requirió a las partes que ellas mismas a través de la Comisión Interprovincial del Atuel Inferior (C.I.A.I.) -que vincula a las provincias desde 1989- elaboren un programa de ejecución de obras que contemple diversas alternativas de solución técnica de las previstas en relación a la problemática del Atuel, como así también los costos de la construcción de las obras respectivas y su modo de distribución, sus beneficios, las urgencias de las poblaciones circundantes, la defensa del acceso al agua potable, la participación de las comunidades originarias radicadas en la región, como asimismo la sostenibilidad de la actividad económica productiva.

En 2020, la ausencia de acuerdo sobre el caudal mínimo y la postura pampeana en cuanto a que el mismo debía hacerse efectivo en forma inmediata y sin realización de obras, llevó a la Corte a fijar en forma provisoria un caudal de 3.2 m³/s, como meta interina en el camino a determinar el caudal definitivo, y disponer la reapertura del proceso de concertación en el ámbito de la C.I.A.I. a los efectos de que las partes determinen cuáles son las acciones u obras de infraestructura necesarias para alcanzar dicho caudal.

Al concluir dicho proceso, únicamente la Provincia de Mendoza propuso un programa a tal fin, coincidente con los que tanto esa Provincia como Nación habían propuesto en la primera etapa del proceso de concertación. La falta de acuerdo ha llevado a dicha provincia ha requerir que continúe el proceso efectos de que se sustancie la prueba -aún pendiente- tendiente a acreditar técnicamente las posturas de las partes.

El presente trabajo tiene el fin describir algunas de las 25 obras que conformaron el Plan propuesto por Mendoza.

Antecedentes y Plan de Obras propuesto

Mendoza con su experiencia hídrica, realizó estudios básicos y diseño de gabinete que han permitido estimar el cómputo y presupuesto de 25 alternativas de obras (Tabla 1), las cuales se evaluaron y seleccionaron mediante el procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica que brinda la metodología de Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas Agrícolas y Alimentarios (SAFA) propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para comparar obras y priorizar las más sustentables por medio de indicadores.

Dicha metodología, según fundamenta FAO, permite evaluar la sostenibilidad del sistema hidrológico en cada dimensión de sostenibilidad, considerando factores de gobernabilidad, ambiente, sociales y económicos a los fines de la mejor elección de las acciones a seguir (Figura 1).

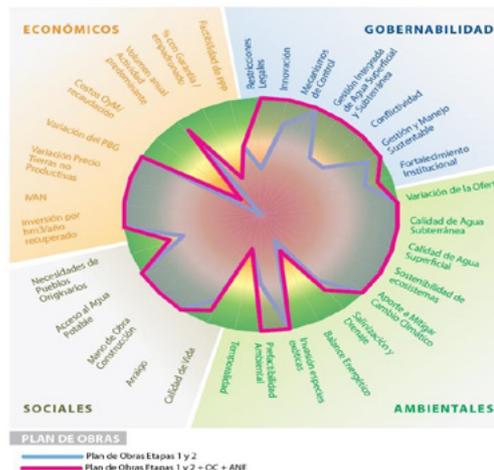


Figura 1.- Diagrama con los resultados obtenidos en la evaluación propuesta.

Las obras que se exponen en este trabajo son:

1 - Perforaciones

Con la finalidad de incrementar la oferta de agua en la cuenca del río del Atuel, se trabajó en la identificación y localización de 23 perforaciones, las que podrían ser construidas a 200 m de profundidad aproximadamente, estimándose que las mismas aportarían un caudal no menor a 50 l/s promedio. Es decir que, en total, las 23 perforaciones aportarían el equivalente a más de 1 m³/s permanente. La propuesta mendocina procuraba un uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, de modo que las primeras sustituyeran usos actuales en distintos puntos de la cuenca y liberaran caudal para el curso de agua.

2 - Encauces y revestimientos tramo Carmensa-Vinchuqueros.

El área de influencia de este proyecto de obra corresponde al sector del río Atuel entre Carmensa y Puente Vinchuqueros, incidiendo directamente en los caudales que llegan a territorio pampeano. En dicho tramo, existe una gran cantidad de meandros que podrían rectificarse en algunos tramos individualizados, mejorando la conducción por disminución las pérdidas. Por la característica de todo el tramo de río la acción de intervención sería mínima. Algunos tramos pueden encauzarse y revestirse con membrana soterrada, logrando caudales con una eficiencia económica (costo por hm³/año recuperado) mejor al promedio.

3 - Tramo superior canal marginal del Atuel

El área de este proyecto de obra se desarrolla a través de los distritos mendocinos de Rama Caída, Las Malvinas y Villa Atuel, del Departamento de San Rafael, aunque su influencia se extiende más allá de estos.

El proyecto contempla dos etapas de intervención, la primera se refiere a los trabajos en la solera del cauce en una longitud de 5.5 km en el tramo del río ubicado en la zona de inicio de las obras, a la salida hacia la llanura del río en Valle Grande y el correspondiente Azud de toma de canal Correa. La obra busca atenuar (no evitar) las pérdidas por infiltración, que aunque retornan aguas abajo por ser un río ganador, lo hacen con mayor salinidad.

La segunda etapa de intervención consiste en la construcción de un tramo de canal revestido en hormigón armado de características telescópicas con derivadas a lo largo, que incluyen obras singulares para su operación, la longitud total de traza de 37.14 km. Su punto inicial se ubica en la zona final del sector del río enmarcado por elevaciones, al inicio de la planicie irrigada, y su punto final en la actual toma del Canal Marginal en el paraje de la Guevarina, Departamento de San Rafael. El proyecto generará menores pérdidas por infiltración y una optimización de la eficiencia en la distribución del sistema en general, y mejora las condiciones de operación y defensa ante crecidas aluvionales en la zona del Cañón del Atuel.

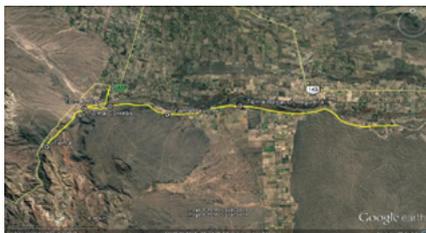


Figura 2.- tramo intervención, canal marginal superior.

4 - Estudios zona Sosneado - La Junta

En la búsqueda de estudiar alternativas para recuperar caudales se ha analizado la zona del cauce río Atuel, desde la localidad del Sosneado hacia el este y desde el cruce de la ruta 40 con el río Salado en dirección al este, caracterizado por brazos entrelazados del río, con suelos muy permeables y consecuentemente alta infiltración. Se estima que las obras a realizar en dicha zona permitirán encauzar en un único brazo y disminuir las pérdidas por infiltración en el cauce del río. La unificación de ambos cursos en uno solo cubriría aproximadamente una superficie 50 km². El alcance de esta propuesta requiere mayores estudios para evitar efectos negativos en el sitio Ramsar y Área Natural protegida Llancañelo.

5 - Trasvase río Grande al río Atuel

Esta obra se encuentra aprobada en el tratado de COIRCO y consiste en un trasvase del Río Grande al Río Atuel de caudales reducidos, muy inferiores a la sumatoria de los cupos mendocino + pampeano.

La propuesta responde a la señalado por la Corte en 2017, en cuanto a que es necesario identificar posibles fuentes de provisión con una mayor amplitud, abarcando toda la cuenca y las regiones afectadas.

6 - Reservorio regulador limite interprovincial

El área de influencia corresponde a la cuenca del Atuel Inferior en la provincia de La Pampa.

El objetivo del proyecto es regular las oscilaciones propias del río luego de recorrer 280 km desde las obras de regulación en Valle Grande, para mantener un caudal permanente de 3.2 m³/s, según fuera dispuesto.

El funcionamiento hidráulico previsto consiste en tomar parte de los caudales correspondientes al río en un punto superior al límite interprovincial mediante una obra civil compuesta de compuertas de ataje.

Tabla 1.- Plan Obras (Elaboración propia).

1	Embalse compensador/ Dique en La Puntilla La Pampa
2	Modernización sistema de riego Canal Perrone (Impermeabilización, modernización compartos y construcción de reservorios)
3	Modificación sistema de riego Canal Correas (Cambio parcial de traza, impermeabilización y modernización compartos) Unif. Sist. Riego Canal Babacci y Canal Regueira

4	Modernización sistema de riego Canal Izuel (Impermeabilización y construcción de reservorios)
5	Modernización Canal Matriz Jauregui - Rama Soitúe y Claveles (Impermeabilización y reconstrucción de compartos)
6	Modernización Sistema Canal Matriz Atuel Sud (Cambio de traza, unificación de hijuelas y construcción de reservorio)
7	Mejora Sistema de Riego Canal Matriz Real del Padre (Impermeabilización ramas secundarias y construcción reservorio)
8	Modernización Sistema de Riego Canal San Pedro (Impermeabilización, modernización compartos y construcción reservorio)
9	Impermeabilización y reservorios en sistemas de riego con tomas sobre el Salado y Atuel - Canales Sosneado, Coihueco y La Junta)
10	Limpieza y Adecuación del cauce (La Pampa: tamariscos cauce área bañados)
11	Encauces mejoras tramo El Sosneado - La Junta
12	Dique derivador aguas abajo de Algarrobo del Águila
13	Dique derivador aguas arriba de Paso de los Algarrobos
14	Conexiones Diamante Atuel
15	Realiz. acueductos uso humano (agua pot. puestos y comunid. originarios) y gdero
16	Sistemas de Riego comunitario por Gravedad
17	Sistemas de Riego comunitario Presurizado
18	Sistemas de Riego Parcelario/Goteo
19	Sistemas de Riego Parcelario/Aspersión
20	Sistemas de Riego Parcelario/Gravit. Mejorado
21	Tramo superior canal marginal del Atuel
22	Encauces/Revestimiento tramo hacia La Pampa: Carmensa - Vinchuqueros
23	Readecuación y Mantenimiento de desagües y drenajes
24	Trasvase del río Grande al Atuel
25	Complemento/Refuerzo Aguas Subterráneas

Conclusiones

En este resumen se ha descripto algunas de las obras, las de mayor envergadura, consideradas y trabajadas en el marco de la CIAI.

El plan propuesto contiene un total de 25 obras que garantizan cumplir con la manda de la CSJN para remediar el ecosistema del Noroeste pampeano, satisfacer los usos existentes en la provincia de Mendoza, (hoy insatisfechos) y mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca.

El Plan de obras, Acciones y Monitoreo Sistema Río Atuel propuesto por Mendoza evita generar nuevos conflictos al mantener los usos actuales del agua, atender al ecosistema mediante el aumento la eficiencia (extra e intra perimetral), mejorar la oferta con agua subterránea, implementa acciones en la gestión, medición e información. Además, atiende los efectos del cambio climático de una cuenca impulsada por la precipitación nival en cordillera.

Por último es propicio mencionar que este plan debe ir acompañado por obras menores o de menor envergadura, como sistemas comunitarios de riego presurizado, mejoras en la eficiencia de riego con la realización de impermeabilizaciones en distintas partes de las redes secundarias y terciarias, realización de compartos móviles que permitan mejorar la eficiencia de distribución.

Bibliografía

- Estudio de Mendoza para la recomposición del ecosistema del noroeste pampeano (2018) - 396 pág. CIAI - Mendoza
- Programa definitivo de obras para la solución integral de la problemática del río atuel (2018) - 476 pág. + anexos CIAI Mendoza
- Plan de obras, acciones y monitoreo. Sistema río Atuel (2020) - 567 pág. CIAI Mendoza
- Departamento General de irrigación (2017). Balance hídrico del río Atuel. Mendoza, 205 pág.



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

05

Aspectos hidroambientales

<p>MONITOREO DE CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN Marisol Abelli Bonardi, Andrea García Tourn, Florencia Ugolini, Manuel Lillo, Leandro Troncoso, Lorena Laffitte, Daniel Rivera, Mariana Torres, Betina Laurenzano, Julieta Muñiz Saavedra y Pablo Macchi</p>	496
<p>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO Y AGROPECUARIO EN UN SECTOR DEL OESTE DE BUENOS AIRES Rosario Acosta, Eleonora Carol, María del Pilar Alvarez, María Paz Pasquale Pérez, Guido Borzi y Francisco Cellone</p>	498
<p>CALIDAD DE AGUA Y SU RELACIÓN CON VARIABLES HIDRO-METEOROLÓGICAS: MODELO DE ESPACIO DE ESTADOS MULTIVARIADO Pablo Adrenoni, Marcia A. Ruiz, María Inés Rodríguez, Francisco Ruibal y Ana Laura Ruibal Conti</p>	500
<p>PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DEL A° VAQUERÍAS Mayra Agüero, Helena Calvimonte, Raquel del V. Bazán, Nancy B. Larrosa y José M. Toledo</p>	502
<p>CIANOTOX. KITS DE BIOSENSADO DE CIANOTOXINAS Ezequiel Alba Posse, Yamila Gándola, Ariana Rossen, Macarena Alvarez, Alejandro Nadra y Javier Gasulla</p>	504
<p>POSIBLES CAMBIOS DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA PAPA EN ARGENTINA DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO Gustavo Almeida y Bárbara Civit</p>	506
<p>PLOMBOX: DISPOSITIVO DE CÓDIGO ABIERTO PARA LA MEDICIÓN DE PLOMO EN AGUA POTABLE Macarena Alvarez, Yamila Gándola, Javier Gasulla y Alejandro D. Nadra</p>	508
<p>DISTRIBUCIÓN DE FLUORURO GEOGÉNICO EN VERTIENTES AFLUENTES DEL ARROYO TELSEN, CHUBUT María del Pilar Alvarez, Eleonora Carol, Gabriela Massaferró, Lina Sonia Videla, Tomás Bosco, Pablo José Bouza y César Mario Rostagno</p>	510
<p>ARG CAP-NET: 20 AÑOS DE COOPERACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA Marcela Andino, María Jimena Andreazzini, Fernando Andrés; Enrique Angheben, Roxana Banda Noriega, Mario Basan Nickish, Mauricio Buccheri, Olga Cifuentes, José Luis Cionchi, Marcos Cipponeri, Leandro Díaz, Oscar Duarte, Mauro Epelbaum, Valentina Erice, Alicia Fernández Cirelli, Silvia Ferreira, Mónica Gabay, Albertina González, Cristóbal Lozeco, Laura Mármol, Edel Matteoda, Roberto Esteban Miguel, Valeria Mendoza, Ana Mugetti, Martín Ninni, Marta Paris, Daniel Petril, Jorge V. Pilar, Víctor Pochat, Pablo Ramati, José Reta, Corina Rodríguez, Mariana Romanatti, Alejandro Ruberto, Mario Schreider y Alejandra Volpedo</p>	512
<p>HUELLA HÍDRICA REFERENCIAL DEL CULTIVO DE VID PARA VINIFICAR EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO COLORADO Carolina M. Aumassanne, Dardo, R. Fontanella, María Eugenia Beget, Carlos M. Di Bella, María Lujan Masseroni y Ayelén Varela</p>	514
<p>DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE REAIREACIÓN MEDIANTE LA INYECCIÓN INSTANTÁNEA DE TRAZADORES, EN UN TRAMO DEL ARROYO CHICAMTOLTINA Gonzalo Barbero Medina, Agustina Candotti, Murúa Josefina Prenol, Nancy Larrosa y Ana Nadal</p>	516
<p>EXPERIENCIAS Y DESAFÍOS DE UN MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EN EL MARCO DE UNA RED DE SITIOS PILOTO DEL OBSERVATORIO NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN (ONDTYD) Martha Fidela Bargiela, Augusto Bellanich, Juan Manuel Cabrera, Edgardo Devia, Carla Moscardi, M. Fabrezi, Almut Therburg, José Berardi, Néstor Di Leo, Francisco Cardozo,</p>	

Sergio Montico, Verónica Jonkovic, Ricardo Pagani, Cecilia Caruso, Laura Albizuri, Julia E. Capurro, M. Belén Barrera, Juan C. Colazo, Natalia Van Opstal, Paula Názaro, Natalia Politi, Gimena Uran, Adriana Aranda-Rickert, A. V. Olmos, Cristina Ugarte, Leandro Antoniazzi, Leandro Alvarado, Julio Cruz Fabrezzi, Virginia Velasco, Anabella Fantozzi, Bárbara Iwasita, P. Alvarez, Lina S. Videla, María Luz Vallejos, P. Lizana, C. B. Escobar, H. Correa y M. Cecilia Rubio	518
EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO EN EL ACUÍFERO LIBRE TULUM, SAN JUAN, ARGENTINA	
Romina Battistella, Fernanda González Santivañez, Fernanda Carelli y José León	520
ELIMINACIÓN DE FENOL EN AGUA MEDIANTE PROCESOS OXIDATIVOS AVANZADOS	
Sofía Bidal, Nicolás A. Sacco, Alejandra V. Devard y Fernanda A. Marchesini	522
SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA ELIMINACIÓN DE FENOL PRESENTE EN AGUA, DE CATALIZADORES DE ZN Y ZNO SOPORTADOS EN ALÚMINA	
Sofía Bidal, Fernanda Miranda Zoppas, Nicolás Sacco y Fernanda A. Marchesini	524
DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN LA REGIÓN SUR DE LA PROVINCIA DE RÍO NEGRO	
Juan Manuel Cabrera, Lucas Menger, Fabiola Álvarez, Anabella Fantozzi, Virginia Velasco, Georgina De Micco y Ana E. Bohe	526
CONDICIONANTES GEOLÓGICOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MANANTIALES QUE SUSTENTAN A ZONAS DE MALLINES EN ALTA MONTAÑA	
Carolina Calvi, Lucas Fennell, Claudia Di Lello, Eleonora Carol y Maximiliano Naipauer	528
DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA Y PROCESOS DE SALINIZACIÓN EN CURSOS FLUVIALES DEL LITORAL PATAGÓNICO	
Eleonora Carol, María del Pilar Alvarez, Américo Torres, Rosario Acosta, Guido Borzi, T. Bosco, Luis Vigiani y Germán Kürten	530
HIDROQUÍMICA DE AMBIENTES DE MARISMAS EN EL ÁREA DE PUERTO LOBOS, PATAGONIA ARGENTINA	
Eleonora Carol, M. Álvarez, Américo Torres, Mauricio Faleschini, T. Bosco, Rosario Acosta, Guido Borzi, Nicolás Scivetti y Pablo Bouza	532
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CTALAMOCHITA, VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA	
Gabriela Cejas, Germán Tissera, Ignacio Battisti y Juliana Olcelli	534
PROPUESTA INTEGRAL DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO “EL ALGARROBAL”, VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA	
Gabriela Cejas, Germán Tissera, Ariel Uema, Paola Ruiz y Sara Tito Moscoso	536
IMPACTO DE LA ACTIVIDAD TAMBERA EN LOS PROCESOS GEOQUÍMICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA ABASTO SUR, PROVINCIA DE BUENOS AIRES	
Francisco Cellone, Guido Borzi, Lucía Santucci, Carolina Tanjal, Claudia Di Lello, Lisandro Butler, Joaquín Córdoba, Luciano Lamarche, Julieta Galliani, Edoardo Melendi, María Isabel Delgado y Elenora Carol	538
ECONOMÍA CIRCULAR DEL AGUA: USO, TRATAMIENTO Y REÚSO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA, ARGENTINA	
Eduardo Comellas, Araceli Agneni, Santiago Ruiz Freites y Emilia Agneni	540
PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CINTURÓN VERDE DE MENDOZA	
Daniela Cónsoli, José Zuluaga, Alejandro Drovandi, María Laura Gomez, Gregory Hoke, Analía Valdés, Agostina Micheletti, Amalia Haye, Carlos Rodríguez, Máximo Velgas, Varela Andrés Martínez y Ana Paz Vignoni	542
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACUMULACIÓN DE FÓSFORO EN EL AMBIENTE	
María Victoria Cremona, Martha Cecilia Riat, Carlos Catenazzo, Virginia Velasco y Santiago Magnin	544
INDICADORES ESPACIALES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO SOCIOAMBIENTAL ANTE LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS NO-CONVENCIONAL EN VACA MUERTA, ARGENTINA	
Catherin Davies, Lucia Orrego, Agustín Gonzalez, Romina Diaz Gomez, Marina Mautner y Laura Forni	546
DISPOSITIVO DE USO DOMÉSTICO PARA LA PROVISIÓN DE AGUA SEGURA	
Gabriela Delgado y María Isabel Delgado	548

MONITOREO DE HERBICIDAS EN EL SECTOR DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DEL ACUÍFERO NORTE PERTENECIENTE A LA LOCALIDAD DE METILEO Juan Agustín Domke, Fabrizio N. Caresani Tossoni, Cynthia B. Duboscq Díaz y Gastón Buss	550
MATERIALES ADSORBENTES ECO-AMIGABLES APLICADOS EN REMEDIACIÓN ACUOSA Quimey Dorsch, Gipsy Peña Ramirez, Jimena Gonzalez, Romina Ollier, Leonardo Cano, Vera Alvarez y Estefanía Baigorria	552
RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO BLANCO DE MENDOZA: CALIDAD FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y MONITOREO DE ISÓTOPOS ESTABLES Alejandro Drovandí, José Zuluaga, Daniela Cónsoli, María Laura Gómez, Analía Valdés, Cora Dedíol, Agustina Micheletti, Gregory Hoke, Amalia Haye, Andrés Martínez Varela, Carlos Rodríguez y Máximo Velgas	554
DETECCIÓN DE CUERPOS DE AGUA CON PRESENCIA DE FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN ARGENTINA, ENTRE ENERO Y ABRIL DE 2023 A PARTIR DE DATOS SATELITALES Andrea Drozd, Gabriela Coppo y Paula de Tezanos Pinto	556
FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTAMINADOS CON FURFURAL Macarena C. Echeverría, Evangelina Sandoval, Víctor Hugo Gauto y Claudia S. Benimeli	558
CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS DE PLANTAS POTABILIZADORAS QUE UTILIZAN ÓSMOSIS INVERSA Yanina El Kassisse, Lorena Marquina, Marisol Reale, Jimena Ávalos, Sergio Hanela y Valentina Olmos	560
DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BASE ANTÁRTICA CONJUNTA PETREL, ARGENTINA Yanina El Kassisse, Marisol Reale, Nelson Díaz, Lorena Marquina, Alicia Duek, Guido Casanovas, Roberto Serafini, Jorge Tarifa y Alejandro Paz	562
EVALUACIÓN DE DESARROLLOS URBANOS DE BAJO IMPACTO EN OBERÁ MISIONES José J. Fernandez, Dario T. Rodríguez y Gerardo A. Riccardi	564
USO DE TERMOGRAFÍA COMO INDICADOR DEL ESTADO HÍDRICO DE PLANTAS DE CIRUELA Florencia N. Ferrari, Daiana G. Mateo, Carlos M. Puertas y Marcos A. Montoya	566
PROPUESTA DE PROTOCOLO DE RECuento <i>MICROCYSTIS SP.</i> Araceli Ferreyra, Florencia E. Romero, María I. Rodríguez, Micaela Juaneda Allende, Marcia A. Ruiz y Andrés Rodríguez	568
PRIMER FLORACIÓN DE CIANOBACTERIA EN EL RÍO BERMEJO (ARGENTINA). POSIBLES CAUSAS Y CONSECUENCIAS Marina E. Forastier y Nancy Raffault	570
REGULACIÓN DE LAS TRANSICIONES EN AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTOS DESDE EL DIÁLOGO ENTRE LA ECONOMÍA POLÍTICA Y LA ECOLÓGICA María Karina Forcinito y Pablo Alberto Varela	572
SALINIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CRESTAS DE PLAYA UBICADAS EN LA FRANJA COSTERA LITORAL ATLÁNTICA BONAERENSE Julieta Galliari, Lucía Santucci, Félix Nuñez, María Paula Leal, Edoardo Melendi, María del Pilar Álvarez y Eleonora Carol	574
ODS 6.6.I: EXPERIENCIAS DE COOPERACIÓN PARA LA CAPACITACIÓN DE GESTORES Fernanda J. Gaspari, Marcos Cipponeri y Alejandra V. Volpedo	576
GESTIÓN AMBIENTAL DE EFLUENTES CLOACALES APLICANDO EL CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR Edgardo Ghellinaza, Miriam López, José Flores y Gastón Paez	578
CO-PRODUCCIÓN DE SBN PARA MITIGAR EL IMPACTO DE EFLUENTES EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL ARROYO SAN FRANCISCO: EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTROS Barbara M. Gomez, Sofía Larrandart, Camila Saveika, M. Quinteros, Franco Pérez Hernández, N. S. Diaz, Rodrigo Sinistro y Martín Graziano	580
DETERMINACIÓN SIMULTÁNEA POR CROMATOGRAFÍA GASEOSA ACOPLADA	

A MASAS DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS, HORMONAS Y DISRUPTORES ENDOCRINOS EN EFLUENTES DOMÉSTICO-PLUVIALES Bárbara M. Gomez, Franco Perez Hernandez y Martín Graziano	582
RESPUESTA HIDROQUÍMICA A LA CONSTRUCCIÓN DE AZUDES SOBRE EL SISTEMA RÍO DESAGUADERO, PROVINCIA DE MENDOZA María Laura Gomez, Sabina D'Ambrosio, Hugo Debandi, Paula Albelo, María Florencia Diaz y Gregory Hoke	584
DETECCIÓN DE RESIDUOS ACUÁTICOS MEDIANTE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Florencia González, Lucia Romay, Giuliano Cersosimo y Jorge Pellegrini	586
OPTIMIZACIÓN DE LA DECOLORACIÓN DE ACID BLACK POR UNA CEPA BACTERIANA AUTÓCTONA Luciana Grifes Paisan, María Susana Fortunato, Mariana Papalia, Marcela Radice, Alfredo Gallego y Sonia Edith Korol	588
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO BOVINO Carina Griffa, Rosana Boglione, María Cecilia Panigatti, María Celeste Schierano, Gonzalo Gutiérrez y Melina Asforno	590
INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DE RAFAELA EN EL AGUA SUBTERRÁNEA: ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA Gonzalo Gutiérrez, María Cecilia Panigatti, María Celeste Schierano, Rosana Boglione, Carina Griffa, Javier Melidoro y Luciana Jennerich	592
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE SOBRE LAS HUELLAS HIDROLÓGICAS Lenin Henriquez-Dole, Jorge Gironás y Francisco Meza	594
ANÁLISIS DE LA POTENCIALIDAD DE CONTAMINACIÓN POR FOSFORO EN ACUÍFEROS DE AMBIENTES HALO-HIDROMÓRFICOS Olga S. Heredia, Andrés J. Tarditti y Agustín N. Martínez Soto	596
ACCESO AL AGUA Y URBANIZACIÓN POPULAR: HACIA NUEVAS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE REDES DE AGUA Jeremías Juan Ispizua	598
CALIDAD DE AGUA EN EL SITIO PILOTO CUENCA DEL ARROYO GARUPÁ, MISIONES Bárbara Iwasita, Silvia Albarracín, Oscar Paniagua, Gabriel Capuzzi, Jeronimo Torresin, G. Ruiz Diaz	600
MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LAS INTERVENCIONES DE LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE LOS CAUCES DE AGUA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. HACIA LA RESTAURACIÓN FLUVIAL Guillermo Jelinski, Paula A. Ramírez y Adriana C. Rojas Barrios	602
PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE CIANOBACTERIAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Guillermo Jelinski, Paula A. Ramírez y Facundo Bordet	604
PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES EN TORNO A LA EXPLOTACIÓN DE LITIO EN LA PUNA ARGENTINA Verónica Kwaterka, Joaquín Orzanco y Marcelo Sticco	606
GENERACIÓN DE AGUAS GRISES EN EL AMBA (ARGENTINA) Y POSIBILIDADES DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN Victoria Larotonda y Gabriel O. Basílico	608
CALIDAD DEL AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO GANADERO EN EL SECTOR NORESTE DEL PARTIDO DE GENERAL LAVALLE María Paula Leal, María Paz Pasquale Pérez, Rosario Acosta, Vanesa Ali Santoro, Lucía Santucci y Eleonora Carol	610
CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA EN CHACRAS DE SAN CLEMENTE, PARTIDO DE GENERAL LAVALLE María Paula Leal, Julieta Galliarri, Félix Nuñez y Eleonora Carol	612
CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CAPA FREÁTICA EN CAMPOS DE DISPOSICIÓN DE VINAZA, PROVINCIA DE TUCUMÁN Moro Pablo Llomparte Germán	614

EVALUACIÓN DE MICROALGAS PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA A PARTIR DE EFLUENTES DE TAMBO Guillermo López Meyer, Santiago Marsili, Adelina Nashiro, Verónica Vazquez y Tomás Rearte	616
MODERNIZACIÓN Y RE-FUNCIONALIZACIÓN BAJO NORMAS DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE BOMBAS DEL IDIH – UNSJ María Eugenia Paz y Facundo Gabriel Lopez Rios	618
SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA POR RADIACIÓN SOLAR A ESCALA DOMÉSTICA PARA COMUNIDADES VULNERABLE María Fernanda Lopolito, Ariana Rossen, Rocio Sanmartin, Osvaldo Guillermo Mena, Yanina El Kassisse, Marisol Reale, Nelson Samuel Díaz, Lorena Marquina, Daniel Calvo, Melisa Ramírez y Noelia Vera	620
CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y VIGILANCIA DE LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA PROVINCIA DEL CHACO Liliana Lösch, Alejandro Sandi, Salvador Leyes, Diego López y Luis Merino	622
UNA MIRADA HACIA EL INTERIOR DEL AGUA CON LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN Ivana Maero	624
ANÁLISIS INTEGRAL DE RIESGO AMBIENTAL DEL BARRIO CANTERA DE LA CIUDAD DE SAN MARTÍN DE LOS ANDES Y LA INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE VIDA DE LA POBLACIÓN. PROPUESTAS PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE Maidana Ain y María Asunta de las Nieves Romero	626
ENSAYO DE BOMBEO EN UN POZO DE EXPLOTACIÓN PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RECURSO HÍDRICO EN AZUL, BUENOS AIRES Matías Maino Minetto, María Soledad Gualde, María Eugenia Peralta Reyes y Sebastián Dietrich	628
ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE UNA MATRIZ REAL POR EL MÉTODO DE COAGULACIÓN Milena Marino, Tatiana Arturi y Jorge Sambeth	630
OPTIMIZACIÓN DE PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA DESCENTRALIZACIÓN Y REUSO Maribel Graciela Martínez Wassaf, Yanina Alejandra Grumelli, Jorge Eduardo Castillo y Adriana Beatriz Welter	632
TOLERANCIA DE DIFERENTES PORTAINJERTOS DE CIRUELO EUROPEO A CONDICIONES SALINAS Daiana Mateo, Carlos Puertas y Antonio Weibel	634
EL NEXO EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS, LA AGRICULTURA IRRIGADA Y LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA Roberto E. Miguel y María Cecilia Gareis	636
EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA EN ACUÍFEROS EXPLOTADOS PARA IRRIGACIÓN Y ABASTECIMIENTO POBLACIONAL EN EL OESTE DE LA RIOJA Roberto E. Miguel y Joaquín V. González Ribot	638
EFFECTO DE LECHOS NO CONVENCIONALES EN HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL URBANA Laura Modini, Ana Pizarro, Manuel Arnold y Mariel Zerbato	640
EFICIENCIA EN BIODEGRADACIÓN DE VINAZA Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA FÚNGICA POR UNA CEPA NATIVA DE PICNOPORUS SP Liliana Moraña, Clara Farfán, Verónica Lozano, Florencia Alvarez Dalinger, Claudia Borja y Mónica Salusso	642
CUANTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS DE LA CUENCA URBANA MATANZA-RIACHUELO Magali Moreno, Santiago Goin, Alicia Fabrizio de Iorio y Martha Bargiela	644
MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE UN EVENTO DE FLORACIÓN ALGAL EN EL EMBALSE SAN ROQUE, CÓRDOBA, ARGENTINA Jonathan Muchiut, María Inés Rodríguez, Ana Laura Ruibal Conti, Marcia Ruiz y Andrés Rodríguez	646
INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE MICROALGAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS Adelina Nashiro, Hernán Kucher, Carlos González, Alicia Fabrizio de Iorio, Elio Mauro y Tomás Rearte	648

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LA EXPOSICIÓN A AGROQUÍMICOS EN AGUA DE CONSUMO DE ESCUELAS RURALES Bethania Nicora, Rosario S. Barranquero, Natalia E. Othax, Fanny S. Martens y Natali Lazzaro	650
EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA EN LA CUENCA DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT (VIRCH) Marina Nieves El Makte, Mauricio Faleschini Mauricio, Rosana Polifroni, Américo Torres, Ana Fazio, Germán Marino, Diego Baulde, Hebe Amado, Ana Marino y Fabiana Salvo	652
ESTUDIO DE METALES Y METALOIDES EN SEDIMENTOS DEL RÍO TERCERO (CTALAMOCHITA) CÓRDOBA Patricia O'Mill, Mariana S. Roqué, Helena Calvimonte, Horacio S. J. Herrero, Gabriel E. Carnicelli, Lucila Loss, Gabriel Jaeggi y Ana M. Cossavella	654
EVALUACIÓN DEL NIVEL DE EUTROFIZACIÓN EN EMBALSES MULTIPROPÓSITOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA Patricia O'Mill, Raquel del V. Bazán, Helena Calvimonte, Horacio S. J. Herrero, Mariana S. Roque y Gabriel Jaeggi	656
IMPACTO DEL USO DE SUELO EN LOS TRIBUTARIOS DEL EMBALSE RÍO III Patricia O'Mill, Matías Bonansea, Horacio S. J. Herrero, Helena Calvimonte, Mariana S. Roque y Lucila Loss	658
EVOLUCIÓN HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA SUBTERRÁNEA LOS BERROS NORTE EN UN PERIODO DE 60 AÑOS Irene Ortega, Silvia Mérida y Fernanda Carelli	660
MEJORA SUSTANCIAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE RÍO HONDO, CUENCA DEL RÍO SALÍ-DULCE, DURANTE LOS ÚLTIMOS 12 AÑOS María L. Ostengo, Mariana E. Jaime y Bettina L. Schilman	662
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE MONTAÑAS DE CUENCAS ENDORREICAS CON DIFERENTES COBERTURAS SUPERFICIALES Sofía Paná, Matías Bonansea, Inés Asís, Patricia O'Mill y Anabella Ferral	664
APORTES DE FLÚOR DE LA MINA LA NUEVA, AL ARROYO LAS CATITAS, SIERRAS DE CÓRDOBA, ARGENTINA Lucía Paredes y Raúl E. Paredes	666
ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD GENERALIZADORA DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA SIMULACIÓN DE UN FILTRO DE ADSORCIÓN Jorge Pellegrini, Belén Arévalo, Sol Petrole y Jorge de Celis	668
REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUA MEDIANTE COLUMNAS EMPACADAS CON CARBÓN ACTIVADO: ANÁLISIS Y MODELADO Jorge Pellegrini, Sol Petrole, Belén Arévalo y Jorge de Celis	670
QUITINA Y QUITOSANO COMO POSIBLES COAGULANTES DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA Erika D. Perez, Graciela Y. Moltrasio y Liliana Maldonado	672
RELEVAMIENTO TERRITORIAL, EFECTOS Y MANEJO DEL MEJILLÓN DORADO EN LOS APROVECHAMIENTOS MULTIPROPÓSITO DE ARGENTINA Ailín Pertierra, Hebe Marta Barber y Ana Laura Valgañón	674
EVALUACIÓN DEL NEXO AGUA-ENERGÍA-ALIMENTOS EN UN PARQUE SOLAR DE LA PROVINCIA DE MENDOZA (ARGENTINA) Roxana Piastrellini, Silvia Curadelli, María Cristina Martínez, Paula Giorlando y Alejandro Pablo Arena	676
GENERACIÓN DE ENERGÍA Y REMOCIÓN DE FÓSFORO EN UN HUMEDAL CONSTRUIDO ACOPLADO A UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA Ana Pizarro, Mariel Zerbato y Laura Modini	678
INFLUENCIA DEL PH EN LA MOVILIZACIÓN DE METALES PESADOS María Cristina Quiroga, Alejandra Sebök	680
EL ROL DE LAS MACRÓFITAS ARRAIGADAS EN LA ESTABILIZACIÓN Y ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS. CASO DE ESTUDIO CON SAGITTARIA MONTEVIDENSIS EN SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE LA CUENCA MATANZA-RIACHUELO Marisol Reale, Bárbara M. Gomez, Yanina El Kassisse, C. Mujica, Carlos E. Gomez, Laura de Cabo y Valeria Rodríguez Salemi	682

CALIBRACIÓN DEL PARTICLE ENTRAINMENT SIMULATOR PARA REALIZAR ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE DRAGADO Y EVALUAR CAMBIOS EN CALIDAD DEL AGUA Valeria Rodríguez Salemi, Marisol Reale, Hernán Vassallo, Gustavo Curutchet y Agnès Paterson	684
USO DE CATEGORÍAS TOXICOLÓGICAS COMO HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE DOS CUENCAS FLUVIALES DE UNA REGIÓN SEMIÁRIDA DE ARGENTINA Ariana Rossen, M. Florencia Kronberg, Araceli Clavijo, Mariana Manetti, Aldana Moya, Daniel Calvo, Adriana Mariani, Rocio Hernández, Santa E. Salatino, José Morábito, Mario Rossi y Eliana Munariz	686
CIANOBACTERIAS TÓXICAS EN AGUA: EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DOMÉSTICO PARA PROVISIÓN DE AGUA SEGURA Ana Laura Ruibal Conti, María Inés Rodríguez, Alejandro Díaz Lesta, Florencia E. Romero, Araceli Ferreyra, Carola L. Arnijas y Marcía Ruiz	688
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO CORRIENTE EN EL PERÍODO 2019-2022 CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA SEQUÍA Mario Salvia, Ana Meza y Omar Pérez	690
TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES INSPECCIÓN DESAGUANTES INDUSTRIALES COLECTOR PESCARA. PRUEBA PILOTO Fernando Santos, Manuel Carmona y Ernesto Oliva	692
VARIABILIDAD HIDROQUÍMICA DE AMBIENTES INTERMAREALES EN EL ESTUARIO MEDIO Y EXTERIOR DEL RÍO DE LA PLATA Lucía Santucci, Eleonora Carol, Carolina Tanjal, Julieta Gallari y María Paz Pasquale Pérez	694
EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES A ESCALA PILOTO: INNOVACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN URBANA SOSTENIBLE Camila Saveika, Bárbara M. Gomez, Sofía Larrandart, M. Quinteros, Federico Cherny, Rodrigo Sinistro y Martín Graziano	696
HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS: UN APORTE DESDE LA ECONOMÍA CIRCULAR María Celeste Schierano, Gonzalo Gutierrez, María Cecilia Panigatti, María Alejandra Maine, Rosana Boglione y Carina Griffa	698
POSIBILIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA NUEVA BASE PETREL, ANTÁRTIDA Adrián Silva Busso	700
DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN GRANJAS PORCINAS Y PUNTOS CRÍTICOS DE SU MANEJO Santiago Silva, Nicolás Cisneros Basualdo, M. Macarena Arrien, C. I. Touriñán, Marisol R. Cifuentes, J. González, Anahí Tabera, Maite M. Aldaya, y Corina I. Rodríguez	702
CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LAS LAGUNAS DE MONTE Y LAS PERDICES, BUENOS AIRES Carolina Tanjal, Guido Borzi, Eleonora Carol y Eduardo Piovano	704
PRESENCIA DE GLIFOSATO EN EL AGUA DE LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE CHACO, ARGENTINA María Alcira Trinelli, Ángeles I. Rodríguez, Florencia Mallou, Micaela Cruz, Sergio Hanela, Pablo E. Rosi, Vanina Lombardi, Juan Alaimes, Nelson Samuel Díaz, María Paz González, Gabriela Berden, Fabián Caballero y Yanina El Kassis	706
TURBERAS EN CUENCAS URBANAS Y PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE USHUAIA Adriana Urciuolo, Rodolfo Iturraspe, Lucía Fank y Eliana Peralta	708
CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MATANZA- RIACHUELO: CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO DE USO IV Cecilia Valea, Micaela Redlich y Juan Pablo Barabino	710
DINÁMICA DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS EN UNA CUENCA DEL NORTE DE ENTRE RÍOS, CON AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA Natalia Van Opstal, Emmanuel Gabioud, Mariela Seehaus, Ramiro Pighini, María R. Repetti, Marcelo Wilson, Ana Wingeyer, Alejandra Cuatrin, Luciana Regaldo, Ana María Gagneten, María C. Sasal	712

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS EN MUESTRAS PROVENIENTES DEL RÍO URUGUAY María Silvina Villemur, Marta Gabriela Rimini, Analía Susana Leis, Juan Pablo Figueroa, Dora Esperanza Vicente, Gloria Liliana Ciuccio, Soledad Saavedra Fuentes, Yolanda Elisabeth Arrieta y Yari Eduardo Garea	714
ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ASOCIADO A PRODUCCIONES AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA Evelyn Vuksinic y Roberto Esteban Miguel	716
BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS EN UNA ZONA RURAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Carina Tornello, Julián Mantovano, Celio Chagas, Juan Moretton y Lidia Nuñez	718

MONITOREO DE CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA PROVINCIA DE NEUQUÉN

Abelli Bonardi Marisol¹, García Tourn Andrea¹, Ugolini Florencia¹, Lillo Manuel¹, Troncoso Leandro¹, Laffitte Lorena², Rivera Daniel², Torres Mariana², Laurenzano Betina¹, Muñiz Saavedra Julieta², Macchi Pablo^{3,4}

¹ Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén, Argentina. fiscalizacionhidricanqn@gmail.com

² Subsecretaría de Ambiente de la Provincia del Neuquén, Argentina. biologiaacuatica@gmail.com

³ Universidad Nacional de Río Negro, General Roca, Argentina. pmacchi@unrn.edu.ar

⁴ CIRA- FACIAS, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén. Argentina. pmacchi@unrn.edu.ar

Introducción

El crecimiento demográfico, el rápido proceso de urbanización e industrialización, la expansión de la agricultura, el turismo y el cambio climático, ejercen una presión cada vez mayor sobre el agua. Debido a esta creciente tensión, la gestión adecuada de este recurso, de carácter vital, es de crucial importancia, debiendo prestar especial atención a su calidad y preservación (Flotemersch, *et. al.*, 2006).

En la Provincia del Neuquén convergen tres instancias de monitoreo sistemático de calidad de agua: una a cargo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SRH), Autoridad de Aplicación del Código de Aguas provincial, iniciada en el año 2011, otra a cargo de la Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) y otra a cargo del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), estas dos últimas con más de 20 años de monitoreos. Esto hace que Neuquén sea una provincia con una alta densidad de puntos de monitoreo de calidad de agua, con una vasta base de datos de parámetros físico-químicos, biológicos y de hábitat.

La SRH junto a la Subsecretaría de Ambiente y a la AIC, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional del Comahue, incorporó en el año 2013 el monitoreo sistemático de macroinvertebrados acuáticos, a fin de evaluar la calidad ecológica del agua mediante la aplicación de índices bióticos adaptados para la región.

Los resultados obtenidos, luego de 10 años de monitoreo continuo aplicando la misma metodología, han permitido caracterizar las aguas y establecer una línea de base ambiental de los recursos hídricos involucrados. De esta forma se ha generado una herramienta de gestión para la toma de decisiones ante una eventual afectación, y para la vigilancia ambiental de las cuencas hídricas de la provincia, teniendo en cuenta sus características naturales y las diferentes actividades antrópicas que en ellas se realizan.

El Origen del Programa - Trabajo Interinstitucional ante un Problema Ambiental

En el mes de septiembre de 2010 se produjo la detección del alga *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt 1899, por primera vez en Argentina, en los ríos Espolón y Futaleufú en la Provincia de Chubut. La presencia de esta diatomea exótica en aguas argentinas generó una preocupación especial, ya que se trata de un alga invasora con una alta tasa de dispersión y que se propaga principalmente mediante las actividades humanas y por agentes naturales, colonizando rápidamente los cuerpos de agua, alterando sus procesos ecológicos. La especie *D. geminata* rápidamente puede colonizar nuevos ambientes, por lo que debe ser controlada para evitar su dispersión a otros cuerpos de agua libres de su presencia.

La Provincia del Neuquén, estableció normas legales asociadas a la problemática y mecanismos de acción de manera articulada con distintos organismos. Se originó en 2011 el Programa de Vigilancia y Seguimiento del alga invasora *D. geminata*, a fin de monitorear su dispersión, y se instalaron puestos de control, desinfección y difusión, con el fin de disminuir al máximo sus posibilidades de propagación.

El monitoreo comprende el muestreo físico-químico de las aguas (análisis de laboratorio), medición de parámetros de campo, muestreo de fitoplancton y perifiton (multihábitat), y la

evaluación *in situ* del hábitat.

En 2013 se incorporó a la extensa red de monitoreo, el muestreo de macroinvertebrados acuáticos, para su utilización como **bioindicadores de calidad de agua**.

Dada la amplia extensión geográfica monitoreada, la gran base de datos físico-químicos, biológicos y de caracterización de hábitat obtenidos, hicieron de este Monitoreo, un **Programa Base de la calidad de los recursos hídricos de la Provincia del Neuquén**.

La selección de sitios de muestreo contempló las actividades humanas, la accesibilidad de cada sitio, su valor socio-cultural y la capacidad de la especie invasora para instalarse desarrollarse y propagarse. Desde el inicio del Programa, en el año 2011, se han ido incrementando la cantidad de sitios de muestreo, alcanzando un máximo de 75 en el año 2021 (Figura 1).

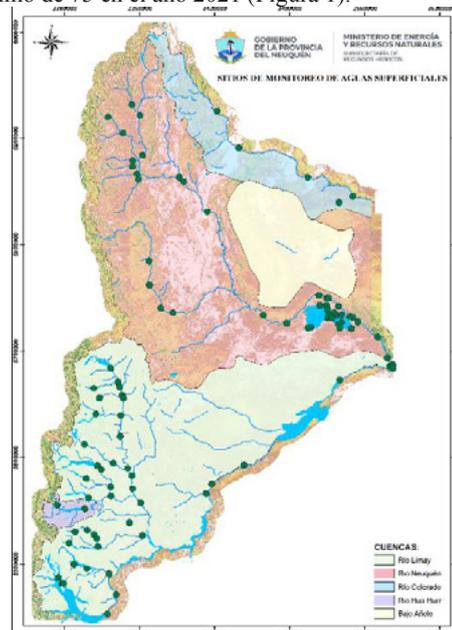


Figura 1.- Programa Base de la calidad de los recursos hídricos de la Provincia del Neuquén.

Aspectos del Programa Base de la calidad de los recursos hídricos de la Provincia del Neuquén

La implementación de este Programa requirió la incorporación de actividades de formación a los equipos técnicos a cargo, mediante Talleres Formativos: “Planificación y técnicas de monitoreo para evaluar la presencia del alga invasora *D. geminata* en el área cordillerana argentina” dictado por la UNLP. Organizado por la Secretaría de Estado de Recursos Naturales. Gobierno de la Provincia del Neuquén (Casco, M. A. y S. Sala. 2011) e “Introducción a la aplicación de técnicas de evaluación rápida del hábitat a través de bioindicadores, para la caracterización de los ríos de la Provincia del Neuquén” dictado por el Dr. Joseph E. Flotemersch, Ph.D. Senior Environmental Scientist, (2013). Adicionalmente fue necesaria la creación de una metodología de codificación de sitios, diseño de protocolos de monitoreo; gestión de recursos humanos y económicos; así como la vinculación de organismos públicos de gestión con instituciones científicas.

El programa se consolidó con el monitoreo de los siguientes componentes:

- Registro de parámetros físico-químicos *in situ*: pH, Oxígeno Disuelto, % Saturación de oxígeno, Temperatura del agua, Conductividad Eléctrica, Turbidez.
- Análisis químico del agua: iones mayoritarios y nutrientes (Laboratorio GECARA CRUB).
- Análisis biológico - algal: fitoplancton y perifiton (multihábitat). (Laboratorio GECARA CRUB).
- Análisis biológico - macroinvertebrados acuáticos (Laboratorio CIRA-UNCO).
- Evaluación del Hábitat.

Índices de Calidad Ecológica – ¿Qué Son?

Son metodologías que permiten asignar un valor de calidad al sitio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y biológico del ambiente bajo estudio. Existen diversos índices biológicos que evalúan la calidad ecológica del agua.

En la Provincia del Neuquén, en el presente programa se utiliza el índice biótico BMPS (Biological Monitoring Patagonian Streams) adaptado para la región por Miserendino y Pizzolón en 1999. Para arroyos y ríos de meseta, así como para grandes ríos de Patagonia, como el Limay Neuquén, el índice fue posteriormente ajustado y validado por Miserendino y colaboradores (2022).

Los macroinvertebrados son aquellos organismos acuáticos de tamaño mayor a 1 mm e incluyen platelmintos, moluscos, anélidos, ácaros, crustáceos e insectos. Estos invertebrados, que participan en el funcionamiento ecológico de los ríos, presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales y límites de tolerancia a los cambios de dichas condiciones ambientales. Existe una gran variedad de preferencias ecológicas entre los macroinvertebrados, de esta manera ante una alteración en el ambiente hay especies muy sensibles que pueden desaparecer o reducir su abundancia, mientras que otras, más resistentes, pueden incrementar su densidad.

De este modo pueden ser utilizados como bioindicadores de la calidad biológica del agua, a partir del cálculo del índice biótico BMPS.

Resultados logrados

En cuanto al objetivo inicial del Programa que consistía en la vigilancia y seguimiento del alga invasora, se puede decir que, si bien la expansión de *D. geminata* en la provincia del Neuquén fue continua desde su primera detección hasta la actualidad, la abundancia de esta especie alcanzó un pico entre los años 2014 y 2016, y posteriormente decreció a valores similares a los registrados en 2012 (G. Beamud *et al.*, 2019). Por otro lado no se detectaron floraciones algales (“blooms”) de la magnitud de las observadas en Nueva Zelanda.

Los resultados obtenidos, luego de 10 años de monitoreo continuo y sistemático aplicando la misma metodología, han permitido obtener una caracterización de la composición físicoquímica y florística (algal) de los cursos de agua evaluados, estableciendo así, una línea de base que los caracteriza.

Se logró asimismo el establecimiento de Índices adaptados según la región, aplicándose dos índices en la Provincia, uno particular para la cuenca de los ríos Neuquén y Colorado, y otro para la cuenca del río Limay.

Se ha logrado ampliar el conocimiento de la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos en ríos y arroyos de la provincia y la elaboración de mapas de la calidad ecológica del agua a escalas espaciales y temporales en las cuencas evaluadas, a partir de la aplicación del índice BMPS.

Los resultados obtenidos de la aplicación de los índices mencionados muestran **calidad ecológica del agua excelentes a buenas** para los sitios evaluados en las cuencas de los ríos Limay

Colorado y Neuquén, a excepción en esta última de tres sitios, en los cuales sus características hidráulicas podrían impedir una buena colonización de macroinvertebrados. (Figura 2).

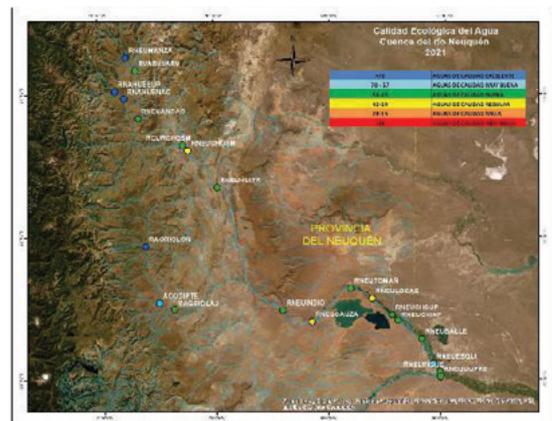


Figura 2.- Resultados del Índice BMPS en los sitios monitoreados en la cuenca del río Neuquén abril 2021.

Un nuevo desafío- la Herramienta de Gestión

En función de los resultados obtenidos, y considerando la presión de uso de los recursos hídricos en los sitios analizados, actualmente, se redefine el Monitoreo como un “Programa de Seguimiento de la Calidad de las Aguas de la Provincia del Neuquén”, a fin de que sirva como una herramienta para la gestión integral y sostenible de las cuencas en pos de una eficiente administración, conservación y resguardo de este bien de dominio público de vital importancia.

Otro aspecto fundamental que se pretende abordar, transversal a toda gestión, es la educación ambiental. El objetivo es promover la transmisión en las escuelas de conocimientos relacionados con la conservación y preservación del agua en nuestras cuencas, mediante la valoración de la calidad ecológica a partir de comparar la comunidad de macroinvertebrados que se encuentra en el agua del sitio evaluado con la de referencia, y así establecer la calidad del sitio. (Rueda & López, 2003).

Referencias Bibliográficas

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2023). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. 24th ed. Washington DC: APHA Press.
- Angelier, E. (2002) Ecología de las aguas continentales. Ed. Acribia. Zaragoza. 217 Pp.
- Beamud, S.G., (2019) Lorena Laffitte, Julieta Muñiz Saavedra, Gustavo Baffico, Betina Laurenzano, Mónica Díaz, Fernando Pedrozo “Controlling factors affecting the presence and distribution of *Didymosphenia geminata* in lakes and rivers of the Neuquén province, Argentina”. *Ecohydrology*. e2148. <https://doi.org/10.1002/eco.2148>.
- Casco, M. A. y S. Sala. 2011. Documento de capacitación “Planificación y técnicas de monitoreo para evaluar la presencia del alga invasora *Didymosphenia geminata* en el área cordillerana argentina”. UNLP.
- Flotemersch, J.E., J. B. Stribling, y M.J. Paul. (2006). “Conceptos y Enfoques Básicos para la Evaluación Biológica de Arroyos y Ríos no vadeables”. EPA 600-R-06-127. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Ladrera, R., Rieradevall, M. & Prat, N. (2013). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza*. e-Revista de Didáctica 11, retrieved 2013/12/20
- Macchi, Pablo; Laurenzano, Betina, (2015) Abelli Bonardi, Marisol, Ugolini, Florencia, Bonetto, Matías, Paez, Hugo, Martín, Juan José, Leonart, Mauro, Herrera Desmit, Martín, V Congreso sobre manejo de Ecosistemas y Biodiversidad, en la X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Presentación del Poster “Monitoreo de Calidad del Agua Utilizando Macroinvertebrados Bentónicos en el Tramo Inferior del Río Neuquén, Patagonia Argentina”, La Habana, Cuba). Cuba. El poster obtuvo el Primer Premio
- Miserendino L. y L. Pizzolón (1999). Rapid assessment of river water quality using macroinvertebrates: a family level biotic index for the Patagonic Andean zone. *Acta Limnol. Brasiliensis*, 11(2):137-148.
- Miserendino, M. L., Macchi, P.A. & Brand, C. (2022) Protocolo Macroinvertebrados, región Patagonia. In Giorgi, A., Domínguez, E. & Gómez, N. (eds) Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Consejo Nacional Investigaciones Científicas Técnicas - CONICET
- Rueda, J., & López, C. (2003). Valoración de la calidad biológica de los ríos. Claves de identificación para la enseñanza secundaria. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 17, 107–123.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO Y AGROPECUARIO EN UN SECTOR DEL OESTE DE BUENOS AIRES

Acosta R.^{1,2}, Carol E.^{1,2}, Alvarez M.P.³, Pasquale Perez M.P.^{1,2}, Borzi G.^{1,2}, Cellone F.^{1,4}

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (UNLP), La Plata, Argentina
2. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET – UNLP), La Plata, Argentina
3. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC – CONICET), Puerto Madryn, Argentina
4. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CONICET – UNLP), La Plata, Argentina

Introducción

En áreas en donde el recurso hídrico superficial es de carácter salino a hipersalino el agua subterránea se convierte en una fuente de vital importancia para abastecimiento, tanto humano como agropecuario (Custodio, 2005). En el oeste de la provincia de Buenos Aires (37.23°S - 63.09°W) (Fig. 1), no se desarrollan cursos de agua superficial de importancia para abastecimiento de agua y superficialmente el agua tiende a acumularse en cubetas endorreicas salinas a hipersalinas (Acosta et al., 2022). En este contexto, el abastecimiento de agua se realiza exclusivamente a partir del agua subterránea siendo las principales actividades de la zona el cultivo de girasol y maíz y la cría de ganado vacuno. El objetivo de este trabajo fue analizar la calidad del agua subterránea para definir la aptitud de la misma para consumo humano, riego de cultivos y consumo de ganado vacuno.

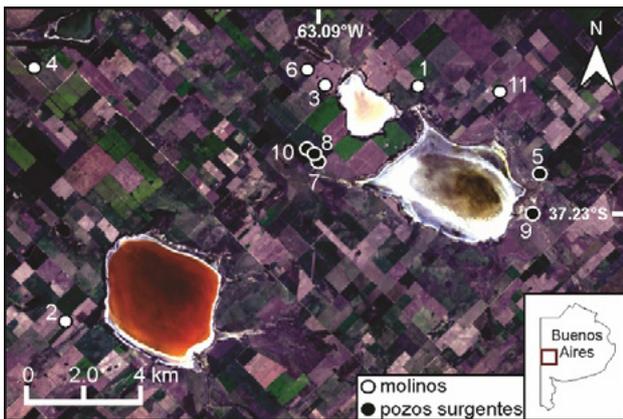


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y de los puntos que conforman la red de muestreo.

Metodología

Se efectuó un relevamiento de perforaciones de abastecimiento generándose una red de muestreo de agua subterránea (Fig. 1) que comprende a 6 molinos que captan agua a una profundidad de entre 8 y 15 m, y a 5 pozos surgentes que captan el agua a más de 100 m de profundidad. *In situ* se midió la conductividad eléctrica (CE) y el pH del agua y se tomaron muestras para la determinación en laboratorio de la concentración de iones mayoritarios, NO_3^- y As. Posteriormente se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) y la dureza, y todos los datos fueron comparados con los valores límite recomendados para el consumo humano según el Código Alimentario Argentino (CAA, 2021) y agropecuario (Ayers y Westcot, 1985; INTA, 2022) para definir su aptitud.

Resultados

Hidroquímicamente las muestras de agua presentan una fuerte variación (Fig. 2) registrándose distintos tipos de limitaciones

en función de los usos.

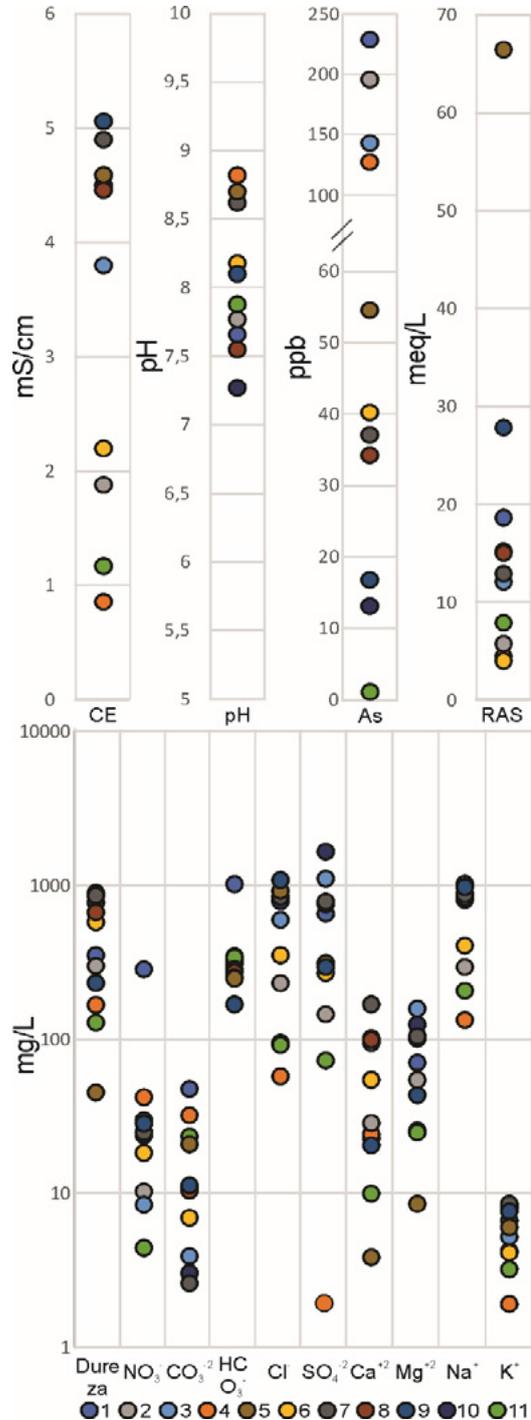


Figura 2.- Valores de As, CE, pH, dureza, NO_3^- , iones mayoritarios y RAS para las 11 muestras analizadas.

En relación a la calidad para consumo humano, la comparación de los resultados con los límites establecidos en el CAA indica

que existen limitaciones en varios componentes químicos. La conductividad eléctrica límite (2,2 mS/cm) es superada en 7 muestras, mientras que el pH se encuentra en su mayoría dentro del rango (6,5 – 8,5) (Fig. 2). Por su parte, la concentración de As supera el límite recomendado (10 ppb) en 10 de las 11 muestras analizadas. La dureza registra valores más altos que los sugeridos (400 mg/L) en la mitad de las muestras, mientras que el NO_3^- solo se excede en 1 muestra (límite máximo recomendado 45 mg/L). Considerando los iones mayoritarios, la mitad de las muestras sobrepasa los valores límite solo para Cl^- (350 mg/L) y SO_4^{2-} (400 mg/L).

Por otro lado, analizando las muestras como fuente para riego de cultivos se observa que el As excede el límite sugerido (límite 100 ppb) en 5 muestras. La CE máxima establecida como apta (<3 mS/cm) se supera en más de la mitad de las muestras, mientras que el pH no es una limitante. Considerando los aniones, el HCO_3^- supera el grado de restricción severo para uso como riego (500 mg/L) en 1 sola muestra, mientras que el Cl^- (>350 mg/L ocasiona problemas graves) lo hace en la mitad de los pozos. El Na^+ se excede (>230 mg/L ocasiona problemas graves) en la mayoría de las muestras, al igual que la RAS (>9 no apta para uso). Por último, para consumo ganadero, la única limitante es el As, siendo superado el valor máximo permitido (200 ppb) en una sola muestra.

Conclusiones

Los resultados evidenciaron que en la región, la principal limitante de la calidad del agua para consumo humano radica en la concentración de As, y en menor medida en la CE, dureza y concentraciones de NO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} . Por otro lado, para el riego los factores limitantes son la CE, la RAS, y las concentraciones de As, Cl^- , Na^+ y HCO_3^- , mientras que para

consumo ganadero sólo lo es la concentración de As. En base a esto se establece que de las 11 muestras analizadas, solo 1 es apta para consumo humano, 2 lo son para riego y 10 para consumo ganadero. Dentro de los dos grupos de agua subterránea analizados, ningún surgente es apto para consumo humano o riego, mientras que no presentan limitantes a la hora de ser utilizados para consumo ganadero. Los molinos varían su aptitud para consumo humano y de riego, mientras que la mayoría se pueden utilizar para el ganado.

Si bien este análisis es preliminar, refleja una problemática importante, con implicancias tanto en la salud humana como en la economía de la región, debido a que las principales actividades productivas son agropecuarias.

Referencias

- Acosta, R., Carol, E., Borzi, G., Cellone, F., Alvarez M. P. (2022). *Hidroquímica de humedales lagunares hipersalinos del oeste de Buenos Aires, Argentina*. 17° Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 17).
- Ayers, R. S., y Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p.174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- CAA (Código Alimentario Argentino), (2021). *Capítulo XII, Artículos 982 al 1079, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua potable*. Resolución conjunta SCS y SByDR N° 22/2021.
- Custodio, E. (2005). Groundwater as a key water resource. Libro Homenaje al Profesor D. Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 68-78.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), (2022). *Ganadería bovina en el área de influencia de EEA INTA San Pedro. Recomendaciones sobre sanidad, nutrición y manejo*. 19p. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.

CALIDAD DE AGUA Y SU RELACIÓN CON VARIABLES HIDRO-METEOROLÓGICAS: MODELO DE ESPACIO DE ESTADOS MULTIVARIADO

Andreoni, P.F.^{1,2}; Ruiz, M.A.^{1,2}; Rodríguez, M.I.¹; Ruibal, S.F.A.^{1,2} y Ruibal Conti, A.L.^{1,2}

¹ Instituto Nacional del Agua, Argentina ² Universidad Católica de Córdoba, Argentina.
pablofacuandreoni@yahoo.com.ar, mruiz@ina.gov.ar, ruibalfrancisco1@gmail.com, mirodriguez@ina.gov.ar, aruibal@ina.gov.ar

Introducción

La importancia de los cuerpos de agua para la vida humana conlleva un interés creciente en analizar la calidad del agua y comprender la naturaleza de sus cambios. El Embalse San Roque (ESR) ubicado en la provincia de Córdoba presenta una condición eutrófica que se ha sostenido en el tiempo. El Instituto Nacional del Agua (INA), a lo largo de casi 20 años, ha recolectado datos de calidad del agua (CA) e hidro-meteorológicos (HM) de distintas estaciones del cuerpo de agua y de su cuenca. El objetivo de este trabajo es usar esta gran base de datos para analizar el efecto de las condiciones hidro-meteorológicas sobre el estado trófico del embalse. Para tal fin se utilizó el modelo de espacio de estados multivariado (MEEM) - también conocido como modelo lineal dinámico- basado en series de tiempo, y se planteó un modelo que integra los procesos tróficos en profundidad en un sitio próximo a la presa del embalse (TAC). Se modeló la dinámica de la CA, expresada como Índice Trófico de Carlson (ITC) en los perfiles de profundidad del sitio TAC asumiendo distintas condiciones para los procesos estocásticos que gobiernan los puntos en que se desarrollan.

Metodología

Variables y alcances

El ESR está ubicado en el valle de Punilla, provincia de Córdoba, Argentina. El INA registra datos HM en su cuenca diariamente y monitorea la calidad de su agua mensualmente, en superficie y en profundidad, en cuatro sitios del cuerpo de agua (detalles en Andreoni, 2020). Para la aplicación del modelo MEEM las variables HM consideradas como predictoras fueron: *Temperatura (Tm)* (°C), *Humedad Relativa (HR)* (%), *Precipitación (Pr)* (mm), *Velocidad del Viento (WS)* (km.h⁻¹), *Presión Atmosférica (PA)* (hPa), *Radiación Solar (SR)* (Ly) y *Nivel del Embalse (NE)* (m). La variable de CA considerada como respuesta fue el ITC calculado a partir de: la *Transparencia del Agua (TA)* (m), el *Fósforo Total (PT)* (µg.L⁻¹) y la *Clorofila-a (Cla)* (µg.L⁻¹).

En este trabajo se presenta uno de los modelos ensayados integrando las variables mencionadas en profundidad. El Modelo en Profundidad (MEEM_P) considera los datos medidos a distintas profundidades en la columna de agua en TAC: sub-superficial (TAC1), zona fótica (TAC2), zona intermedia (TAC4) y fondo (TAC5). El cálculo del ITC en TAC1 y TAC2 fue el ITC promedio para las variables PT, Cla y Secchi, mientras que en TAC4 y TAC5 el cálculo se basó sólo en el PT.

El modelo, a su vez, se ensayó con diferentes alcances. Se definió como *alcance* al tiempo de retardo considerado en las variables HM. Es decir, la cantidad de días transcurridos para que el efecto agregado de la variable HM impacte sobre el estado trófico (por ejemplo: cómo impacta en el ITC el promedio de los últimos 3 días de temperatura). Se consideraron 5 alcances (1, 3, 7, 14 y 21 días) y para este sitio se presentan dos (1 y 7) que produjeron los mejores resultados obtenidos en ensayos previos aplicando un modelo de regresión dinámica (Andreoni y col 2022).

Modelo

El MEEM es un modelo que se basa en dos procesos (Durbin & Koopman, 2012). El primero, es un proceso de estados, es oculto y por lo tanto no se puede observar directamente, el segundo es un proceso observacional propiamente dicho. A los efectos del presente trabajo y siguiendo a Holmes et al (2018a), el proceso

completo se versiona (adaptado al problema en cuestión) de la siguiente manera:

Proceso de Estados:

$$x_t = B_t x_{t-1} + w_t, w_t \sim NM(O, Q_t) (Ec1)$$

Proceso Observacional:

$$y_t = Z_t x_t + D_t d_t + v_t', v_t' \sim NM(O, R_t) (Ec2)$$

Estado Inicial:

$$x_1 = NM(\pi, \Lambda) (Ec3)$$

El modelo relaciona el proceso oculto (Ec 1) con el proceso observacional a través de la variable x_t (Ec 2). En las ecuaciones (1) y (2) se observan 4 características: 1-cómo un proceso oculto x_t afecta un proceso observacional y_t ; 2-cómo existe un efecto autorregresivo (1 mes) del término del proceso de estados oculto; 3-al ser un modelo matricial permite hacer una integración de varias series de tiempo y 4- muestra un proceso multivariado al incorporarse en las ecuaciones, las variables predictoras (d_t).

Proceso

El proceso general de análisis consistió en las siguientes etapas: 1-selección de 7 variables predictoras considerando 5 alcances. 2-interpolación para completar valores faltantes. 3-normalización de series para interpretar los coeficientes de las variables, 4-aplicación del algoritmo del MEEM, 5-diagnóstico y evaluación de los modelos y 6-selección de los modelos basada en el mínimo error.

En relación a los valores faltantes y al pre-tratamiento de los datos antes de correr el modelo, pueden verse detalles del proceso en Andreoni y col (2019).

Para los coeficientes matriciales B, Q, Z y R del MEEM, se consideraron distintos supuestos: 1-coeficientes todos distintos, 2-coeficientes todos iguales, 3-coeficientes compartidos y 4-coeficientes iguales con igual varianza y covarianza. Esto generó 144 modelos posibles.

Para seleccionar los mejores modelos, se empleó el Criterio de Información de Akaike corregido (AICc) (fórmula descrita por Bisgaard & Kulahci, 2011). De los resultados obtenidos se filtraron aquellos modelos que alcanzaron la convergencia de todos sus parámetros cumpliendo los supuestos.

Para evaluar la significatividad de los parámetros estimados se calcularon los intervalos de confianza en cada caso, con un nivel del 95%. Estos intervalos se calcularon utilizando el método de bootstrapping paramétrico, fijando n en 10 (referirse a Holmes et al., 2018a para el detalle de implementación y Efron y Tibshirani, 1994, para el concepto estadístico).

Los modelos MEEM fueron producidos a partir de la implementación de los algoritmos en el paquete MARSS del lenguaje R (creado por los mismos autores de la formulación). Para generar las predicciones del MEEM se siguieron las fórmulas originales del filtro de Kalman enunciadas en Shumway y Stoffer (2017).

Resultados

Se presentan los resultados del MEEM_P para el sitio TAC. El MEEM es un modelo matricial por lo tanto para el caso de MEEM_P se obtiene una fila por cada profundidad (TAC 1, 2, 3 y 4) y una columna por cada variable HM. La ecuación (4) muestra los coeficientes resultantes del modelo, para cada

profundidad y para los alcances 1 y 7. Los coeficientes significativos con el 95% de confianza se indican en celeste.

	(HR)	(Nv)	(PA)	(Pr)	(RS)	(Tm)	(VV)	Sitio(alcance)
C=	0.014	-0.071	0.079	0.076	-0.029	0.510	-0.052	TAC1(1)
	0.058	-0.039	0.034	0.099	0.017	0.390	-0.041	TAC2(1)
	0.270	0.140	-0.019	0.076	-0.150	0.110	-0.003	TAC4(7)
	0.300	-0.240	-0.110	-0.170	0.078	0.280	0.009	TAC5(7)

En la ecuación 4 se observa que en la zona sub-superficial próxima a la presa (TAC1) la temperatura y el viento son las variables que más inciden sobre el IET. La temperatura lo hace en forma directa, es decir a mayor temperatura, mayor IET y por lo tanto menor calidad de agua. El viento, por el contrario, incide inversamente es decir a mayor viento menor IET y por lo tanto mejor CA. Esto sucede considerando el alcance 1. A nivel de zona fótica (TAC2) se observa lo mismo, pero se suma la incidencia directa de la precipitación. En la zona profunda (TAC5), la humedad relativa, el nivel del agua del embalse, la precipitación y la temperatura son las variables que más inciden sobre el IET. En el caso del nivel y la precipitación es inverso y en el caso de la humedad relativa y temperatura es directo. Esto ocurre considerando un alcance de 7. Es decir, son necesarios 7 días consecutivos para que el efecto agregado de estas variables impacte sobre el IET.

En relación a la predicción del modelo, en la Figura 1 se muestran los resultados para TAC1 (con alcance 1) y para TAC5 (con alcance 7). En cada sitio la figura presenta dos tramos: el tramo del modelado (desde septiembre 1999 hasta agosto 2017) y el tramo de predicción (desde septiembre 2017 hasta agosto 2018). En el primer tramo se muestran las curvas de ajuste resultantes del modelo (línea negra sólida) junto con la serie de datos original utilizada para el modelado (línea violeta sólida). En el segundo se tiene el ajuste predicho (línea gris sólida) y la serie utilizada para prueba (color violeta más tenue). Los intervalos de confianza del 95% se muestran con líneas de punto. Se observa que los intervalos de confianza abarcan mejor la señal en TAC5 que en TAC1. Por lo cual la predicción en TAC5 es, en términos comparativos, mejor a la de TAC1. También se observa una clara diferencia entre el suavizado de la superficie con respecto a lo que sucede al fondo que es mucho más volátil y ajusta mejor. Esto se evidencia analíticamente en el hecho de que el error es más bajo para TAC5 que para TAC1. La Tabla 2 muestra el error (RMSE: Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio) para las distintas respuestas por profundidad para el sitio TAC.

Tabla 2.- RMSE por respuesta MEEM_P para el sitio TAC

Sitio	RMSE
TAC 1	0.94
TAC 2	0.89
TAC 4	0.66
TAC 5	0.63

Conclusión

En relación a cómo la CA se ve afectada por las variables HM, el modelo permitió cuantificar la incidencia de cada una de las variables HM con diferentes alcances sobre el estado trófico del ESR por medio de coeficientes y establecer relaciones entre los mismos considerando un espacio completo (columna de agua en TAC). Se observa que a mayor temperatura la CA disminuye, tanto en la superficie como en el fondo. Por otro lado el viento incide sólo a nivel superficial; a mayor viento mejor CA. En el fondo también inciden la precipitación, el nivel y la humedad relativa. Las dos primeras lo hacen de modo inverso; a mayor precipitación, mayor nivel y menor ITC (mejor CA). La significancia de la incidencia de humedad relativa resulta difícil de explicar.

El fenómeno se explica mejor al agrupar los perfiles más superficiales (sub-superficial y zona fótica) por un lado, y los

profundos (intermedia y fondo) por otro, en el proceso no observado de acuerdo a los resultados de las otras matrices (B, y Q) (para mayor detalle ver Andreoni, 2020).

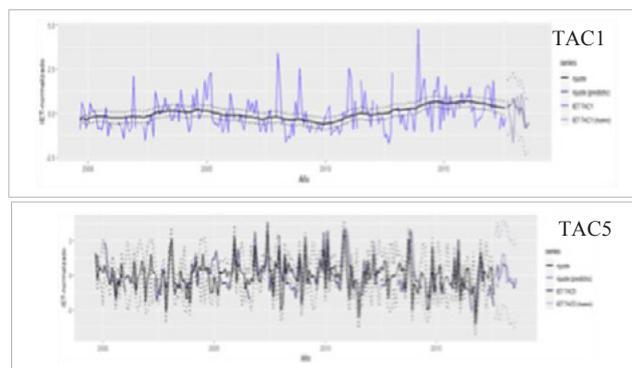


Figura 1.-Curvas de ajuste resultante del modelo de espacio de estados multivariado junto con las series de datos originales del sitio TAC. Pronóstico del modelo a 1 año

El MEEM permitió una visión integral, de mediano alcance, al compartirse los coeficientes entre los distintos perfiles de un mismo sitio. En este sentido, la ventaja más destacable es que la interpretación no es en términos de un entorno reducido, sino que puede explicarse en un ámbito de más largo alcance espacial. Como desventaja este modelo no necesariamente produce un ajuste tan exacto, comparado con el modelo de regresión dinámica (Andreoni y col 2022).

También se debe tener en cuenta que, existen otras variables de tipo física, química y biológica que afectan la calidad del agua, pero no se han incluido como parte del modelo para poder apreciar aisladamente la incidencia de las variables meteorológicas.

Financiamiento

Universidad Católica de Córdoba (Fondos Proyecto Código 800 20180150200080 CC01 e INA-SCIRSA.

Referencias

- Andreoni P.F., Rodríguez M.I., Ruiz M., Dasso C., Vicario L., Colladón L. & Ruibal Conti A.L. (2018) "Gestión de Grandes Bases de Datos en el Área de los Recursos Hídricos: Aplicación de Técnicas de Exploración y Pre-procesamiento de Datos (Minería de Datos)". 4to. Encuentro de Investigadores en Formación en Rec. Híd. (IFRH). Noviembre - INA-Ezeiza. Buenos Aires. Argentina. ISBN: 978-987-45194-9-8.
- Andreoni P. F. (2020) "Incidencia de condiciones hidro-meteorológicas sobre calidad del agua del Embalse San Roque, mediante aplicación de Minería de Datos con series temporales". Tesis de Magíster de la Universidad de Buenos Aires en Explotación de Datos y Descubrimiento del Conocimiento. pp178.
- Andreoni, P.F., Ruiz, M.A., Rodríguez, Ruibal-Conti AL. (2022) Unraveling the Lagged Effect of Hydro-meteorological Conditions on the Trophic State of a Reservoir by Applying Dynamic Regression. *Water Resour Manage* 36, 4275–4291. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03254-6>.
- Bisgaard, S., & Kulahci, M. (2011). "Time Series Analysis and Forecasting by Example". Singapur: Wiley.
- Durbin, J., & Koopman, S. J. (2012). "Time Series Analysis by State Space Methods". Oxford: Oxford University Press.
- Efron, B., & Tibshirani, R. (1994). "An Introduction to the Bootstrap". New York: Chapman & Hall.
- Holmes, E. E., Ward, E. J., & Scheuerell, M. D. (2018a). "Analysis of multivariate time-series using the MARSS package".
- Holmes, E. E., Ward, E. J., & Wills, K. (Producer) (2018b). "MARSS: Multivariate Autoregressive State-Space Modeling, R package version 3.10.10."
- Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2017). "Time Series Analysis and Its Applications With R Examples". Nueva York: Springer.

PROGRAMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DEL A° VAQUERÍAS

Agüero, Mayra², Calvimonte, Helena¹, Bazán, Raquel del V.¹, Larrosa, Nancy B¹. y Toledo, José M.²

¹Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Departamento de Química Industrial y Aplicada. Vélez Sarsfield 1611. Ciudad Universitaria. Argentina

²Universidad Nacional de Córdoba. Reserva Natural Vaquería. Camino, Valle Hermoso, Córdoba, Argentina
agueromayra.cba@gmail.com, helena.calvimonte@unc.edu.ar, raquel.bazan@unc.edu.ar, nancy.larrosa@unc.edu.ar, josemtoledo@unc.edu.ar

Introducción

La cuenca del Arroyo Vaquerías se ubica en el lado oeste de las Sierras Chicas, en el Valle de Punilla, provincia de Córdoba, Argentina. Esta área es de vital importancia para la Reserva Natural Vaquerías, ya que constituye su principal fuente de agua (Weber, 2020). El Arroyo Vaquerías se extiende por aproximadamente 6,4 km y posee una inclinación del 9%, lo que equivale a un desnivel de 580 m. En la zona, se registra un promedio anual de precipitaciones de 790 mm, según lo señalado por Kufner (2012). Desde su origen, el arroyo Vaquerías está protegido por la reserva de la Universidad Nacional de Córdoba, conocida como la Reserva Natural Vaquerías (RNV). Esta reserva cuenta con 400 hectáreas y suministra agua tanto a una parte de la población de Valle Hermoso como a la propia reserva, la cual recibe anualmente a más de 5000 visitantes.

El objetivo del presente trabajo es proponer un programa de monitoreo sistemático para evaluar la calidad del agua según los diferentes usos del arroyo Vaquería.

Materiales y métodos

Previo a la presente propuesta de monitoreo, la Reserva Vaquería cuenta con el antecedente de un monitoreo puntual realizado febrero del 2023 durante la época cálida y húmeda en tres sitios de monitoreo: Diquecito, Cisterna del Complejo Vaquerías y Vertiente de Vaquerías (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1.- Sitios de muestreo.

Sitio	Coordenadas (latitud, longitud)
Diquecito	-31°6'50.90"S, -64°27'13.16"O
Cisterna del complejo Vaquerías	-31°7'4.35"S, -64°27'33.92"O
Vertiente de Vaquerías	-31°7'14.27"S, -64°27'49.50"O



Figura 1.- Ubicación de los sitios de monitoreo.

En el Diquecito se observa vegetación nativa perteneciente a Bosque Serrano y hay presencia de ganado vacuno en las márgenes del arroyo.

El Diquecito es el lugar de toma de agua para el uso del Hotel Vaquerías y de la vecindad próxima al mismo. Es un lugar agreste con diversas grandes rocas y vegetación nativa y exótica (Figura 2). El Arroyo Vaquerías se transforma en un pequeño espejo de agua por la construcción de un dique (Figura 3) que permite hacer la toma de agua la que es transportada por desnivel mediante un caño de 4" de diámetro a lo largo de 900 m de distancia donde se encuentra la cisterna.

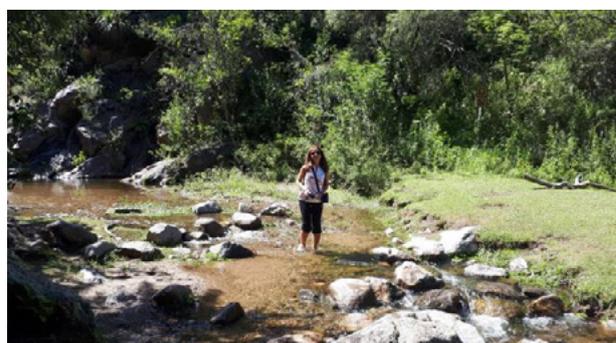


Figura 2.- Uso recreativo en el Diquecito.

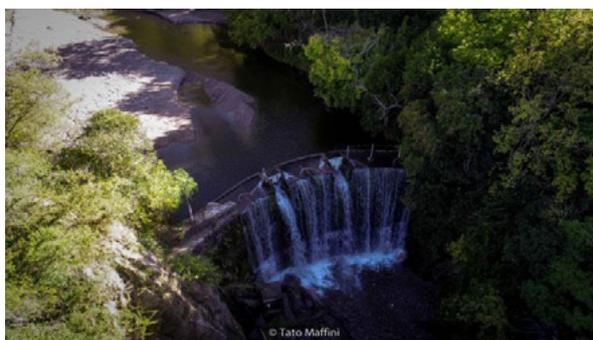


Figura 3.- El Diquecito en época húmeda.

La Cisterna del Complejo Vaquerías tiene 30 m³ de capacidad, y está ubicada en la parte más alta del Complejo. La misma provee agua para el Complejo Hotelero Vaquerías, el cual se encuentra dentro de la reserva y tiene una capacidad máxima para 500 personas.

Este sitio se encuentra rodeado de bosque nativo, especialmente por molles de beber (*Lithraea molleoides*) y talas (*Celtis ehrenbergiana*). En este lugar es donde se realiza la cloración del agua, desde allí sale un ducto que provee agua a los distintos establecimientos del Complejo Vaquerías.

El último sitio de toma de muestra, Vertiente de Vaquerías, está a 1 km de distancia aguas abajo donde brota una vertiente

natural que la población de Valle Hermoso extrae agua para uso doméstico. Es un sitio más erosionado, con vegetación exótica y una calle municipal para permitir el acceso a la vertiente. Esta vertiente desagua en el arroyo Vaquerías.

En el mencionado monitoreo puntual se recolectaron muestras en los 3 sitios de monitoreo para análisis fisicoquímico y bacteriológico. Se determinaron fosfatos, amonio, nitrato y nitrito y presencia-ausencia (P-A) de coliformes totales (CT), *Escherichia coli*, *Streptococos* fecales y *Pseudomonas aeruginosa*. Todos los ensayos fueron realizados de acuerdo al Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 2017).

Este antecedente surge en el marco del plan de manejo de la RNV en el que se proponen dos monitoreos en el año para evaluar la calidad de agua del A° Vaquería.

Resultados

Del análisis de resultados de las muestras tomadas en febrero de 2023 se muestra que en todos los sitios de monitoreo la concentración de nutrientes se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica, a excepción de la concentración de nitratos. La menor concentración de nitratos se encontró en el sitio correspondiente a la vertiente (1,08 mg/L) y la mayor en la cisterna de agua (1,87 mg/L). En todos los sitios la concentración de nitratos se encontró por debajo del límite tolerable para agua de consumo (45 mg/L) establecido por la Resolución 174/16.

En relación a los análisis bacteriológicos se muestra que en la zona de la vertiente se cumplen con los niveles guías, mientras que en los otros dos sitios se encontró la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*. Esta última, es habitual en aguas naturales y no está permitida por la normativa provincial para agua de bebida, por lo que se debe considerar el tratamiento del agua de abastecimiento al complejo Vaquería.

En base a los antecedentes, en la presente propuesta del programa de monitoreo de calidad de agua del A° Vaquería se propone evaluar el primer sitio (Diquecito) para uso recreativo, ya que allí los visitantes de la RNV tienen contacto directo con el agua del arroyo mientras la recorren en sus caminatas (ver Figura 2). Para este uso se contrastarán los resultados con la Resolución CONAMA N°357 del Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA, 2005). En este sitio de muestreo se cuantificará la concentración de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*.

El segundo punto (Cisterna del complejo Vaquería) será evaluado como fuente de agua de consumo. Se investigarán los siguientes parámetros bacteriológicos: recuento de aerobios totales, coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*. Además, se incluirá la determinación de arsénico, flúor y yodo.

El último sitio de muestreo (Vertiente Vaquería), corresponde a una vertiente dentro de la RNV, que también será evaluado como fuente de agua para consumo, ya que si bien no es agua potabilizada, se conoce que este tipo de vertientes es utilizada por los turistas para beber cuando hacen el recorrido por el arroyo y además es recolectada por vecinos de Valle Hermoso.

Los dos sitios monitoreados como fuente de agua para consumo humano, serán evaluados según la Resolución 174/16: "Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas Para Bebida" de la provincia de Córdoba (SRH, 2016).

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados previos del monitoreo puntual realizado por el personal de la RNV permitieron sentar las bases para la propuesta del programa de monitoreo de la calidad de agua del A° Vaquería.

De acuerdo a los resultados preliminares la vertiente de la RNV presenta una mejor calidad de agua comparada con los otros dos sitios de muestreo.

En esta propuesta de monitoreo sistemático se atribuye la importancia que tiene definir la calidad de agua en función del uso y no sólo de la estacionalidad (época cálida y fría) según lo establecido en el Plan de Manejo de la RNV.

La presencia de pobladores y ganadería en la RNV dificulta la preservación del recurso hídrico para los diferentes usos que se destinan.

A tal efecto se recomienda que el programa de monitoreo incluya variables hidrológicas, de capacidad de carga animal, de erosión de cauce, presencia de vegetación acuática y palustre.

De acuerdo a lo anterior, se pone en evidencia la necesidad de un trabajo multidisciplinario y transdisciplinar para abordar las diferentes aristas que presenta evaluar la calidad de agua de una reserva natural como lo es la de Vaquería.

Referencias

APHA (American Public Health Association) AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation) (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th edition, Washington, D.C

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (2005). Resolución CONAMA N° 357.

Kufner, M. (2012). *Reserva Natural Vaquerías. Patrimonio Natural y sociocultural. Planificación sustentable de la reserva y su entorno regional*. Editorial Unc Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 327 pp.

Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos, Secretaría de Recursos Hídricos (2016). Resolución 174/16: "Normas Provinciales de Calidad y Control de Aguas Para Bebida de Córdoba.". Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos, Córdoba.

Weber, J.F. (2020). "Caracterización Hídrica de la Cuenca del Arroyo Vaquerías (Córdoba, Argentina) Mediante el Modelado Hidrológico e Información Satelital". *Revista Tecnología y Ciencia, ASCE*, Vol. 39 (2020), pp. 118-139. <https://doi.org/10.33414/rtyc.39.118-139.2020>

CIANOTOX. KITS DE BIOSENSADO DE CIANOTOXINAS.

Ezequiel Alba Posse¹, Yamila Gándola², Ariana Rossen³, Macarena Alvarez,⁴ Alejandro Nadra⁵ y Javier Gasulla⁶

1. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB Buenos Aires, Argentina. jeap95@gmail.com

2. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. yamigandola@gmail.com

3. Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables. Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua. Instituto Nacional del Agua Buenos Aires, Argentina. arianarossen@gmail.com

4. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB Buenos Aires, Argentina. alvarezmacarena923@gmail.com

5. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB Buenos Aires, Argentina. anadra@qi.fcen.uba.ar

6. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular, Instituto de Biociencias, Biotecnología y Biología Traslacional (iB3), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB Buenos Aires, Argentina. +541164756389. jvr.gasulla@gmail.com

Introducción. Floraciones tóxicas de cianobacterias

Las floraciones de cianobacterias son un problema ambiental y sanitario en incremento, tanto en frecuencia como en intensidad. Se producen debido a la eutrofización de los cuerpos de agua dulce por exceso de nutrientes. Este fenómeno está altamente relacionado con la descarga de efluentes urbanos, industriales y agroindustriales, y se acentúa con el aumento de las temperaturas en un contexto de calentamiento global (Bonilla et al, 2023).

Las cianobacterias son capaces de producir cianotoxinas, un arsenal de compuestos de elevada toxicidad para los humanos y otros animales. Entre estas, las más frecuentes son las microcistinas (MCs), de toxicidad hepática (Aguilera et al, 2023). Si bien existen métodos de detección de MCs, estos tienen un muy elevado costo y requieren equipamiento de laboratorio habitualmente no disponible cerca de los sitios afectados (Pírez et al, 2013). En nuestro país, existe una fuerte demanda por contar con métodos más económicos como alternativa a los kits importados o a los métodos instrumentales, que permitan un monitoreo frecuente de la presencia de cianotoxinas. Buscamos responder a las necesidades de dos grupos de demandantes. En primer lugar, instituciones que cuentan con laboratorios analíticos, como Organismos de Gestión de Cuencas, Plantas potabilizadoras y otras Agencias gubernamentales. Por otra parte, otros actores más “domésticos” (que no disponen de laboratorios propios) afectados por las floraciones de cianobacterias como guardavidas, clubes náuticos, piscicultores, etc. Ambos grupos se beneficiarían del desarrollo de un kit de detección *in situ* que no requiera ningún equipamiento, ni entrenamiento especializado.

CIANOTOX-Lab. Desarrollo de un kit de laboratorio

Para responder a la primera demanda, desarrollamos un kit de biosensado de microcistinas (MCs) en agua basado en la inhibición de la actividad de la serin-treonin fosfatasa 1 (PP1) humana. Para lograrlo, expresamos y purificamos la proteína

PP1 recombinante en bacterias *Escherichia coli*. Durante los últimos 3 años, ajustamos las condiciones de reacción que mejoran la sensibilidad, actividad, y especificidad del kit. Además, medimos el efecto de cambios en el pH, salinidad, y presencia de diversos metales.

La primera versión del kit fue validada en colaboración con laboratorios de diferentes entidades entre las que cabe mencionar: Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires, Comisión Técnica Mixta de Salto Grande; Instituto Nacional el Agua; Autoridad Interjurisdiccional de Cuenca de los Ríos Limay, Negro y Neuquén, ABSA. Obtuvimos resultados muy prometedores tanto en el límite de detección (0,4 µg/L de MC-LR), como en el rango de linealidad (0,4-5 µg/L). La cuantificación de MC mostró alta correlación con los kits de ELISA importados, que dominan actualmente el mercado (Figura 1).

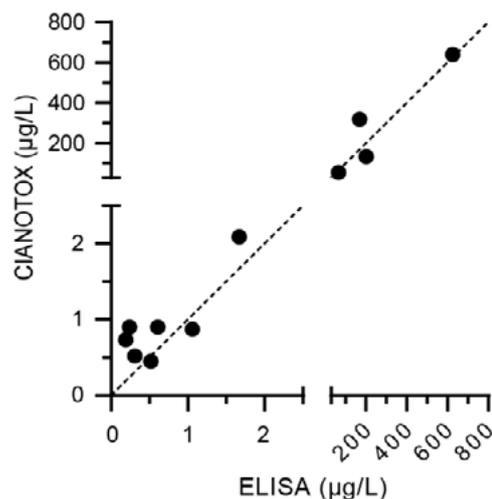


Figura 1.- Correlación entre la MC obtenida en el ensayo de PP1 comparado con los de un ELISA comercial para diferentes muestras ambientales. Imagen extraída de (Alba Posse et al, 2023).

Además, se buscó cuantificar el efecto matriz en diversas muestras de agua no tóxicas mediante ensayos de *spike* de MC. Pese a la gran diversidad en las muestras ambientales analizadas, la recuperación promedio obtenida fue cercana al 80% (Figura 2).

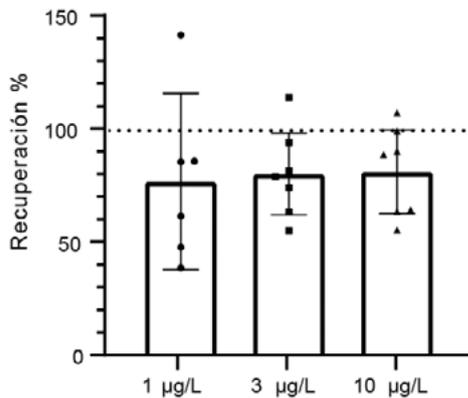


Figura 2.- Ensayo de recuperación. Se inocularon muestras ambientales con concentraciones conocidas de MC y se midieron MC posteriormente. Imagen extraída de (Alba Posse et al, 2023).

Nuestro kit cuantifica microcistinas totales en placas multiwell (Alba Posse et al, 2023) y se encuentra disponible para su utilización en laboratorios a un costo hasta 10 veces menor que sus variantes importadas..

CIANOTOX-Field. Detección *in situ* de MC

Para responder a la segunda demanda, estamos desarrollando un dispositivo -también basado en la inhibición de PP1-, para detectar MCs *in situ*. A diferencia de su contraparte de laboratorio, diseñado para ser cuantitativo, esta variante prioriza la simplicidad de uso (no requiere personal capacitado) y la posibilidad de una toma temprana de decisiones. Es por esto que buscamos que el dispositivo de campo sea semicuantitativo, permitiendo rápidamente determinar si la concentración de MCs es superior a los valores guía correspondientes a diferentes actividades (i.e. consumo crónico > 1µg/L; consumo agudo > 12 µg/L; actividades recreativas >24 µg/L) (Chorus y Welker, 2021) (Figura 3).

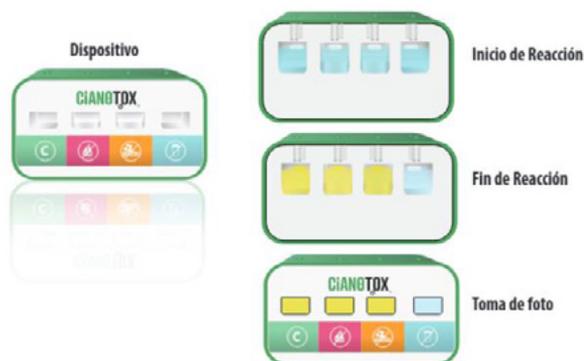


Figura 3.- Prototipo provisorio de CIANOTOX-Field. En cada pocillo se colocarán los reactivos y PP1 adecuados para el control y los 3 rangos de medición..

Adicionalmente, este kit podrá ser utilizado sin la necesidad de contar con ningún tipo de equipamiento más que un celular con cámara. Una vez finalizada la reacción, se tomará una fotografía, y una aplicación móvil, mediante un programa de análisis de imágenes, cuantificará el rango de MCs presentes en la muestra. De esta forma, se podrá facilitar también la geolocalización, análisis y difusión de los resultados obtenidos.

Perspectivas

La plataforma CIANOTOX intenta cubrir dos necesidades con respecto a la medición local de microcistinas: por un lado, el dispositivo de laboratorio busca disminuir los costos asociados al monitoreo. Dicha reducción de costos es acompañada con que los insumos son producidos mayormente a nivel nacional, disminuyendo los problemas de importación y los plazos inciertos de entrega, a veces incompatibles con problemas de urgencia sanitaria-ambiental. Esperamos que nuestro desarrollo incentive el monitoreo frecuente por parte de los responsables del recurso hídrico. Por otro lado, el dispositivo de campo facilitará la alerta rápida, y trabajará al servicio de la toma temprana de decisiones por parte de los organismos responsables del recurso hídrico.

Referencias

Aguilera, Anabella, Viviana Almanza, Signe Haakonsson, Hilda Palacio, Gilberto A. Benitez Rodas, Mário U. G. Barros, José Capelo-Neto, Roberto Urrutia, Luis Aubriot, and Sylvia Bonilla (2023). "Cyanobacterial Bloom Monitoring and Assessment in Latin America." *Harmful Algae*. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102429>.

Alba Posse, Ezequiel Jorge, Carolina González, Pedro Carriquiriborde, Alejandro Nadra, and Javier Gasulla (2023). "Optimization and Validation of a Protein Phosphatase Inhibition Assay for Accessible Microcystin Detection." *Talanta* 255 (April): 124174.

Bonilla, Sylvia, Anabella Aguilera, Luis Aubriot, Vera Huszar, Viviana Almanza, Signe Haakonsson, Irina Izaguirre (2023). "Nutrients and Not Temperature Are the Key Drivers for Cyanobacterial Biomass in the Americas." *Harmful Algae* 121 (January): 102367.

Chorus, Ingrid, and Martin Welker (2021). "Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management". *Taylor & Francis*.

Pírez, Macarena, Gualberto Gonzalez-Sapienza, Daniel Sienna, Graciela Ferrari, Michael Last, Jerold A. Last, and Beatriz M. Brena (2013). "Limited Analytical Capacity for Cyanotoxins in Developing Countries May Hide Serious Environmental Health Problems: Simple and Affordable Methods May Be the Answer." *Journal of Environmental Management* 114 (January): 63–71.

Palabras Clave

Cianotoxinas, Floraciones algales nocivas, Biosensores

POSIBLES CAMBIOS DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA PAPA EN ARGENTINA DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Almeira, Gustavo¹ Civit, Bárbara²

¹Instituto Nacional del Agua – Subgerencia de Servicios Hidrológicos (SSH). Ezeiza, Argentina galmeira@ina.gob.ar
²Facultad Regional Mendoza/CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, 5500, Mendoza, Argentina, bcivit@frm.utn.edu.ar

Resumen

Cada vez es más creciente la presión sobre el agua, para la producción de alimentos, abastecer al sector industrial y consumo de las poblaciones humanas. A nivel mundial, los usos agrícolas son responsables del 86% del uso del agua dulce.

La Huella Hídrica (HH) de productos agrícolas es un indicador de la apropiación del recurso agua para obtenerlos. En este trabajo se evalúa el impacto del cambio climático en las huellas hídricas de la papa (*Solanum tuberosum*) en las principales zonas de producción en nuestro país (sudeste de Buenos Aires, Córdoba, Tucumán, Mendoza, NOA y Patagónica).

Se consideraron las proyecciones de los escenarios climáticos con menores (SSP1-1.6) y mayores (SSP5-8.5) emisiones de gases de efecto invernadero, tomados del conjunto de modelos CMIP6, para distintos plazos de tiempo en este siglo (cercano, mediano y largo).

Se calculó la HH total y sus componentes Huella Hídrica Azul (HHA), Verde (HHV) y Gris (HHG) de la papa, en nuestro país y en sus distintas épocas de plantación y comercialización.

La HH total aumenta en los dos escenarios climáticos. Mientras que en el escenario SSP1-1.6 aumenta menos (entre 3-6% en promedio), en el SSP5-8.5 se experimentan mayores aumentos de HH (10-20%); impulsados por los aumentos de temperaturas. En ambos casos exhiben los mayores aumentos de HH hacia finales de siglo XXI.

Las HHV se mantienen sin grandes cambios, principalmente por aumentos leves de las precipitaciones proyectadas para el futuro. La excepción es en la producción de papa en territorio mendocino, donde se experimentarían una brusca disminución de HHV (de hasta la mitad en SSP5-8.5 y a fines de siglo).

En cambio las HHA presentarían en el futuro un aumento en el país (5-15%), otorgando un mayor protagonismo del agua superficial o subterránea para mantener los actuales rendimientos de papa en nuestro país.

Palabras clave: huella hídrica; cambio climático; papa.

Introducción

La papa es uno de los productos básicos de la canasta alimentaria argentina, con un consumo promedio de 55 kg/persona, igualando aproximadamente al consumo de carne vacuna. Además, el uso de papa está por encima del de la carne porcina o avícola o de otras hortalizas, como tomate o cebolla (Corvo Dolcet y Ottone, 2006). Este alto empleo de papa en Argentina denota su importancia en la producción en territorios periurbanos y rurales.

En nuestro país se cultiva papas en diferentes zonas: sudeste de Buenos Aires, Córdoba, San Luis, Tucumán, Mendoza, NOA y Patagónica: en sus distintas épocas de plantación y comercialización (durante todo el año).

Los rendimientos promedio en nuestro país alcanzan las 30-35 t/ha, llegando incluso a duplicar estos valores, según regiones agroclimáticas y tecnologías usadas.

Es fundamental conocer las necesidades hídricas de las actividades agropecuarias para poder llevarlas a cabo con éxito, en diferentes escenarios de Cambio Climático, con menores o mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que corresponden a diferentes caminos científicos-tecnológicos.

Este trabajo analiza las variaciones de la Huella Hídrica (HH) de la papa en nuestro país, en respuesta a cambios que pudieren producirse por modificaciones en la temperatura y la precipitación en el futuro, brindando una herramienta frente a nuevas adversidades, tanto para tomadores de decisión y planificadores, como productores.

Datos y métodos

Se calculó HH de la papa, según la metodología desarrollada por Hoekstra (2003) y formalizados en un manual de procedimientos Hoekstra et al. (2011), que cuantifica el uso y consumo de agua durante el ciclo productivo de un cultivo en particular.

La HH se define como el volumen de agua dulce usado para elaborar un producto, medido a lo largo de la cadena de suministro completa (Hoekstra et al., 2011). Incorpora el “agua verde” (lluvia), el “agua azul” (agua superficial y subterránea), y el “agua gris” (agua dulce requerida para asimilar los contaminantes, basado en las concentraciones permitidas según las normas de calidad del lugar).

Las componentes verdes y azul en el uso de agua del cultivo de papa, se calculan en función de la evapotranspiración del cultivo y precipitación efectiva utilizando el programa CROPWAT 8.0 (FAO, 2008).

La HH gris está ligada fundamentalmente al uso de fertilizantes y, en el caso del papa, se consideró la adición de nitrógeno (N), con dosis de 69 kg N/ha. En tanto se siguió la recomendación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2005), que es de 10 mg/L (medido como nitrógeno).

Se consideraron los datos meteorológicos mensuales del periodo 1971/2000 de 8 estaciones meteorológicas en nuestro país para el cálculo de la HH (SMN/INTA).

En tanto que los escenarios climáticos fueron extraídos del Atlas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>).

Se seleccionaron del conjunto del experimento CMIP-6 los escenarios SSP1-2.6 (menores emisiones de GEI) y SSP5-8.5 (las mayores emisiones GEI proyectadas), en 3 horizontes de tiempo: futuro cercano (2021-2040), medio (2041-2060) y lejano (2081-2100).

Se consideraron los valores de temperatura y precipitación para cada escenario y horizonte de tiempo y se calcularon las HH de las zonas productoras de papa en Argentina, perturbando previamente las variables meteorológicas mencionadas.

Resultados

La HH actual de papa en nuestro país oscila los 150 m³/ton (en Balcarce y NOA) y los 300 m³/ton (Patagonia), según la fecha de siembra y cosecha (Figura 1), en promedio con un 35%

correspondiente al HH verde, 55% la HH azul y un restante 10% a la HH gris, Se aprecia una gran variabilidad en estos valores; con mayores montos de HH azul en la Patagonia, Mendoza y Villa Dolores y HH verde en Balcarce y Tucumán.

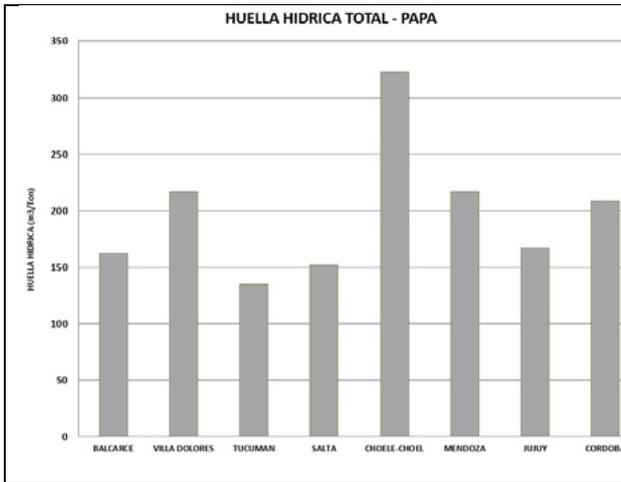


Figura 1 Huella Hídrica actual Papa en Argentina

En el escenario de menores emisiones GEI (SSP1-2.6), los valores de la HH total no sufriría grandes cambios (aumentos entre 1-4 %) en lo que resta del presente siglo (Tabla 1 y 2). Los mayores aumentos se exhiben en el oasis mendocino.

En tanto que en el escenario de mayores emisiones GEI (SSP5-8.5) se experimentaría un mayor aumento de la HH total, con valores que alcanzan los 14% en Mendoza a fines de siglo (Tablas 1 y 2).

Al observar los cambios de las componentes de la HH, vemos que la HH verde no sufre grandes variaciones, como resultado del poco aumento de las precipitaciones proyectadas (entre 0-3 y 9-15% de variación). Mientras que en el oasis mendocino se experimentaría una significativa disminución de las HH verde, por los menores montos de lluvias proyectadas en lo que resta del siglo (entre -2 y -7%).

En cambio, aumenta la componente HH azul (entre un 3 -20 %) en los dos escenarios (Tablas 1 y 2), pero sube significativamente en el oasis mendocino (20-35%) (Figura 2).

Tabla 1.- Huella Hídrica variedades de papa –Corto Plazo

CORTO PLAZO		HH TOTAL (VARIACION %)		HHV (VARIACION %)		HHA (VARIACION %)	
		SSP1-1.6	SSP5-8.5	SSP1-1.6	SSP5-8.5	SSP1-1.6	SSP5-8.5
BALCARCE	Semi-Temprana	3	3	4	4	3	3
CORDOBA	Semi-Temprana	3	3	3	2	3	4
	Tardía	2	3	3	2	1	5
VILLA DOLORES	Semi-Temprana	2	2	3	4	2	2
	Semi-Tardía	2	2	3	4	2	1
TUCUMAN	Temprana	3	3	1	1	4	5
	Tardía	2	2	1	0	6	8
JUJUY	Temprana	3	4	1	1	4	5
	Tardía	2	2	1	1	6	8
SALTA	Temprana	3	3	0	0	4	4
	Tardía	2	2	1	1	5	6
CHOELE-CHOEL	Semi-Tardía	2	3	4	3	2	3
	Semi-Temprana	5	6	-48	-49	22	22
MENDOZA	Semi-Temprana	6	7	-30	-32	18	19
	Semi-Tardía	6	7	-30	-32	18	19

Tabla 2.- Huella Hídrica variedades de papa –Largo Plazo

LARGO PLAZO		HH TOTAL (VARIACION %)		HHV (VARIACION %)		HHA (VARIACION %)	
		SSP1-1.6	SSP5-8.5	SSP1-1.6	SSP5-8.5	SSP1-1.6	SSP5-8.5
BALCARCE	Semi-Temprana	4	10	6	11	3	12
CORDOBA	Semi-Temprana	4	12	4	14	4	13
	Tardía	3	10	4	12	2	10
VILLA DOLORES	Semi-Temprana	3	9	5	18	3	8
	Semi-Tardía	3	8	4	16	2	5
TUCUMAN	Temprana	3	11	1	9	5	14
	Tardía	2	8	0	6	8	19
JUJUY	Temprana	4	13	0	9	5	16
	Tardía	2	10	0	6	9	21
SALTA	Temprana	0	12	0	9	0	14
	Tardía	2	10	0	7	7	17
CHOELE-CHOEL	Semi-Tardía	3	9	5	13	3	9
	Semi-Temprana	6	14	-47	-49	23	35
MENDOZA	Semi-Temprana	6	14	-47	-49	23	35
	Semi-Tardía	7	14	-30	-33	19	29

El aumento de la HH azul responde directamente al efecto de la evapotranspiración de la papa frente a los aumentos proyectados

de temperaturas.

Claramente vemos que las nuevas necesidades hídricas crecientes de la papa son cubiertas principalmente por la provisión de mayores volúmenes de riego; ya que no podrían ser totalmente satisfechas por las futuras precipitaciones.

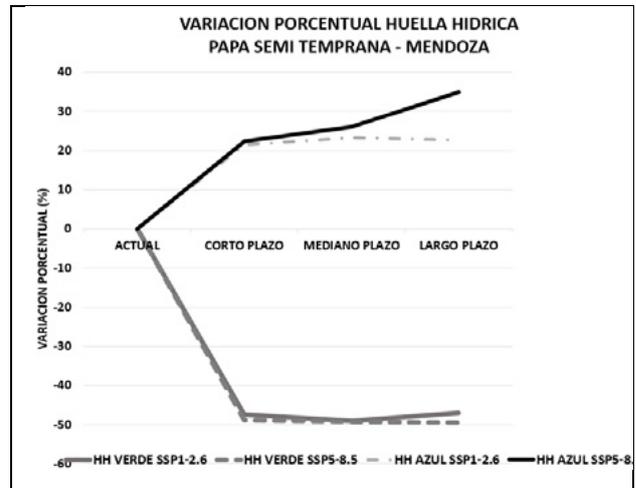


Figura 2 Variación de Huella Hídrica verde y azul Papa Semi Temprana en Mendoza

Conclusiones

En nuestro caso nos centramos en la asignación del recurso hídrico a la papa en Argentina y ver su posible evolución frente a modificaciones ambientales relacionadas con el cambio climático.

Los resultados obtenidos claramente nos ponen en alerta frente a una demanda adicional de agua del cultivo de papa a fines de siglo y la necesidad de riego para lograr los mismos rendimientos en nuestro país.

Los productores, los planificadores y tomadores de decisión, deberán evaluar la disponibilidad del agua para riego de la oferta superficial o de agua subterránea; sus oportunidades y costos en pos de la seguridad alimentaria.

Bibliografía

Corvo Dolcet S. y M.Ottone (2006). Relevamiento del Sector Papero en la República Argentina. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>. Julio de 2007.

EPA (2005). List of Drinking Water Contaminants: Ground Water and Drinking Water. Disponible en <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>.

FAO: CropWat 8.0 for windows 2000-2008 (2008). Inst. Food Agricultural Organization (FAO), Rome, Italy.

Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, The Netherlands.

Hoekstra, A., A. Chapagain, M. Aladaya y M. Mekonnen (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London Washington

PLOMBOX: DISPOSITIVO DE CÓDIGO ABIERTO PARA LA MEDICIÓN DE PLOMO EN AGUA POTABLE.

Alvarez Macarena¹, Gándola Yamila^{1,2}, Gasulla Javier¹ y Nadra Alejandro D.¹

para el proyecto PlomBOX (plombox.org) de la colaboración TRACE

¹IB3 - FBMC - FCEyN-UBA, Argentina

²Departamento de Química Biológica FFyB-UBA, Argentina

E-mail: alvarezmacarena923@gmail.com / yamigandola@gmail.com / jvgasulla@gmail.com / alenadra@gmail.com

Introducción

El plomo (Pb) es un metal pesado de elevada toxicidad que fue utilizado en innumerables aplicaciones domésticas e industriales.

La acumulación de cantidades nocivas de plomo representa una amenaza para todos los organismos vivos, por inhalación, ingestión o contacto directo, lo que resulta en envenenamiento por plomo (Bereza-Malcolm et al, 2016)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un límite máximo permitido de 10 partes por billón (ppb) para el plomo en el agua potable.

El acceso a agua apta para el consumo humano, animal o agroindustrial es un problema de creciente relevancia a nivel global. El monitoreo frecuente y la rápida gestión de los recursos hídricos son cruciales para garantizar la provisión de agua potable segura (Almeida, M Inês G S et al, 2018)

Las metodologías analíticas clásicas conllevan elevados costos en instrumental, transporte y procesamiento de las muestras, por lo que existe la necesidad de desarrollar y validar métodos alternativos de determinación *in situ* de contaminantes que sean económicos, sencillos, portables y rápidos. El uso de bacterias para el sensado de contaminantes, resulta en un método simple y de bajo costo (Bereza-Malcolm et al, 2016).

Construcción de un Biosensor de Plomo

Existen bacterias que se han adaptado a la presencia de plomo y logran sobrevivir en ambientes con alta concentración de dicho metal. El Operón Pbr ubicado en el plásmido pMOL30 de la cepa CH34 de *C. metallidurans* fue el primer mecanismo de resistencia identificado (Borreman, B. et al, 2001). El locus codifica proteínas que participan en la captación de plomo (PbrT, el flujo de salida (PbrA; una ATPasa de tipo P, PbrB; una fosfatasa; y PbrC, una peptidasa señal) y el secuestro (PbrD). Además, el operón pbrABCD está regulado por un regulador transcripcional, PbrR, que pertenece a la familia MerR de proteínas reguladoras sensibles a iones metálicos (Hobman, J. L. et al, 2012). Este operón se encuentra en otras bacterias como, por ejemplo, *Klebsiella pneumoniae*.

En base a dichos antecedentes, hemos desarrollado un prototipo de biosensor basado en una cepa de *Escherichia coli* (DH5- α) modificada genéticamente, que utiliza principios de biología sintética para el sensado de Pb inorgánico en agua potable (Chen, P. et al, 2005).

Este sistema de detección se basa en la proteína reguladora de unión específica al plomo (PbrR), junto con su región promotora diana (*K. pneumoniae*) (Hui, C. et al, 2020). En función de la presencia o ausencia de plomo, esta proteína regula la expresión de un gen reportero (LacZa, que posteriormente forma la proteína β -gal), lo que resulta en una

coloración azul, la cual se intensifica a medida que aumenta la cantidad de plomo (Wei, W. et al, 2014) (Figura 1).

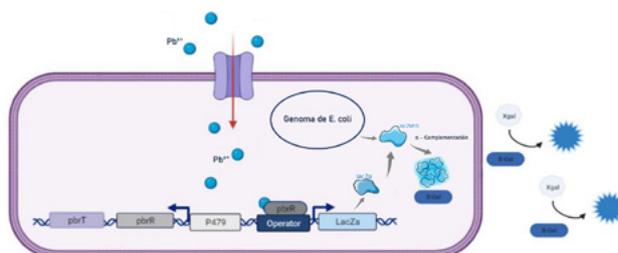


Figura 1. Esquema para la detección de plomo inorgánico en agua. La membrana bacteriana se representa como una doble línea morada. El plomo se representa con círculos azules. El sitio de unión del regulador se denomina Operador y está representado en azul oscuro. El transportador de plomo, está en lila, el receptor en gris, LacZa en azul claro y β -gal en azul oscuro. Una flecha roja indica la dirección de captación de plomo mediada por el transportador.

Resultados representativos de ensayos realizados con dicho biosensor se ilustran en la Figura 2.

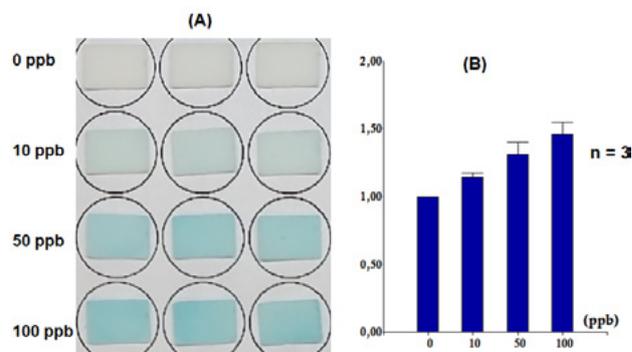


Figura 2.- (A) Imagen representativa de un ensayo realizado en placa multiwell de 24 pocillos. Se observa el color desarrollado por el biosensor en presencia de plomo (0, 10, 50 y 100 ppb de plomo en agua destilada), luego de 17 horas. Cada punto se evaluó por triplicado. (B) Grado de inducción en función de concentraciones crecientes de plomo en ppb. Se evaluó la intensidad del color obtenido frente a 0, 10, 50 y 100 ppb de plomo con un "n" = 3.

Conclusiones

Los resultados preliminares demuestran que el biosensor presenta una buena sensibilidad a niveles de plomo en el rango de interés (10 ppb), lo que lo convierte en una herramienta valiosa para el monitoreo de agua potable. Además, dado su bajo costo, facilidad de uso y portabilidad, este dispositivo podría utilizarse para monitorear la calidad del agua de manera

extendida en el tiempo y el territorio, contribuyendo así a garantizar el acceso a agua segura.

Referencias

Almeida, M Inês G S et al. (2018) “Developments of microfluidic paper-based analytical devices (μPADs) for water analysis: A review.” *Talanta* vol. 177 176-190.

Bereza-Malcolm, Lara et al (2016). “Development and Application of a Synthetically-Derived Lead Biosensor Construct for Use in Gram-Negative Bacteria.” *Sensors (Basel, Switzerland)* vol. 16,12 2174. 18 Dec

Borremans, B. et al (2001). “Cloning and functional analysis of the pbr lead resistance determinant of *Ralstonia metallidurans* CH34.” *Journal of bacteriology*, 183, 19

Chen, P. et al (2005). “An exceptionally selective lead (II)-regulatory protein from *Ralstonia metallidurans*: development of a fluorescent lead (II) probe.” *Angewandte Chemie (International ed. in English)* vol. 44,18 (2005): 2715-9.

Hobman, J. L. et al (2012). “Cysteine coordination of Pb (II) is involved in the PbrR-dependent activation of the lead-resistance promoter, PpbrA, from *Cupriavidus metallidurans* CH34.” *BMC microbiology*, 12, 109

Hui, C. et al (2020). “Genetic control of violacein biosynthesis to enable a pigment-based whole-cell lead biosensor” *RSC Advances* 10.47 (2020): 28106-28113.

Wei, W. et al (2014). “Simple whole-cell biodetection and bioremediation of heavy metals based on an engineered lead-specific operon” *Environmental science & technology*, 48(6), 3363-3371

DISTRIBUCIÓN DE FLUORURO GEOGÉNICO EN VERTIENTES AFLUENTES DEL ARROYO TELSEN, CHUBUT

María del Pilar Alvarez^{1,2}, Eleonora Carol³, Gabriela Massaferrero^{2,4}, Lina Sonia Videla¹, Tomás Bosco¹, Pablo José Bouza⁴ y César Mario Rostagno¹

¹ Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC-CONICET), Puerto Madryn, Argentina.

² Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Puerto Madryn, Argentina.

³ Centro de Investigaciones Geológicas (CIG-CONICET-UNLP), La Plata, Argentina.

⁴ Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (IPGP-CONICET), Puerto Madryn, Argentina.

E-mail: alvarezcenpat@conicet-gob.ar

Introducción

Dentro de los contaminantes inorgánicos del agua, el flúor representa un riesgo para la salud humana dado que su ingesta a largo plazo puede provocar fluorosis dental, fluorosis esquelética e incluso carcinogénesis de tejidos y órganos (Xiao et al., 2022). La Organización Mundial de la Salud y el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) fijan para el agua de consumo humano un valor de referencia para el fluoruro (F⁻) de 1,5 mg/L para la exposición a largo plazo. Algunos estudios indican que las regiones que tienen contaminación por F⁻ en las aguas subterráneas se caracterizan por la presencia de rocas de basamento cristalinas o lechos rocosos volcánicos donde la disolución de minerales que contienen flúor es favorecida por condiciones climáticas áridas/semiáridas (Kim y Jeong, 2005; Macdonald et al., 2011). Cuando la interacción agua – roca produce la liberación en solución de altas concentraciones de F⁻, se habla de contaminación geogénica, siendo ésta, una de las principales causas del deterioro de la calidad del agua por excesos de F⁻ en muchas regiones del mundo (Ali et al., 2016; Malago et al., 2017).

La Patagonia extrandina constituye una amplia región árida en donde dominan las rocas volcánicas y el agua superficial y subterránea suele tener elevadas concentraciones de contaminantes geogénicos traza tales como el F⁻. En el área de la Meseta de Sumuncurá existen numerosos asentamientos rurales, siendo uno de ellos la localidad de Telsen (Fig. 1) la cual se abastece de agua de vertientes tributarias al arroyo Telsen. Bajo ese contexto el objetivo de este trabajo fue caracterizar hidroquímicamente el agua y la distribución de fluoruros tanto en el agua superficial como subterránea de dicha cuenca.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el centro norte de Chubut, donde el clima es de tipo árido. Geográficamente esta zona se encuentra enmarcada en el borde sureste de la meseta de Somún Curá y comprende principalmente las sierras de Apas y Negra de Telsen (Fig. 1). La geología local está representada por la Fm. Marifil (Jurásico) aflorante en el sector NE del área y constituida por ignimbritas riolíticas, lavas y tobas. Sobre esta Fm. se encuentran las sedimentitas y piroclastitas del Grupo Chubut (Cretácico), a las que se les sobreimpone una importante actividad volcánica esencialmente básica que dio origen a extensas mesetas basálticas atribuidas a la Fm. Somún Curá (Oligoceno-Mioceno). En la Sierra de Apas, los basaltos de la Fm. Somún Curá se hayan intercalados con volcanitas y piroclastitas más alcalinas e intermedias (Cordenons et al. 2020) reunidas por Remesal et al. (2001) en el Complejo Volcánico Sierra de Apas. Éste incluye lavas e ignimbritas ácidas y traquíticas. El núcleo de la Sierra Negra de Telsen está constituido por lavas, piroclastitas e intrusivos que comprenden principalmente basaltos, traquitas y riolitas (Complejo Volcánico Sierra Negra de Telsen) que aquí son posteriores a

las efusiones de los basaltos de la Fm. Somún Curá y, además, se hayan intruidas por diques de basaltos olivínicos de edad pliocena. Los afloramientos de la Sierra de Apas están parcialmente cubiertos por conglomerados y areniscas de la Fm. Pampa Sastre que representarían depósitos de pie de monte generados por la erosión de las volcanitas. En el Cuaternario se depositan los niveles de pie de monte alrededor de la Sierra Negra de Telsen formados por areniscas, gravas y limos. Los valles fluviales y lagunas endorreicas se encuentran rellenas por depósitos aluviales y coluviales de arenas, limos y arcillas (Ardolino y Franchi, 1996).

Hidrológicamente la cuenca se compone del arroyo Telsen, de bajo caudal y de tipo permanente que fluye de NO a SE, y de numerosos cursos efímeros que drenan hacia el mismo. Estos cursos presentan en sus cabeceras vertientes ya sea en rocas o sedimentos y a lo largo de los valles, tramos con mallines donde se forman pequeños cursos de agua que por sectores se infiltran.

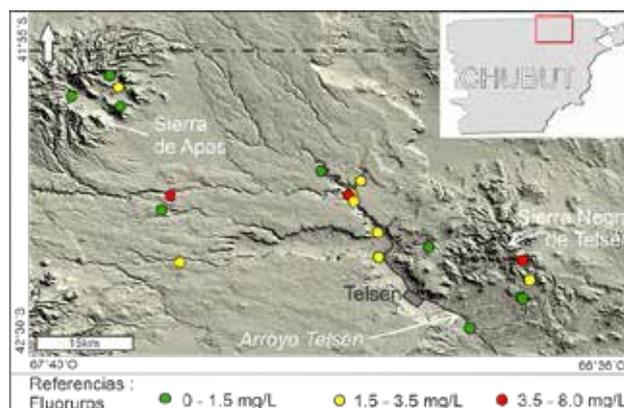


Figura 1.- Ubicación del área de estudio, localización de los sitios de muestreo y contenido de flúor en aguas

Metodología

Se realizó un relevamiento hidrogeológico (abril 2022 y noviembre 2022) donde se muestrearon fuentes de agua e identificó la litología asociada. Se tomaron 25 muestras entre, vertientes, molinos y arroyos. En ellas se determinó in situ la conductividad eléctrica (CE) y en laboratorio iones mayoritarios y fluoruro. Las determinaciones de iones mayoritarios se efectuaron en el laboratorio de Suelos de Ecosistemas Patagónicos (LASUEP-IPEEC-CONICET) siguiendo métodos estandarizados APHA (1998). Carbonatos (CO₃²⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻), cloruro (Cl⁻), calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺) fueron determinados por titulación; sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) por fotometría; sulfatos (SO₄²⁻) y nitratos (NO₃⁻) por espectroscopía UV-Visible. El análisis de fluoruro se realizó en el laboratorio de ALUAR Aluminio Argentino por el método de determinación basado en la norma ASTM D 3270.

Resultados

Las mediciones de la CE del agua en mallines, arroyos, vertientes y pozos muestran una gran variabilidad, presentando los menores valores (85 $\mu\text{S}/\text{cm}$), las muestras de las vertientes localizadas en la Sierra de Apas y los mayores (6040 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en el agua subterránea del sector NE. Por su parte, los mallines y sectores del arroyo Telsen tienen valores de CE intermedios. En la mayoría de las muestras de vertientes y mallines, el agua es de tipo bicarbonatada siendo en algunas bicarbonatada-cálcica o sulfatada-sódica, esta última facie corresponde a aguas con mayor CE. El agua del arroyo Telsen en general es de tipo sulfatada-sódica y la subterránea con valores más elevados de CE es de tipo clorurada-sódica (Fig. 2).

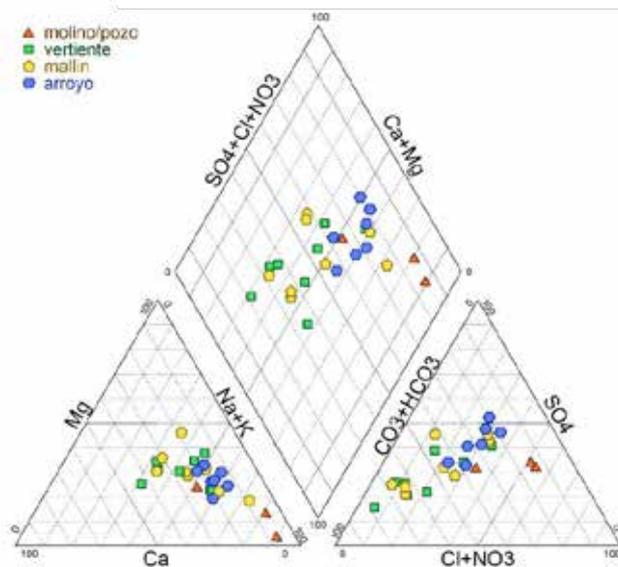


Figura 2.- Diagrama Piper de clasificación de aguas.

Respecto al contenido de F^- , éste se encuentra en el 75% de las muestras por encima del límite de 1,5 mg/L llegando hasta valores de 8 mg/L (Fig. 3). Los menores contenidos se encuentran en las vertientes y mallines y corresponden a las aguas más dulces y los mayores, a las más salinas, evidenciándose en general una buena correlación directa entre CE, y F^- . No obstante, en una muestra de baja salinidad y de tipo bicarbonatada sódica, asociada a rocas alcalinas también se detectaron contenidos de F^- muy elevados (Fig. 3).

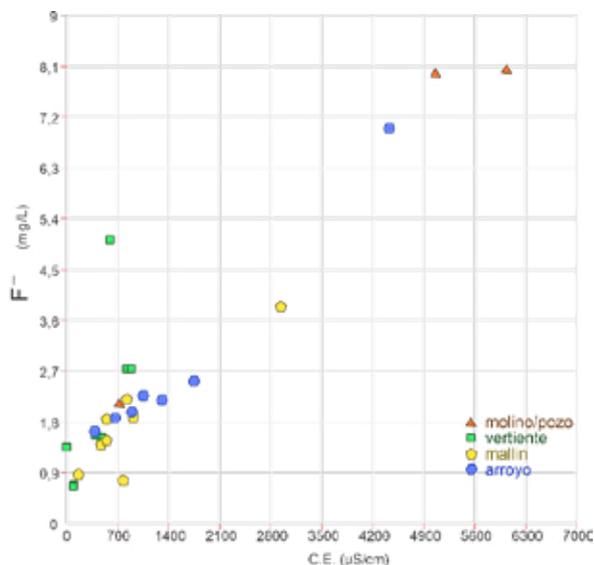


Figura 3.- Relación fluoruro vs. conductividad eléctrica

Conclusiones

La distribución del flúor en la zona estudiada no es homogénea, presentando valores variables en un rango que va desde contenidos aceptables hasta valores que superan ampliamente los recomendados en el CAA (2007). El origen del F^- en la zona podría atribuirse a diversas fuentes. Por un lado, en el NE de la zona de estudio, dada la cercanía con la Fm Marifil, su origen podría atribuirse a la disolución de las vetas de fluorita presentes en dicha formación. Por otro lado, el aumento del contenido de F^- con la CE desde las partes altas de la cuenca hacia las zonas bajas, indicaría que existe una incorporación de iones en solución (incluido F^-) a lo largo del flujo producto de la interacción del agua con las rocas. Por otro lado, otro origen del F^- podría atribuirse a la alteración de rocas asociadas a vulcanismo alcalino lávico y piroclástico (NO y SE de la zona) de variada composición y que tienen componentes que pueden tener flúor en su estructura tales como biotita, anfíboles y vidrio volcánico.

Este estudio, si bien es preliminar, aporta elementos para comprender el origen y distribución de este elemento en las aguas de la zona.

Referencias Bibliográficas

- Ali, S., Thakur, S.K., Sarkar, A. et al. (2016). "Worldwide contamination of water by fluoride". *Environmental Chemistry Letters* 14, 291–315 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0563-5>
- Ardolino, Alberto A. y Franchi, Mario, (1996). "Hoja Geológica 4366-I Telsen. Provincia de Chubut". *Boletín*; 215. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. *Boletín* 215, 110 pp. Buenos Aires
- Código Alimentario Argentino (2007). Capítulo XII. Art. N° 982. Resolución N°68/2007 y N°196/2007. Modificación 2012 (Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012). Ministerio de Salud. Bs. As. Argentina.
- Cordenons, P., Remesal, M., Salani, F. y Cerredo, M. E. (2020). Temporal and spatial evolution of the Somún Curá Magmatic Province, Northern Extra-Andean Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 104, 102881. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102881>
- Kim, K. Jeong G.Y. (2005). "Factors influencing natural occurrence of fluoride-rich groundwater: a case study in the southeastern part of the Korean Peninsula". *Chemosphere*, 58 (10), pp. 1399-1408
- Macdonald, R. Baginski, B. Leat, P.T. White, J.C. Dzier-zanowski, P. (2011). "Mineral stability in peralkaline silicic rocks: information from trachytes of the Menengai volcano, Kenya". *Lithos*, 125, pp. 553-568
- Malago, J., Makoba, E., & Muzuka, A. N. (2017). Fluoride levels in surface and groundwater in Africa: a review. *American Journal of Water Science and Engineering*, 3(1), 1-17.
- Remesal, M., F. Salani, M. Franchi Y A. Ardolino, (2001). "Hoja Geológica 4169-IV, Maquinchao. Provincia de Río Negro". Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín* 312, 68p. Buenos Aires.
- Xiao, Y. Hao, Q.C. Zhang, Y.H. Zhu, Y.C. Yin, S.Y. Qin, L.M. Li. X.H. (2022). Investigating sources, driving forces and potential health risks of nitrate and fluoride in groundwater of a typical alluvial fan plain. *Sciences of the Total Environment*, 802, Article 149909

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en los proyectos PIP 11220200102386CO y PICT-2021/00417. Las autoras y autores quieren agradecer Federico Uhrich y al laboratorio de ALUAR Aluminio Argentino por la realización de las determinaciones de fluoruros.

ARG CAP-NET: 20 AÑOS DE COOPERACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA

Marcela Andino^{1,2}; María Jimena Andreazzini^{1,3}, Fernando Andrés^{1,4}, Enrique Angheben^{1,5}; Roxana Banda Noriega^{1,6}; Mario Basan Nickish^{1,7}; Mauricio Buccheri^{1,8}; Olga Cifuentes^{1,9}; José Luis Cionchi^{1,10}; Marcos Cipponeri^{1,5}; Leandro Díaz^{1,23}, Oscar Duarte^{1,11}; Mauro Epelbaum¹, Valentina Erice^{1,12}; Alicia Fernández Cirelli^{1,13}; Silvia Ferreira^{1,14}; Mónica Gabay^{1,15}; Albertina González^{1,16}; Cristóbal Lozeco^{1,17}; Laura Mármol^{1,14}; Edel Matteoda^{1,3}; Roberto Esteban Miguel^{1,7}; Valeria Mendoza^{1,18}; Ana Mugetti^{1,15}; Martín Ninni^{1,19}; Marta Paris^{1,17}; Daniel Petri^{1,19}; Jorge V. Pilar^{1,20}; Víctor Pochat^{1,21}; Pablo Ramati^{1,21}; José Reta^{1,22}; Corina Rodríguez^{1,6}; Mariana Romanatti¹; Alejandro Ruberto^{1,20}; Mario Schreider^{1,17}; Alejandra Volpedo^{1,13*}

¹Arg Cap-Net, ²Departamento General de Irrigación de Mendoza, ³Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), ⁴Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), ⁵Universidad Nacional de la Plata (UNLP), ⁶Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), ⁷Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ⁸Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), ⁹Universidad Tecnológica Nacional (UTN), ¹⁰Universidad FASTA (UFASTA), ¹¹Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), ¹²Universidad de Mendoza (UM), ¹³Universidad de Buenos Aires (UBA), ¹⁴Universidad Nacional de Salta (UNSA), ¹⁵Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH), ¹⁶Universidad Nacional de Rosario (UNR), ¹⁷Universidad Nacional del Litoral (UNL), ¹⁸Instituto Nacional del Agua (INA), ¹⁹Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA Río Negro), ²⁰ Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), ²¹Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria (AIDIS), ²²Universidad de Congreso (UC).

*E-mail: avolpedo@gmail.com

Creación y evolución

La Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg Cap-Net) se creó en la ciudad de Santa Fe el 25 de noviembre de 2002, a partir del impulso de instituciones públicas y privadas que actuaban en los ámbitos nacional, provincial y local en relación con la gestión y enseñanza en temas de recursos hídricos. Su origen fue promovido por el Ing. Armando Bertranou, por entonces funcionario del gobierno nacional y profesor de la Universidad Nacional de Cuyo, quien impulsó la idea de constituir esta red, a la cual adhirieron rápidamente otras 12 instituciones que conformaron la «comisión promotora» de Arg Cap-Net.

De esa asamblea participaron la Universidad Nacional del Litoral (UNL), a través de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, que fue sede de la reunión de fundación de la red y de la primera Secretaría Ejecutiva; la Universidad de Buenos Aires (UBA) y las universidades nacionales de La Plata (UNLP), del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), de Rosario (UNR), de San Juan (UNSJ) y de Mar del Plata (UNMdP); el Instituto Argentino de Recursos Hídricos (IARH); la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria (AIDIS); el Comité Permanente de los Congresos del Agua y el Instituto Nacional del Agua (INA).

En la actualidad, la red está integrada por 23 instituciones que incluyen universidades (UNL, UBA, UNLP, UNER, UNRC, UNICEN, UNSA, UTN, Universidad Nacional del Sur -UNS, UM, UFASTA, UNNE, UC, UNCuyo, UNR y Universidad Nacional de Tucumán -UNT), organismos de investigación y extensión (INTA e INA), organizaciones de gestión (Departamento General de Irrigación de Mendoza, COIRCO, DPA-Río Negro) y organizaciones no gubernamentales (AIDIS, IARH).

Visión, misión y objetivos

Arg Cap-Net se creó bajo la visión de constituir una asociación de instituciones públicas y privadas referentes a nivel nacional y regional en la generación y desarrollo de capacidades en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Su misión es desarrollar capacidades y promover la generación

de conocimientos que faciliten la instrumentación de la GIRH en individuos, organizaciones y en la sociedad argentina en su conjunto, mediante su accionar, el intercambio y la cooperación entre sus miembros.

Sus objetivos son:

- Formar y capacitar recursos humanos en todos los ámbitos y niveles, en temas relacionados con GIRH.
- Propiciar y facilitar el intercambio y difusión de conocimientos, habilidades y experiencias realizadas en GIRH.
- Propiciar la articulación con otras instituciones y redes, como así también la realización de alianzas estratégicas.
- Promover el estudio y la investigación y desarrollo en GIRH.

Actividades y resultados

La red está adherida a Cap-Net, que es una red para el Desarrollo Internacional de Capacidades para la Gestión Sostenible del Agua, que forma parte del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). A través de esta vinculación, desde 2005 y hasta 2021, Arg Cap-Net recibió fondos semilla desde el PNUD y desde la Global Water Partnership organization (GWP). Esto facilitó la realización de diferentes actividades en el territorio nacional y la materialización de alianzas interinstitucionales entre los miembros y otros organismos vinculados a la gestión del agua y del ambiente. Por otra parte, se estrecharon vínculos con otras redes latinoamericanas como la Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua (La-WETnet), la Red Centroamericana de Instituciones de Ingeniería (REDICA) y la Red Mexicana de Recursos Hídricos (REMERH) para promover la participación de especialistas argentinos en actividades regionales.

Arg Cap-Net es una red federal que cubre el territorio del país (Figura 1) y en la cual todas las instituciones integrantes trabajan de manera colaborativa en diferentes proyectos y actividades conjuntas y asociadas a la formación de recursos humanos en la temática de la GIRH, impulsadas por la red.



Figura 1.- Miembros integrantes de Arg Cap-Net.

Desde su creación hasta la fecha se han realizado más de 180 cursos, talleres y/o seminarios – a lo largo y ancho del país- en donde han participado aproximadamente 12000 profesionales y técnicos que trabajan en instituciones vinculadas a la gestión del agua y el ambiente. A lo largo de su existencia, la red fue diversificando las temáticas de sus cursos, talleres, jornadas y seminarios, entre las cuales se destacan: economía para la GIRH; GIRH y desarrollo de capacidades para el crecimiento sostenible de comunidades rurales del Noroeste de Argentina, construcción de indicadores y escenarios para el manejo de cuencas; herramientas gerenciales para la gestión del agua, gestión de inundaciones y sequías; gestión integrada de los ríos y su entorno, gestión de aguas subterráneas; economía ambiental; educación ambiental; GIRH vinculada a género, cambio climático, agricultura, ordenamiento territorial y legislación ambiental; agua y saneamiento; línea de ribera y riesgo hídrico; agua y minería; agua y residuos; huella hídrica; servicios ambientales; política hídrica; gobernanza del agua; protección y restauración de ecosistemas acuáticos; hidrotecnologías ancestrales, entre otras.

Entre los eventos más emblemáticos desarrollados merecen destacarse el Taller de Gestión Integrada de Inundaciones (2004); el Seminario Taller «Línea de Ribera y Riesgo Hídrico» (2016); el Seminario Taller «Una perspectiva integrada sobre las inundaciones» (2016) y las III Jornadas de Política Hídrica (2017). Estos eventos contaron con una amplia participación y fueron multiplicadores de otras actividades relacionadas con las temáticas.

Durante los 20 años de vida, la red fue sumando instituciones distribuidas en diferentes provincias y regiones geográficas del país. En los últimos 10 años, se incrementó notablemente el número de personas capacitadas en distintas actividades impulsadas por la red, con un promedio de 300 personas por año, y además logró trascender su alcance nacional, llegando con sus acciones a 12 países, tanto en la región como en otros continentes.

Unas de las primeras actividades de la red fue incorporar el

dictado del curso «Gestión Integrada de Recursos Hídricos», que venían dictado la UBA y el IARH, cuyo mayor logro fue introducir la GIRH en nuestro país; y la realización de una encuesta sobre necesidades de capacitación, la cual le permitió a la red realizar su oferta de formación en base a datos concretos.

Uno de los hitos más destacados en las acciones desarrolladas por Arg Cap-Net es la creación y el dictado de la Maestría en GIRH (carrera interinstitucional de las Universidades Nacionales de Córdoba, Cuyo y del Litoral - UNC, UNCuyo, UNL). Esta maestría comenzó a dictarse en 2009, cuando obtuvo el reconocimiento oficial y la validez nacional del título por parte del Ministerio de Educación de la Nación. Actualmente registra un total de 18 graduados.

Otras actividades destacadas son la propuesta de creación de una red de posgrados relacionados con la gestión de los recursos hídricos, que se dictan en instituciones miembros de Arg Cap-Net, como la Maestría en Gestión del Agua (UBA), la Maestría en Ecohidrología (UNLP), la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (UNLP) y la Maestría en Gestión Sostenible del Agua (UNL).

Asimismo, la red fue seleccionada en el año 2021 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), junto con sus socios GWP y Cap-Net, para desarrollar en Argentina -en conjunto con el Foro Argentino del Agua- el proyecto piloto «Integrando datos para mejorar la protección y restauración de los ecosistemas de aguas continentales». Este proyecto piloto, enmarcado en la aceleración para mejorar el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6.6.1, también se implementó en Kenia y Kazajistán. El Punto Focal Nacional para el proyecto fue la Dirección Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, en el marco de la aplicación del indicador 6.6.1 de los ODS. En este proyecto, se capacitaron 67 profesionales y se realizaron planes de acción (uno en Chubut, otro en Catamarca y en Tucumán), que fueron destacados por el PNUMA como un ejemplo de aceleración del ODS 6.6.1.

También sobresale la participación de la red en mesas redondas, congresos, jornadas y cursos organizados en el país y en el extranjero. Recientemente, la red incorporó actividades conjuntas con el Comité Académico Aguas de la Asociación de Universidades del Grupo Montevideo (AUGM), lo cual constituye una alianza estratégica para continuar con la visión y los objetivos de la red.

Consideraciones finales

El trabajo conjunto, el aporte de diversos tipos de organizaciones y la formación de lazos interpersonales e interinstitucionales han permitido la concreción de numerosas actividades para el logro de objetivos y el fortalecimiento de las capacidades en gran parte del país, así como la difusión de esta temática a toda la sociedad.

En este sentido, para dar cuenta de sus actividades, poner a disposición contenidos y comunicar sus acciones a la comunidad, la red cuenta con el sitio web www.argcapnet.org.ar y redes sociales.

El trabajo colaborativo entre los miembros de la red, redes asociadas y organizaciones internacionales, para mejorar la GIRH en el país, es la fórmula que ha sostenido a Arg Cap-Net desde sus orígenes y sobre la cual debe proyectarse para continuar creciendo.

HUELLA HÍDRICA REFERENCIAL DEL CULTIVO DE VID PARA VINIFICAR EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO COLORADO

Carolina M. Aumassanne^{1*}; Dardo, R. Fontanella¹; María Eugenia Beget^{2,3}; Carlos M. Di Bella^{3,4}; María Lujan Masseroni¹; Ayelen, Varela¹

¹Agencia de Extensión Rural 25 de Mayo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 25 de Mayo, La Pampa, ARGENTINA

²Instituto de Clima y Agua, CIRN. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ARGENTINA

³Departamento de Métodos Cuantitativos y Sistemas de Información, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

⁴IFEVA-Conicet/UBA

E-mail: * aumassanne.carolina@inta.gob.ar

Introducción

En las regiones áridas y semiáridas, el agua constituye el principal factor limitante para el desarrollo agrícola. Mediante el riego integral, en muchas situaciones, se satisfacen casi la totalidad de las necesidades de agua de los cultivos. La agricultura bajo riego constituye uno de los mayores consumidores de agua dulce en el mundo. Esto ha generado, en situaciones de limitaciones de recursos hídricos, severos conflictos de uso ya que entran en juego las demandas de agua para abastecimiento humano, hidroeléctrico e industrial, entre otros (FAO, 2002).

En el año 2002 surge el concepto de huella hídrica (HH) desarrollado por Hoekstra y Hung con el objetivo de obtener un indicador que relaciona el uso del agua con el consumo humano (Raes *et al.*, 2009). Así, la HH se presenta como un indicador ambiental de sostenibilidad complementaria que permite conocer cuál es el volumen total de agua que se necesita para producir los bienes y servicios de una población. La HH de un cultivo (Civitt *et al.*, 2012; Álvarez, 2016), indica la cantidad de agua evapotranspirada para obtener una determinada producción, distinguiendo entre el agua procedente de las precipitaciones (verde) y el agua extraída de ríos, lagos y acuíferos, aplicada mediante riego (azul) (e.g. Cao *et al.*, 2014).

En la cuenca media del río Colorado, sobre la ribera pampeana, se desarrolla la actividad vitivinícola en las localidades de 25 de Mayo, Casa de Piedra y Gobernador Duval, a partir del aporte del agua proveniente del río Colorado. El riego es de tipo integral y entre las condiciones agroclimáticas, se destacan la aridez de la zona y la elevada amplitud térmica, permiten el excelente desarrollo del cultivo de la vid. En vistas a la expansión y desarrollo de la actividad en los últimos años, a las condiciones de oferta de agua en la cuenca, y a la potencial competencia con otros usos del agua, es necesario contar con herramientas e indicadores para la gestión sustentable del agua y potenciar la seguridad hídrica en la cuenca. Por otro lado, desde el sector vitivinícola argentino se ha manifestado la necesidad de contar con indicadores clave para la gestión de los recursos que también les permita acceder a esquemas de verificación y certificación de productos para acceder a mercados más exigentes. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue calcular la huella hídrica referencial verde y azul del cultivo de vid con destino a la vinificación en las localidades de 25 de Mayo, Casa de Piedra y Gobernador Duval (provincia de La Pampa).

Materiales y métodos

Área de estudio. Este trabajo se desarrolló sobre la cuenca media del río Colorado, en los viñedos de 3 localidades pampeanas, 25 de Mayo, Casa de Piedra y Gobernador Duval.

Cálculo de huella hídrica. Se utilizó la metodología desarrollada por Hoekstra *et al.* (2010). En ella se considera que la HH total, es decir los litros de agua consumidos por unidad de producto, está compuesta por la HH verde, la HH azul y HH gris. Esta última no ha podido ser estimada debido a la falta de

disponibilidad de datos para ello y sólo se han calculado las huellas verde y azul.

Cálculo de uso consuntivo de los cultivos. Se utilizó el software CROPWAT 8 (Smith, 1999; FAO, 2012) que emplea el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la ET del cultivo (Allen *et al.*, 1998), requerimientos de agua y riego en base a datos climáticos, de suelos y de cultivo, a los fines de determinar el uso consuntivo ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

Recolección de datos.

Información meteorológica. Las variables climáticas requeridas por este modelo son precipitación, temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento y las mismas fueron obtenidas de la red de estaciones meteorológicas del Ministerio de la Producción (Gov. De La Pampa).

Información del cultivo. A partir de la información brindada por los productores y mediciones a campo se obtuvieron la fecha de siembra, de cosecha, días en cada etapa fenológica, altura y profundidad de enraizamiento. El coeficiente del cultivo (Kc) y las fases de crecimiento fueron obtenidos de trabajos realizados en la misma región por Fontanella y Aumassanne (2015). En el caso de la fracción de agotamiento crítico y el factor de respuesta de la productividad del cultivo fueron tomados de Allen *et al.*, (2006). El rendimiento del cultivo de cada viñedo fue informado por el encargado de cada uno de los establecimientos.

Información de suelo. El agotamiento inicial y la humedad del suelo disponible inicialmente (mm/m profundidad) se estimaron para perfiles de suelo con características similares de la zona. La humedad total disponible fue tomada de Sartor *et al.*, (2018) y la tasa máxima de infiltración para suelos arenosos de FAO (2012). La profundidad radicular máxima (cm) se midió tomando como referencia el manto de ripio que produciría un impedimento al paso de las raíces.

Componentes verde y azul de la huella hídrica de los cultivos. La ET del agua verde-azul se calculó utilizando el modelo CROPWAT 8.0 basándose en los requisitos de agua de los cultivos. La ET se calcula para condiciones óptimas ($ET_c = NAC$, Allen *et al.*, 1998). La ET_c se calcula en periodos de diez días y durante la temporada completa de crecimiento. Para calcular la precipitación efectiva, se consideró el SCS USDA (USDA Soil Conservation Service) ya que es uno de los métodos más utilizados (Setegn *et al.*, 2011). El modelo calcula la ET_c de la siguiente manera (Ecuación 1):

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [1]$$

donde: Kc: coeficiente del cultivo, que incorpora las características del cultivo y un promedio de efectos de la evaporación del suelo. ET_o : evapotranspiración de referencia, que expresa la evapotranspiración de un cultivo de referencia hipotético de pastura sin escasez de agua.

La evapotranspiración de agua verde (ET_{verde}) se calculó como el mínimo de la evapotranspiración total del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (Pe_{eff}), con un intervalo de tiempo de diez días y luego se sumó durante el período de crecimiento. La

evapotranspiración del agua azul (ETazul) se calculó como la diferencia entre la evapotranspiración total del cultivo (ETc) y la precipitación total efectiva (Peff) sobre una base de diez días. Cuando la Peff fue mayor que la ETc de la cosecha total la ET azul se consideró igual a cero. Luego se sumó la ET azul durante todo el período de crecimiento. La ETc estimada en milímetros, se convirtió en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ aplicando un factor de 10 veces para obtener las necesidades de agua del cultivo (NAC) verde y azul en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. El componente verde de la HH de un proceso de cultivo (HHproc,verde, $\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$) se calculó como el componente verde en el uso de agua de los cultivos (NACverde, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) dividido por el rendimiento del cultivo Y ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$), y de manera similar el componente azul (HHproc,azul, $\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$).

Resultados

En el período analizado la ETc en Gdor. Duval presenta una demanda máxima diaria en la primera década de enero de 6,5 mm; en 25 de Mayo 6 mm y en Casa de Piedra 6,8 mm. Por otra parte, la ETc mínima diaria para las tres localidades fue de 1,5 mm en el mes de octubre. La precipitación efectiva media para el período evaluado fue de 200 mm para Gdor. Duval, 197,5 mm para 25 de Mayo y 102,46 mm para Casa de Piedra. Como resultado la ETc media del cultivo de vid fue de 845 mm, 845,3 mm y 765,5 mm respectivamente. Dando como resultado promedio la ETc para las tres localidades de 818,6 mm/período (Figura 1).

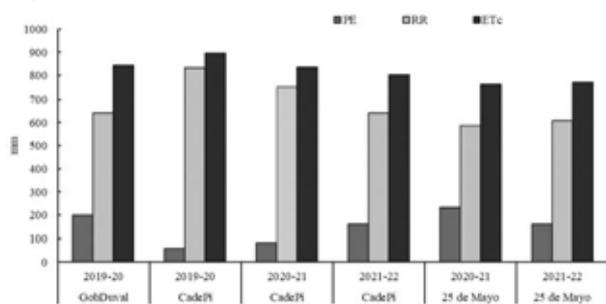


Figura 1.- Precipitación efectiva (PE), requerimiento de riego (RR) y evapotranspiración del cultivo (ETc) (mm) para el cultivo de vid desde 2019 a 2022 en Gobernador Duval (GobDuval), Casa de Piedra (CadePi) y 25 de Mayo.

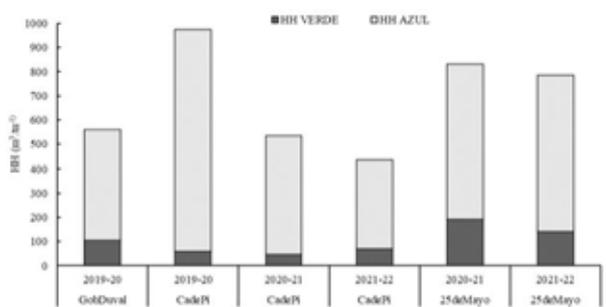


Figura 2.- Huella hídrica ($\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$) estimada del cultivo de vid desde 2019 a 2022 para Gobernador Duval (GobDuval), Casa de Piedra (CadePi) y 25 de Mayo.

Los resultados obtenidos indican un rango de HH que oscila entre 638 y 886 $\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$, dentro de la cual el 83% de la misma corresponde a la HH azul (Figura 2). Además, en la zona las características climáticas desérticas, de bajas precipitaciones y alta ETc explican los altos valores de HH azul y bajos valores de HH verde. Las HH estimadas difieren entre campañas en cada una de las localidades debido al comportamiento de las distintas variables que influyen en la demanda evaporativa (temperatura, humedad relativa, precipitación, viento) y en los rendimientos alcanzados.

Conclusiones

Este trabajo es el primero con datos actuales de HH referencial para el cultivo de vid para en la región. A partir de esta información, se plantea trabajar junto al productor en prácticas de manejo para el aumento de la eficiencia en el uso del agua y en prácticas de manejo vitícola (labores en verde, poda diferenciada, entre otras) con el fin de mejorar la productividad en el uso del agua y la competitividad de la región. A su vez, contribuye al ajuste de políticas hídricas actuales y futuras a fin de mejorar la distribución y optimizar el uso del recurso en la cuenca, y planificar el territorio con énfasis en la sostenibilidad local en el marco de la gestión integrada de cuenca.

Referencias

- Alvarez, A., Morábito, J. A., Schilardi, C. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. Rev. FCA UNCUIYO. Tomo 48 (1).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma. 298 pp.
- Cao, X. C., Wu, P. T., Wang, Y. B. y Zhao, X. N. 2014. Assessing blue and green water utilisation in wheat production of China from the perspectives of water footprint and total water use. Hydrology and Earth System Sciences 18: pp 3165–3178.
- Civit, B., Arena P., Piastrellini, R. 2012. Indicadores de sostenibilidad. Huella de carbono y huella hídrica de un viñedo considerando distintos sistemas de riego en Mendoza, Argentina. Enoviticultura, 14, 2–9.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2012. CROPWAT “decisión support system” (en línea). Roma, Italia. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html Flores-Gallardo, H., Ojeda-Bustamante, W.
- Fontanella, D. R. y Aumassanne, C. M. 2015. Evapotranspiración de maíz, alfalfa y vid bajo riego en la cuenca media del río Colorado, Argentina. VII Jornadas de actualización en Riego y Fertilización. Mendoza, Argentina.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. Y., Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan Ed., London Washington, DC.228pp. <http://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. y Fereres, C. E. 2009. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. Journal of Agronomy. pp 438-447.
- Rodríguez Casado, R., Garrido, A., Llamas M. R. y Varela-Ortega, C. 2008. La huella hidrológica de la agricultura española. Número 2. Papeles de Agua Virtual. Ed. Fundación Marcelino Botín.
- Sartor, P. D., Aumassanne, C. M., Zamora, C. D., Masseroni, M. L., Fontanella, D. R., Álvarez, C., Beget, M. E., Di Bella, C. M. 2018. Análisis de las constantes hídricas en suelos bajo riego de 25 de Mayo, La Pampa. V Congreso Pampeano del Agua. 21 y 22 de marzo. Santa Rosa, La Pampa
- Smith, M. 1999. CROPWAT Windows versión 8.0. FAO. Italia
- Setegn, S. G., Chowdary, V. M., Fikadu Yohannes B. C. y Yasuyuki Kono. 2011. Water Balance Study and Irrigation Strategies for Sustainable Management of a Tropical Ethiopian Lake: A Case Study of Lake Alemaya. Water Resources Management 25: pp 2081–2107

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE REAIREACIÓN MEDIANTE LA INYECCIÓN INSTANTÁNEA DE TRAZADORES, EN UN TRAMO DEL ARROYO CHICAMTOLTINA

Barbero Medina Gonzalo, Candotti Agustina, Prenol Murúa Josefina, Larrosa Nancy y Nadal, Ana

Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina
E-mail de los autores: gon.medina@unc.edu.ar

Introducción

El arroyo Chicamoltina nace aguas arriba de la ciudad de Alta Gracia, en Córdoba Argentina; la atraviesa de noroeste a sureste y kilómetros abajo se convierte en tributario del río Anisacate. Se lo utiliza con fines recreativos y, luego del área urbana, se configura como receptor de los efluentes de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de la ciudad. El tratamiento de efluentes de la ciudad de Alta Gracia consiste en lagunas facultativas que no logran depurar lo exigido por la normativa. Esto gana importancia al considerar que vuelve a tener un fuerte uso recreativo en su confluencia con el Anisacate,

En lo que refiere a su régimen, el mismo es irregular con crecidas estivales y bajos caudales en invierno. En toda su extensión el relieve es variado tanto en el perfil longitudinal como en las secciones transversales, con diversas alturas a cada lado del mismo. Por tramos corre encajonado entre fuertes pendientes que hacen que sea poco accesible; en otros tramos, el cauce es más plano en algunos de sus bordes, principalmente en el sur, lo que permite su acceso, estancia y recorrido (Nadal et al, 2017).

Si bien esta configuración hace que sus condiciones hidrodinámicas varíen a lo largo del año, su topografía, típica de arroyo de montaña, permite que en numerosas secciones conserve el régimen turbulento en todas las estaciones.

Considerando que las consecuencias del impacto antropogénico que recibe este cuerpo, tales como pérdida de biota y procesos de eutrofización, tienen como principal causa la disminución del oxígeno disuelto (consumido en los procesos de degradación de materia orgánica, procesos metabólicos de microorganismos y ciclo del nitrógeno), estas áreas de turbulencia ganan importancia en su autodepuración puesto que permiten reincorporarlo mediante reaireación.

Es en este sentido que el presente trabajo tuvo como objetivo determinar esta constante de reaireación (K_a) a través de la modificación del método de inyección instantánea (Slug Injection) propuesto por Yotsukura et al (1983), utilizando fluoresceína sódica como trazador conservativo y hexafluoruro de azufre (SF_6) como trazador gaseoso.

Una vez obtenida adecuadamente la constante de reaireación, se puede incorporar en los modelos de calidad de agua del sitio en estudio para poder así predecir su capacidad de autodepuración (Nadal et al, 2014).

Metodología

Para implementar la técnica fue necesario caracterizar hidrológicamente al arroyo, diseñar y construir un equipo de inyección instantánea que permita optimizar el método propuesto y realizar ensayos preliminares para planificar el ensayo final.

El coeficiente de reaireación puede ser determinado directamente en campo mediante diferentes métodos, en donde el uso de trazadores de gas es un medio común para medir estos procesos importantes en un tramo de corriente en particular (Hibbs et al, 1998).

Se optó por emplear SF_6 como trazador gaseoso (como propusiera Wanninkhof et al, 1990) ya que representa una técnica de gran adaptabilidad: es un gas no inflamable, química y biológicamente inerte, de gran volatilidad, puede cuantificarse de manera simple utilizando métodos cromatográficos y presenta un

C_{LC} relativamente bajo, lo que facilita su detección.

Asimismo, para realizar los respectivos balances de masa que permitan determinar la desorción del gas (y con ello posteriormente calcular K_a) es necesaria la inyección conjunta de un trazador conservativo a fin de independizarse de los fenómenos de dispersión y dilución. En este caso se empleó fluoresceína sódica.

Se implementó una inyección en pulso, teniendo así que diseñar para ello un dispositivo (Figura 1). El principio de funcionamiento del mismo se basa en el almacenamiento de cierto volumen de una solución de fluoresceína sódica, saturada con el gas trazador (SF_6) mediante un sistema de presurización. El equipo consta de una válvula globo que, al abrirse, debido a las condiciones de trabajo, expulsa a presión la solución saturada (en una inyección instantánea) que representa a ambos trazadores viajando por el curso de agua con comportamiento hidrodinámico prácticamente idéntico.

Por otro lado, previo al ensayo con ambos trazadores, se realizó un ensayo preliminar sólo con fluoresceína para determinar la longitud de mezcla óptima L_0 (distancia desde el punto de inyección en que se alcanza la mezcla completa transversal) (Fischer et al, 1979). Este ensayo también permitió determinar la masa mínima de trazador conservativo a inyectar, así como los tiempos de muestreo necesarios en el ensayo posterior.



Figura 1.- Equipo de inyección

El ensayo con ambos trazadores se hizo una única vez. En el mismo, luego de realizada la inyección, se tomaron muestras (a diferentes tiempos para cada trazador) en dos puntos representativos del arroyo para luego medir en cada una los analitos pertinentes. Los puntos de muestreo fueron: el primero (sitio A) en un lugar próximo posterior a la longitud de mezcla óptima y el segundo (sitio B) 672 m aguas debajo del primero.

Para la cuantificación de la fluoresceína se empleó un espectrofluorímetro (a 494 nm para excitación y 521 nm para emisión) y para la del SF_6 se utilizó un cromatógrafo gaseoso acoplado a un espectrómetro de masa simple cuadrupolo.

En lo que refiere a la caracterización hidráulica, se empleó en el sitio de inyección y en los puntos de muestreo un equipo de aforo ADV (correntímetro acústico ecodoppler) FlowTracker 2 SonTek, con el que se realizaron determinaciones batimétricas y de velocidad de flujo para estimar el caudal que atravesaba cada sitio.

Finalmente, se realizaron ensayos de adsorción de trazador conservativo en la matriz del suelo del cauce para poder incorporar este parámetro de corrección en el balance de masa. Para ello se construyeron columnas de adsorción con muestras de suelo del cauce y se hicieron circular soluciones de diferentes concentraciones conocidas de fluoresceína. A partir de la medición de concentración de la misma en la corriente de salida se determinó por diferencia la capacidad de adsorción de los suelos. Para este análisis se tomó la simplificación de considerar

el lecho del arroyo como de composición uniforme.

Resultados y discusión

Para el cálculo de la longitud de mezcla, se optó por un factor de eficiencia (k) igual a 0,070 según Kilpatrick y Cobb (1985), para el caso de una única inyección central y considerando una eficiencia de mezclado del 90%. De esta manera, la L_0 resultante fue de 20,2 m. Sin embargo, por seguridad y por cuestiones de accesibilidad al arroyo, se consideró una longitud de mezcla de 50 m desde el sitio de inyección.

En lo referente a los análisis de adsorción del suelo, con los resultados de los ensayos se construyeron isotermas de Freundlich. Este modelo de adsorción de solutos de soluciones líquidas en sólidos responde a la siguiente ecuación:

$$q_E = \frac{x}{mi} = K C^{1/n} \quad [1]$$

Donde q_E es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg de adsorbato/g de adsorbente), K una constante indicativa de la capacidad de adsorción del adsorbente (mg de adsorbato/ g de adsorbente) C la concentración de equilibrio, $1/n$ el parámetro de intensidad de Freundlich, x son los moles adsorbidos y mi los moles totales.

De acuerdo a la ecuación de ajuste obtenida, se calculó una constante de adsorción (K) de valor 0,001 mg fluoresceína sódica/g suelo y una intensidad de adsorción ($1/n$) correspondiente a 2,17; lo cual indica una baja capacidad de adsorción del suelo. Estas características, se corresponden con la composición aparente del suelo, que contiene principalmente arena y grava; dos materiales con poca capacidad de adsorción. Consecuentemente, la tasa de adsorción determinada fue del 11,6%.

Ya con esto, se analizaron los resultados de las mediciones de trazadores en el tiempo en los sitios A y B. En las Figuras 2 y 3 se pueden observar las curvas de respuesta respectivamente.

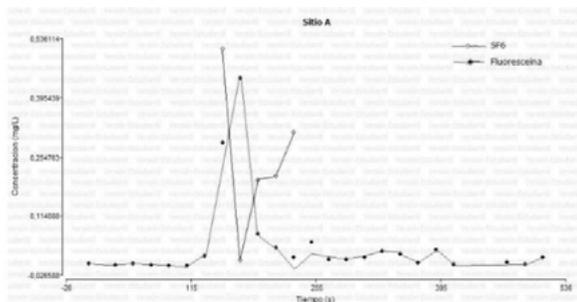


Figura 3.- Curvas de respuesta de ambos trazadores. Sitio A.

Analizando el comportamiento de dichos gráficos, se puede concluir que el tiempo pico (tiempo en que se alcanza la concentración máxima o pico) del trazador conservativo y el del trazador volátil son similares entre sí, para cada sitio. Para el sitio A, se considera que hubiese sido necesario analizar una mayor cantidad de muestras de gas para obtener una curva más precisa.

Siguiendo la metodología de Kilpatrick et al (1989) se determina el tiempo de vuelo pico τ (tiempo transcurrido entre el viaje de la concentración pico desde el sitio A hacia el sitio B). Posteriormente, el factor de recuperación de trazador conservativo (J) se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$J = \frac{(A_c Q)_A}{(A_c Q)_B} \quad [2]$$

Donde A_c refiere al área bajo la curva del sitio respectivo, así como Q corresponde al caudal. Dichas áreas, se calcularon por integración polinómica mediante el software PolyMath Professional V 6.1.

A continuación, a partir de la ecuación 3 se calcula el coeficiente de transferencia de masa del trazador volátil (K_T), haciendo uso

de las concentraciones picos correspondientes tanto del trazador conservativo (C_c) como del trazador volátil (C_g) en ambos sitios y sus respectivos tiempos pico (t).

$$K_T = \frac{1}{t_B - t_A} \ln \frac{\left(\frac{C_g}{C_c}\right)_A}{\left(\frac{C_g}{C_c}\right)_B} J = \frac{1}{t_c} \ln \frac{\left(\frac{C_g}{C_c}\right)_A}{\left(\frac{C_g}{C_c}\right)_B} \frac{(A_c Q)_A}{(A_c Q)_B} \quad [3]$$

Finalmente, con la ecuación 4 se puede calcular el coeficiente de reaeración considerando las difusividades del oxígeno (D_{O_2}) y del gas trazador (D_T) (Hibbs et al 1998),

$$K_a = K_T \left(\frac{D_{O_2}}{D_T}\right)^{1/2} \quad [4]$$

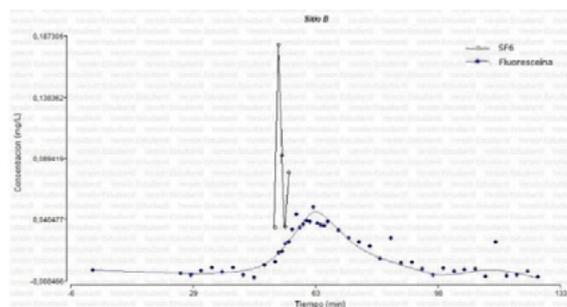


Figura 2.- Curvas de respuesta de ambos trazadores. Sitio B.

Para ello, se considera una difusividad de $1,74 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ para el O_2 y una difusividad de $8,64 \text{ m}^2/\text{s}$ para el SF_6 . Luego:

$$K_a = 1,086 \text{ día}^{-1}$$

Conclusiones

El valor de K_a obtenido indica que el arroyo tiene la capacidad de reincorporar al agua 1,086 mg/L de oxígeno de la atmósfera por día. Este valor no puede interpretarse por sí solo, ya que para determinar si esta tasa satisface lo requerido por el cuerpo de agua la misma debería analizarse conociendo la demanda de oxígeno del arroyo en base a la carga actual de efluente recibido.

Por otro lado, el equipo de inyección diseñado logró los objetivos esperados. Cumplió con los requerimientos de hermeticidad, inmediatez en la inyección de ambos trazadores en simultáneo, facilidad en el manejo y simplicidad en el transporte a campo.

Como objetivos a futuro se mencionan la realización de más ensayos para obtener un valor de K_a representativo de épocas de lluvia, puesto que el parámetro fue determinado en épocas de estiaje.

Referencias Bibliográficas

- Calvachi E.G.N., Chaves A.M.F., Mafla C.F.R., (2009). "Evaluación de una metodología experimental para la determinación de la tasa de reaeración en un río de montaña colombiano", *XXII Congreso Nacional del Agua*, Trelew, Argentina.
- Fischer H. B., Imberger J., Brooks N. H., List J. E., Koh R. C. Y. (1979). "Mixing in Inland and Coastal Waters". *Academic Press*, Nueva York, Estados Unidos.
- Kilpatrick F. A., Cobb E. D. (1985). "Measurement of Discharge Using Tracers". *U.S Geological Survey Techniques of Water Resources investigations. Book 3, Chapter A16*.
- Nadal A. F., Cossavella. A. M., Larrosa N. B. (2014). "Determinación de la tasa de reaeración y modelación hidrodinámica de un tramo del río Tercero (Ctalamochita)". *Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales Vol. 1, NO. 1., Córdoba, Argentina*.
- Wanninkhof, R, Mulholland, P. J., and Elwood, J. W. (1990). "Gas exchange rates for a first-order stream determined with deliberate and natural tracers." *Water Resour. Res.*, 26(7), Estados Unidos
- Yotsukura N, Stedfast D A, Draper R E, Brutsaert W H (1983), "An assessment of steady-state propane-gas tracer method for reaeration coefficients", *Water-Resources Investigations Rep. No. 83-4183, U.S. Geological Survey*, Estados Unidos.

EXPERIENCIAS Y DESAFÍOS DE UN MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EN EL MARCO DE UNA RED DE SITIOS PILOTO DEL OBSERVATORIO NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN (ONDTyD)

Bargiela, M.¹⁹; Bellanich, AE.¹⁰; Cabrera, JM¹; Devia, EA.³; Moscardi, C.²; Fabrezzi, M.; Therburg, A^{22,16}; Berardi, J. 8; Di Leo, N. 3, 4; Cardozo, F.4; Montico, S. 3, 5; Jonkovic, V.6; Pagani, R.7; Caruso, C.3; Albizuri, L.9; Capurro, J.9; Barrera, MB.¹⁰; Colazo, JC.¹¹; Van Opstal, N.¹²; Názaró, P.¹³; Politi, N.¹³; Uran, GM.¹⁴; Aranda-Rickert, A.¹⁴; Olmos, AV; Ugarte, C.¹⁵; Antoniazzi, L.¹⁶; Alvarado, L.¹⁶; Cruz, J.¹⁶; Fabrezzi, M.¹⁶; Velasco, V.¹⁷; Fantozzi, A.¹⁸; Iwasita, BE.²⁰; Alvarez, P.²¹; Videla, LS.²¹; Vallejos ML.²³; Lizana, P.²²; Escobar CB.; Vallejos ML.²³; Correa H.²⁴; Escobar CB.²⁵; Rubio MC²⁶.

¹UNCo, CRUB; ² UASJ – UNPA, ICASUR –; ³ INTA-EEA, Oliveros; ⁴ INTA-AER, Totoras; ⁵ CONICET, IICA; ⁶ INTA-AER, Casilda; ⁷ INTA-AER, Cañada de Gómez; ⁸ FCA-UNR; ⁹ Asesor/a privado; ¹⁰ INT-EEA, Catamarca; ¹¹ INTA-EEA, San Luis; ¹² INTA-EEA, Paraná; ¹³ CONICET-UNJU, INECO; ¹⁴ CONICET – SEGEMAR – UNCa – UNLaR; ¹⁵ INTA-EEA, Esquel; ¹⁶ CONICET-UNSa, IBIGEO; ¹⁷ INTA-AER, Jacobacci; ¹⁸ IFAB (INTA-CONICET) INTA EEA Bariloche; ¹⁹ UBA, FAUBA; ²⁰ INTA-EEA, Cerro Azul; ²¹ UNPSJB-CONICET, IPEEC; ²² ONDTyD, CONICET-IADIZA; ²³ INTA ODR V.R. Bermejito. ²⁴ Proyecto Quimilero- PNP Loro Hablado, Subsecretaría de Ambiente y Biodiversidad, Chaco; ²⁵ Dirección de Suelo y Agua Rural – MPlyE, Chaco; ²⁶ CONICET-IADIZA. Todos/as las autoras pertenecen a instituciones argentinas. camoscardi@gmail.com; correocabrera@gmail.com; devia.edgardo@inta.gov.ar; bellanich.augusto@inta.gov.ar; barrera.belen@inta.gov.ar; colazo.juan@inta.gov.ar; vanopstal.natalia@inta.gov.ar; paulanazaro@hotmail.com; natipoliti@fca.unju.edu.ar; gimeuran@gmail.com; ardrickert@gmail.com; ugarte.cristina@inta.gov.ar; mfabrezi@aol.com; juliocruz13@gmail.com; velasco.virginia@inta.gov.ar; fantozzi.anabella@inta.gov.ar; bargiela@agro.uba.ar; iwasita.barbara@inta.gov.ar; alvarez@cenpat-conicet.gov.ar; sitiospiloto@desertificacion.gov.ar; rojas.julieta@inta.gov.ar

Introducción

El *Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación* (ONDTyD) es un sistema nacional de evaluación y monitoreo de tierras a diferentes escalas (nacional, regional y de sitios piloto), basado en un abordaje integral, interdisciplinario y participativo. El mismo forma parte de las RIOSP: Red Institucional Orientada a la Solución de Problemas. Este tipo de redes se conforman a partir de la asociación de grupos de investigación pertenecientes a Organismos de Ciencia y Tecnología e instituciones públicas y/o privadas.

Las redes proponen abordar problemas complejos y significativos para el desarrollo del medio social, productivo y el ambiente, así como también situaciones de riesgo o amenazas. En el caso del ONDTyD su objetivo general es proveer información relativa al estado, tendencias y riesgo de la degradación de tierras y desertificación para elaborar propuestas e impulsar medidas de prevención, control y mitigación, destinadas al asesoramiento de los tomadores de decisiones públicas y privadas de Argentina y a la concientización e información de la sociedad en general. Para eso cuenta en su estructura con Sitios Piloto (SP) en regiones con diversos grados de desertificación distribuidos por todo el país, que son los generadores de datos, tanto socio-productivos como biofísicos a escala local.

El deterioro de la calidad del agua resulta uno de los temas más críticos en los países en desarrollo. La variación en el régimen de precipitaciones en zonas áridas y semiáridas provoca ciclos de sequía cada vez más preocupantes debido al impacto sobre el pastizal y sobre la calidad y disponibilidad de agua superficial y freática, principales fuentes de agua tanto para consumo como para producción agrícola ganadera (Abraham et al., 2019). Un mal uso del agua puede generar procesos de salinización, y el agregado de contaminantes al recurso que de por sí es escaso. (Bargiela et al., 2018). Usos no prioritarios pueden, a su vez, generar sobreexplotación de acuíferos generando problemas de disponibilidad.

Los monitoreos de la calidad del agua representan un gran desafío para los distintos actores del territorio nacional debido a la diversidad de usos de recurso vital y a la heterogeneidad entre

regiones. En este sentido se creó un grupo *Ad Hoc* “Aguas” del ONDTyD para la estandarización de métodos de muestreo, expresión de resultados y asesoramiento.

El objetivo de este trabajo es evidenciar las experiencias y desafíos de lograr un monitoreo de calidad del agua a nivel nacional en el marco del ONDTyD a través de una metodología participativa basada en el trabajo específico de cada Sitio Piloto. En este sentido, es que esta información ofrece una situación diagnóstica que permite definir líneas de investigación a profundizar y fortalecer los vínculos entre los Sitios Piloto que integran esta Red.

Metodología

El área de muestreo comprende las zonas delimitadas por 14 de los 17 SP que integran la red. Debido a la gran diversidad de ambientes en cada SP, desde el grupo *Ad Hoc* se los agrupó en 5 grandes regiones: Centro, Cuyo, Noreste, Noroeste y Sur para facilitar el análisis posterior. Asimismo, se llevó a cabo una primera etapa de armonización de protocolos de muestreos, conservación y cantidad de muestras a recolectar, tomando como valores de referencia el consumo humano, por ser el más restrictivo.

Posteriormente, bajo un proceso participativo se presentó el protocolo armonizado a cada referente de los SP para llevar a cabo los muestreos de agua superficial y subterránea tomando entre cinco y diez puntos para cada tipo. Las variables determinadas fueron pH, CE, nitrato, amonio, nitrito, PRS, oxígeno disuelto, dureza de carbonatos y total; para ello se usaron sondas multiparamétricas, análisis de laboratorio y kit lab compacto de Merck en aquellos sitios que no hubiera laboratorio disponible. Asimismo, con el objetivo de ampliar la información de la calidad de agua se determinó contenido de As y F en 9 SP para agua superficial y 6 SP para agua subterránea que tenían las capacidades instaladas.

Resultados y Discusión

Cada sitio tiene sus propios contextos a estudiar, los cuales se profundizan en los estudios puntuales que los equipos de trabajo

de cada SP realizan (<http://www.desertificacion.gob.ar/>). Los resultados encontrados en este estudio muestran que el acceso a tecnologías de análisis y laboratorios especializados constituyen el primer obstáculo al momento de abordar el monitoreo de una fuente de agua; fundamentalmente por los costos asociados a los reactivos y al traslado de las muestras para su análisis por terceros.

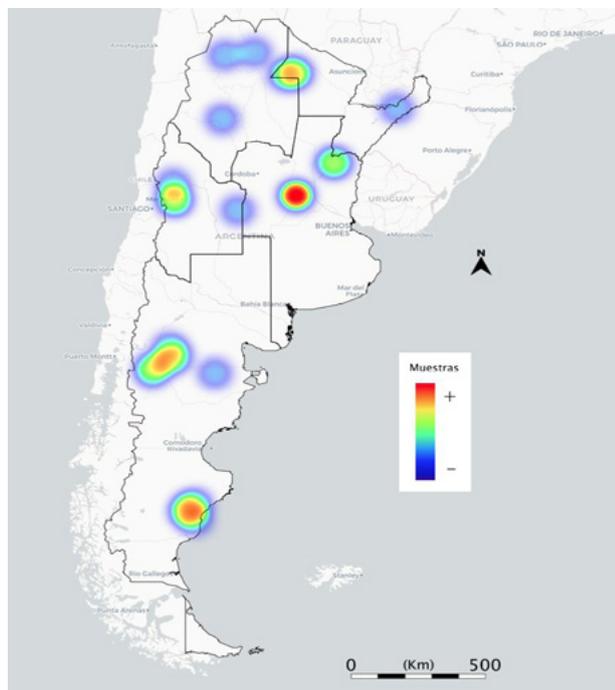


Figura 1.- Mapa de calor de las zonas muestreadas, a mayor intensidad de color se asocia un mayor número de muestras analizadas.

Respecto a los usos del agua se encontró al consumo humano y animal como los más frecuentes; 12,06% y 20,69% respectivamente en agua superficial y 14,49% para ambos usos en aguas subterráneas.

Finalmente, se estableció una comparación directa de las características fisicoquímicas de las distintas fuentes y analizaron algunos indicadores de contaminación por región geográfica, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.-Parámetros críticos en aguas

	Region	Centro	Cuyo	Noreste	Noroeste	Sur
pH	median	8.43	7.60	7.80	8.00	7.64
	min	7.30	6.70	6.17	7.45	7.24
	max	9.25	8.50	10.01	8.50	8.40
CE (mS/cm)	median	7.12	0.48	0.37	0.50	0.59
	min	0.14	0.13	0.01	0.32	0.31
	max	36.32	5.66	140.00	1.65	5.07
Arsenico (ppb)	median	100.00	200.00	5.00	12.45	10.03
	min	4.70	200.00	0.00	8.10	1.20
	max	500.00	200.00	900.00	50.00	35.00
Nitratos (mg/l)	median	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
	min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	max	852.76	0.00	10.00	10.00	5.40
Dureza total (mg/l)	median	674.98	350.00	45.00	110.00	173.27
	min	44.29	172.00	0.55	13.10	65.00
	max	800.00	350.00	1751.25	340.00	332.29

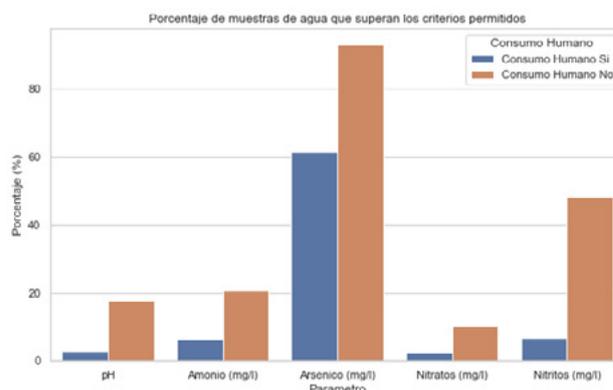


Figura 2.- Porcentaje de muestras que superan los valores admisibles por el Código Alimentario Argentino.

Los valores mostrados en la Figura 2 ponen de manifiesto que un gran porcentaje de las muestras analizadas se encuentran no aptas para consumo humano aún cuando la fuente se clasifique para ese uso.

Conclusiones

Este primer análisis refleja la variabilidad planteada debido a las diferentes regiones con suelos y subsuelos característicos, la época de monitoreo, acceso a los equipos y experticia para las determinaciones. No obstante, la protocolización inicial y el Kit compacto de laboratorio contribuyó a una mayor homogeneidad en procesamiento de las muestras, lo que necesita aún de correcciones con vistas a los próximos muestreos.

Con respecto a las fuentes de agua muestreadas, se concluye que en su mayoría se utilizan para consumo humano y animal. Muchas de ellas, sin embargo, presentan algún parámetro fuera de los límites para el agua potable contemplados en el Código Alimentario Argentino para aguas naturales.

Por último y teniendo en cuenta que el monitoreo de aguas en los SP forma parte del estudio integral del ambiente que incluye los componentes biofísicos y socioeconómicos: vegetación, suelo, clima, erosión, capital humano; es importante mencionar que este estudio permite obtener herramientas para hacer más eficientes los esfuerzos y uso de los recursos para lograr una visión a escala nacional.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del proyecto ImpaCT.ar Ciencia y Tecnología Desafío 48

Referencias Bibliográficas

- Abraham, E.M.; Therburg, A.; Rubio, M.C.; Lizana, P. y Bottero, C. (Eds.) (2019); Evaluación Integrada de la Desertificación: Enfoques y Metodologías Socioambientales.- Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación - IADIZA, Mendoza. 1a ed. 188 pp. ISBN: 978-987-23430-4-0
- Bargiela Martha; Maggi, Alejandro; Kulinicz Yesica, Bosio, Matías y Introcaso, Rafael. Validando características fisicoquímicas del agua como indicadores de desertificación en el área del NOA. I Jornada Nacional de la Evaluación Integrada de la Desertificación: Enfoques y Metodologías Socioambientales. 25 y 26 de septiembre de 2018, Mendoza.

EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATO EN EL ACUÍFERO LIBRE TULUM, SAN JUAN, ARGENTINA

Battistella, Romina¹; González Santivañez Fernanda¹; Carelli, Fernanda¹ y León, José²

1: Instituto Nacional del Agua - Centro Regional de Agua Subterránea, San Juan, Argentina.

2: Instituto Nacional del Agua - Centro de la Región Semiárida, Córdoba, Argentina.

E-mail: rbattistella@ina.gov.ar

Introducción

El presente trabajo aborda la evolución de las concentraciones de nitrato en diferentes periodos de tiempo en el acuífero libre del Valle de Tulum (VT), San Juan, Argentina, centro geográfico y asiento del desarrollo económico de la provincia. El VT presenta una heterogeneidad regional en la calidad de agua de sus acuíferos debido a múltiples factores, principalmente las actividades agro-industriales y el déficit de sistemas de saneamiento urbano. Los acuíferos presentes en el área de estudio pueden ser diferenciados de manera general entre acuífero libre (AL) y acuífero con distintos grados de confinamiento (Rodríguez, 1989). El Gobierno provincial, a través de la Secretaría de Agua y Energía solicitó al INA – CRAS (Instituto Nacional del Agua – Centro Regional de Aguas Subterráneas) el estudio de niveles estáticos y calidad de agua subterránea de los principales valles productivos de la provincia (Battistella y Luna, 2023). En el presente trabajo se analizó la concentración de nitrato en muestras de agua subterránea dentro del AL, sobre el cono aluvial del río San Juan (RSJ), principal zona de infiltración. El AL se encuentra íntimamente vinculado al desarrollo demográfico ya que concentra el 72% de la población de la provincia (INDEC, 2022). Es ampliamente conocido que en los conglomerados urbanos los valores de concentración de nitrato se ven aumentados si no existe un sistema eficiente de saneamiento centralizado. Particularmente en el Gran San Juan (Figura 1), la concentración de nitrato comenzó a ser un problema en la década del 80 (Ferres, 1986), cuando en el departamento Capital se registraron valores de nitrato por encima de 45 mg/l, valores recomendados por organismos que establecen niveles guía para agua de consumo humano, OMS (Organización Mundial de la Salud) y CAA (Código Alimentario Argentino). Esta situación promovió la construcción del sistema de desagües cloacales que fue extendiéndose hacia otros departamentos.

Área de Estudio

La provincia de San Juan se ubica en la región centro-oeste de Argentina y su geografía se caracteriza por tener la mayor parte del territorio ocupado por serranías y cordones montañosos. La principal fuente de agua en el área de estudio se origina a partir de la fusión nival en la Cordillera de los Andes y particularmente, el agua para todas las actividades humanas que se desarrollan en el VT proviene de la cuenca del RSJ, que constituye el cauce más importante de toda la región.



Figura 1.- Valle de Tulum, límite del acuífero libre. La línea naranja marca el límite oriental del acuífero libre.

Los estudios geológicos sostienen la existencia de estructuras de paleo-cauces subterráneos aproximadamente paralelos al actual curso del río que favorecen el flujo del agua a diferentes profundidades. El movimiento del agua subterránea se da desde el oeste hacia el este y hacia el sureste en las partes centro y sur del VT.

Metodología

Se analizaron los datos de concentración de nitrato en perforaciones distribuidas uniformemente sobre el acuífero libre que exploran profundidades entre 12 y 173 m. Se tuvieron en cuenta tres periodos de disponibilidad hídrica del RSJ. El primer periodo corresponde 1971-1972, caracterizados por una previa sequía extrema que duró 4 años aproximadamente. El segundo periodo evaluado fue 1988-1989, caracterizado por abundancia hídrica y la última medición de concentraciones de nitrato realizada durante el año 2022, bajo la peor condición de sequía registrada históricamente por el Departamento de Hidráulica desde 1909. En los tres periodos evaluados las determinaciones fueron realizadas por el INA-CRAS y la información se encuentra en la base de datos de la Institución.

Las muestras colectadas durante el año 2022 fueron preservadas con ácido sulfúrico y fueron remitidas al laboratorio donde se determinó concentraciones de nitrato a través del método colorimétrico por reducción por cadmio (Baird *et al.*, 2017). La concentración se informa en mg/l.

Se realizaron mapas de iso-concentración de nitrato en los tres periodos analizados a través de la técnica *Multilevel b-spline interpolation* del Software libre QGIS 2.18.

Resultados

La tabla 1 muestra las medidas de resumen del conjunto de muestras analizadas durante los años 1971 y 1972, las cuales tuvieron un promedio de 7 mg/l (rango: <1 - 78 mg/l), sin embargo, sólo cuatro muestras superaron los límites establecidos por los organismos de control.

Tabla 1.- Medidas de resumen de las concentraciones de nitrato (mg/l) durante diferentes periodos.

	1971-1972	1988-1989	2022
Número de muestras	54	76	82
Promedio	7	22	44
Mínimo	< 1	2	< 1
Máximo	78	114	187
Mediana	9	10	38
% de perforaciones con [NO ₃] ⁻ >45 mg/l	7	16	48

Los antecedentes indican que durante los años 1988 y 1989, se registraron caudales que duplicaron los 1960 hm³, promedio de la descarga anual del RSJ (DH, 2023), y el promedio de nitrato de las muestras analizadas fue de 22 mg/l (rango: 2 - 144 mg/l), con 13 muestras por encima de 45 mg/l. Durante el año 2022 el RSJ registró el caudal anual mínimo histórico, 450 hm³ (DH, 2021) y para el VT el promedio de las concentraciones de nitrato fue 45 mg/l (rango: <1- 187 mg/l), no obstante, el 50 % de las muestras analizadas, excedieron los límites recomendados por el CAA y el OMS.

La figura 2, muestra los mapas de iso-concentración de nitrato para los tres periodos analizados. El color pálido indica la menor concentración y el color terracota la mayor concentración. Para este trabajo la curva de 45 mg/l se tomó como parámetro regional de contaminación de agua subterránea.

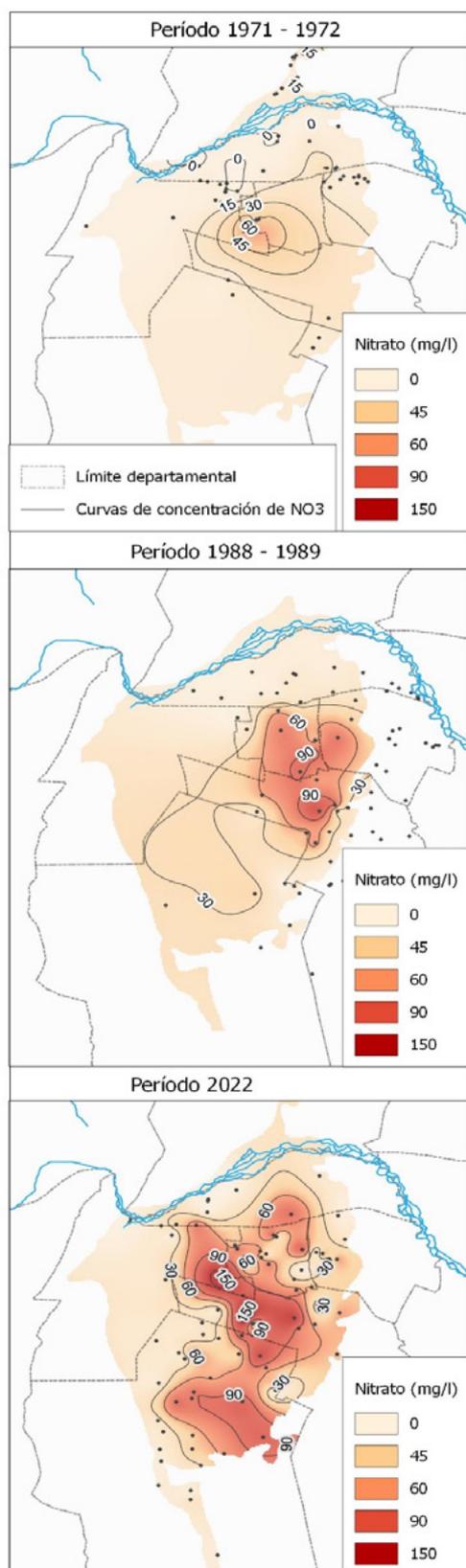


Figura 2.- Mapas de iso-concentración de nitrato en agua subterránea durante los periodos 1971-1972, 1988-1989 y 2022.

Se observa un desplazamiento de las curvas de iso-concentración asociado al crecimiento urbano y a las líneas de

flujo de agua subterránea, es decir hacia el este y sur de la ciudad Capital durante el periodo 1988-1989. Durante el periodo 2022, la zona de mayor contaminación por nitrato manifiesta un desplazamiento en contra de las líneas de flujo de agua subterránea. Puede observarse en la figura 2 el efecto diluyente del RSJ, a través de la baja concentración de nitratos.

Discusión y conclusiones

En el AL del VT las concentraciones de nitrato han aumentado progresivamente durante los últimos 40 años, acompañando el desarrollo demográfico, esta situación se visibiliza a través de los valores promedios y máximos crecientes en los tres periodos analizados y por el incremento en la proporción de perforaciones con valores por encima de 45 mg/l de nitrato con respecto al total por periodo. El fuerte impacto de la calidad del acuífero en cuanto a los valores de nitrato, se relaciona casi exclusivamente a la presencia de pozos absorbentes domiciliarios debido a la existencia de una gran proporción de viviendas no conectadas a la red cloacal.

A pesar que el departamento Capital durante la década del 80 fue el más comprometido respecto de la contaminación con nitrato la construcción de la red cloacal ha revertido el grado de esta problemática en ese departamento y sus alrededores, observándose una disminución de las concentraciones de nitrato en esa zona. En la campaña de muestreo 2022 el departamento Capital y alrededores arrojaron las menores concentraciones de nitrato del área urbana (Battistella, 2023). Estos resultados sugieren que la red cloacal promueve el saneamiento del agua subterránea debido al cese de ingreso de efluentes domiciliarios al AL.

Cabe destacar que existe un desplazamiento de la zona contaminada en contra de las líneas de flujo. Esta situación podría explicarse considerando condiciones relacionadas con la recarga ya que, por un lado, la construcción de los embalses aguas arriba del oasis de riego y el escenario de cambio climático con descenso en las precipitaciones níveas, ocasiona una disminución pronunciada de los caudales del RSJ con la consecuente disminución de la recarga del AL del VT. Por otro lado, la creciente extracción de agua subterránea para riego agrícola, sumada a los factores mencionados podría generar la disminución de la presión hidrostática en el acuífero inhibiendo el desplazamiento natural de las masas de agua. Dada la importancia regional de esta fuente de agua, resulta necesario promover este tipo de estudios con el fin de conocer la relación entre los parámetros de calidad y el patrón de flujo del agua subterránea del AL del VT.

Bibliografía

Base de datos INA-CRAS. Periodos 1971 – 1972 y 1988 - 1989

Baird, R., Rice, E., & Eaton, A. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewaters. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association.

Código Alimentario Argentino. Capítulo 12. www.argentina.gov.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf

Departamento de Hidráulica 2021. Gobierno de San Juan. <https://hidraulica.sanjuan.gov.ar/pronostico2021.pdf>

De La Canal J. J. 1996. Código Alimentario Argentino

Ferres, C. y Rodríguez, R. 1986. Avance en el estudio del contenido de nitrato y otros elementos indicadores de contaminación del acuífero libre del Valle de Tulúm. Año 1985. IT 62 INA- CRAS, San Juan. Pp 1-3.

Rodríguez, J.A. 1978. Limite aproximado acuífero libre acuífero confinado en el Flanco Occidental de la Cuenca de Tulum -San Juan. P-174 INA-CRAS, San Juan, Argentina.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC) 2022. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados definitivos. Buenos Aires. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2017. Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

ELIMINACIÓN DE FENOL EN AGUA MEDIANTE PROCESOS OXIDATIVOS AVANZADOS

Sofía Bidal, Nicolás A. Sacco, Alejandra V. Devard y Fernanda A. Marchesini

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE, UNL-CONICET), Facultad de Ingeniería Química (FIQ, UNL)
E-mail: sofia_bidal@hotmail.com, nsacco@fiq.unl.edu.ar, alejandradevard@gmail.com, albana@fiq.unl.edu.ar

Introducción

En los últimos años, el aumento de las actividades humanas ha convertido la contaminación del medio ambiente en un problema importante. Uno de los mayores desafíos ambientales es la contaminación del agua, que representa una amenaza significativa para la salud humana y el ecosistema global.

El fenol se ha convertido en un compuesto modelo en el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento del agua debido a su amplia presencia como contaminante y su toxicidad. Estudiar y tratar el fenol en el agua proporciona valiosos conocimientos y la oportunidad de desarrollar tecnologías eficientes que luego se pueden aplicar a otros compuestos químicos contaminantes similares.

Entre los métodos más eficientes para eliminar el fenol del agua se encuentran los procesos oxidativos avanzados (POAs), que pueden mineralizar completamente la molécula de fenol. Estos procesos implican la generación de especies químicas altamente reactivas, como los radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$), capaces de oxidar y degradar el fenol en compuestos más simples e incluso llegar a su mineralización en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

Uno de los POAs más estudiados es el proceso Fenton, que utiliza peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e iones de hierro (Fe^{2+}) en solución para generar los radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$). A pesar de sus ventajas, el proceso Fenton clásico presenta desventajas como el bajo pH requerido en la mezcla de reacción (≈ 3) (Ziembowicz & Kida, 2022), dificultad para separar y reciclar el catalizador, contaminación secundaria y la poca estabilidad del catalizador (Giannakis et al., 2016). Después de la oxidación, parte del catalizador permanece en las aguas residuales tratadas y otra parte se precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, generando lodos residuales que deben ser gestionados adecuadamente.

Para superar estas limitaciones, se pueden utilizar catalizadores heterogéneos en los cuales el hierro y otros metales de transición se soportan sobre diferentes óxidos metálicos. Esta estrategia reduce la carga metálica en el proceso tipo Fenton y permite la recuperación y reutilización del catalizador en ciclos posteriores, lo que lo hace más sostenible. Además, los catalizadores heterogéneos también pueden ofrecer mejores actividades catalíticas en un amplio rango de pH (Nidheesh, 2015).

En los últimos años, se han investigado alternativas al hierro como catalizadores tipo Fenton (Bokare & Choi, 2014). El cobre ha demostrado ser prometedor debido a su bajo costo, baja toxicidad y alta actividad catalítica. A diferencia del hierro, el cobre permite un reciclaje más amplio en el proceso Fenton heterogéneo, ya que no forma complejos estables con los productos degradados.

Para mejorar la sostenibilidad, es importante que los catalizadores Fenton heterogéneos sean capaces de mineralizar completamente los productos orgánicos, en lugar de simplemente degradarlos. También es crucial evitar la formación de metabolitos más tóxicos que las sustancias originales. El desarrollo de catalizadores heterogéneos altamente activos y estables presenta desafíos, que incluyen la selección del metal adecuado, la cantidad óptima de impregnación en el soporte, la caracterización y el análisis de actividad, así como la investigación de la estabilidad del catalizador.

En trabajos previos, se estudió la actividad catalítica de catalizadores de Cu (5% p/p) soportados en Al_2O_3 para la oxidación catalítica de fenol. Estos catalizadores mostraron una alta actividad, logrando la degradación completa y mineralización del fenol (Devard et al., 2019). Sin embargo, parte del cobre activo se lixivió durante la reacción, excediendo los límites establecidos en agua.

En este estudio, el objetivo principal es desarrollar catalizadores de Cu (5% p/p) estables durante la oxidación del fenol, reduciendo la lixiviación del metal activo. Se evaluó el efecto de variables de síntesis como la temperatura de calcinación, el precursor de Cu, y la modificación del soporte mediante la adición de metales de transición (Mn ó La, 20% p/p) antes de la impregnación del cobre.

Experimental

Síntesis de catalizadores.

Modificación del precursor de cobre

La síntesis de catalizadores se realizó mediante el método de impregnación húmeda (IH). Se emplearon 3 sales diferentes de Cu: nitrato (-N), sulfato (-S) y cloruro (-C) para lograr un 5% p/p y se calcinaron a 3 temperaturas diferentes de calcinación (400; 650, y 900 °C). Los catalizadores se nombraron de la siguiente manera: Cu/A-S-T, donde A representa la Al_2O_3 , S el sustrato empleado (N, S ó C) y T la temperatura de calcinación. Así el catalizador preparado a partir de sulfato y calcinado a 650°C se llamó: Cu/A-S-650.

Modificación del soporte con La o Mn

Para la modificación del soporte, previo a impregnación de Cu (sólo a partir de nitrato de Cu), la deposición de La o Mn (20% p/p) se realizó mediante IH de nitratos de La o Mn y se calcinó a diferentes temperaturas (400, 650, y 900 °C) para la conformación de los soportes La-A, o Mn-A.

Por otra parte, se prepararon soportes modificados con La, pero agregando un 5% p/p respecto a la Al_2O_3 . Para este soporte, además de preparar los catalizadores a partir de nitrato, se sintetizaron materiales a partir de sulfato y cloruro.

Modificación de la temperatura de calcinación

Una vez depositado el cobre, mediante IH de las diferentes sales, la mezcla se secó a 80°C durante toda la noche y se calcinó finalmente a la misma temperatura de los soportes modificados cuando se depositó sobre éstos. Para los catalizadores preparados sobre Al_2O_3 (A) pura y variando las sales precursoras, también se calcinaron a las 3 temperaturas mencionadas.

Nomenclatura

Los catalizadores se nombraron de la siguiente manera: Cu/X-A-Y-T, donde X representa La o Mn cualquiera sea el metal empleado para la modificación, o simplemente se suprime el término para cuando se empleó Al_2O_3 pura. Y representa el precursor de Cu empleado: N, S ó C, y T la temperatura de calcinación. Así, el catalizador preparado a partir de sulfato de cobre y Al_2O_3 y calcinado a 900°C se llamó: Cu/A-S-900. Por otra parte, el catalizador preparado sobre el soporte modificado con Mn (20%) y calcinado a 650°C se llamó: Cu/Mn20-A-650.

Cabe recordar que los catalizadores preparados sobre los soportes modificados con La o Mn (20% p/p), fueron obtenidos a partir de nitrato de Cu. Los catalizadores preparados a partir de los soportes modificados con 5% de La se prepararon a partir de las diferentes sales y a diferentes temperaturas. Así, el catalizador preparado a partir de cloruro y calcinado a 400 se llamó:

Cu/La5-A-400.

Reacción de oxidación de fenol

La oxidación de fenol se llevó a cabo en un reactor batch de 3 bocas, con una concentración inicial de fenol 1000 ppm. En primera instancia, 100 mL de la solución de fenol se llevaron a 70 °C bajo agitación constante, y se agregaron 100 mg del catalizador a estudiar. La reacción de oxidación comienza una vez se agregan 10 mL de H₂O₂ 100 vol. (tiempo cero: t₀). Una vez agregado el H₂O₂, cada cierto tiempo se tomó una muestra del medio de reacción para poder cuantificar la conversión de fenol y H₂O₂. La reacción se llevó a cabo durante 2 h. Una vez finalizada, se filtró a través de un filtro de 0,2µm la solución de reacción y se cuantificó el Cu disuelto en la misma la conversión de carbono orgánico total (COT) relacionada con el grado de mineralización alcanzado.

Resultados y discusión

Se prepararon catalizadores de Cu soportados sobre A, Mn-A, y La-A con una carga nominal de 5% p/p a partir de diferentes sales precursoras (-N, -S, y -C) y calcinados a diferentes temperaturas (400, 650, y 900°C).

Tabla 1. - Valores de lixiviado de Cu (%) y conversión de COT (%) para cada catalizador luego de las 2 h de reacción.

Catalizador	Cu lixiviado (%)	Conversión de COT (%)
Cu/A-N-400	64	90
Cu/A-N-650	60	91
Cu/A-N-900	36	86
Cu/La5-A-N-400	55	-/3799*
Cu/La5-A-N-650	37	-/5003*
Cu/La5-A-N-900	23	-/5326*
Cu/La5-A-S-400	55	-/3363*
Cu/La5-A-S-650	37	-/4954*
Cu/La5-A-S-900	18	-/6626*
Cu/La5-A-C-400	74	-/1690*
Cu/La5-A-C-650	33	-/4679*
Cu/La5-A-C-900	20	-/4235*
Cu/La20-A-400	53	96
Cu/La20-A-650	53	98
Cu/La20-A-900	25	86
Cu/Mn-A-400	35	96
Cu/Mn-A-650	29	94
Cu/Mn-A-900	11	56

*valores de DQO (ppm O₂)

En la Tabla 1 se resumen todos los catalizadores preparados con los correspondientes valores de lixiviado de Cu obtenidos luego de las 2 h de reacción y los valores de conversión de TOC obtenidos o los de demanda química de oxígeno (DQO) relacionados con el grado de mineralización alcanzado.

Todos los catalizadores resultaron altamente activos en la oxidación de fenol empleando H₂O₂ como agente oxidante, alcanzando el 100% de conversión en menos de 30 minutos de reacción.

Se concluyó que un incremento de la temperatura de calcinación produce un mejor anclaje del Cu al soporte (para cualquiera de los sistemas preparados, ya sea modificación de precursor o del soporte), disminuyendo el lixiviado del mismo durante la reacción. Por otra parte, la modificación del soporte, con La (5 o 20%) o Mn (20%) también induce un menor lixiviado de la fase activa.

Particularmente, para los catalizadores preparados soporte modificado con La, el uso de un 5% de La resulta más conveniente que un 20% tanto para la disminución del lixiviado de Cu como en la producción de materiales más económicos.

El uso de diferentes sales de Cu no produce cambios significativos en el lixiviado de Cu o mineralización de fenol.

La mineralización del fenol se vio directamente afectada por los valores de lixiviado de Cu. A mayores valores de Cu lixiviado (%), mayores valores de conversión de TOC o menores valores de DQO, lo que indica un mayor grado de mineralización (menor cantidad de materia orgánica presente luego de la reacción). Este comportamiento indica que la reacción en fase homogénea (Cu²⁺ en solución) tiene una alta contribución a la oxidación de fenol en el sistema planteado.

Conclusiones

Los catalizadores con 5% de Cu soportados sobre A, La-A, ó Mn-A son altamente eficientes en la oxidación de fenol con H₂O₂. Tanto el incremento de la temperatura de calcinación como la modificación del soporte con La o Mn producen menores valores de lixiviado de Cu luego de la reacción, mientras que el uso de diferentes sales precursoras de Cu no afecta considerablemente este parámetro.

Referencias bibliográficas

- Bokare, A. D., & Choi, W. (2014).** Review of iron-free Fenton-like systems for activating H₂O₂ in advanced oxidation processes. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 275, pp. 121–135).
- Devard, A., Brussino, P., Marchesini, F. A., & Ulla, M. A. (2019).** Cu(5%)/Al₂O₃ catalytic performance on the phenol wet oxidation with H₂O₂: Influence of the calcination temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), 103201.
- Giannakis, S., Polo López, M. I., Spuhler, D., Sánchez Pérez, J. A., Fernández Ibáñez, P., & Pulgarin, C. (2016).** Solar disinfection is an augmentable, in situ-generated photo-Fenton reaction—Part 1: A review of the mechanisms and the fundamental aspects of the process. In *Applied Catalysis B: Environmental* (Vol. 199, pp. 199–223).
- Nidheesh, P. V. (2015).** Heterogeneous Fenton catalysts for the abatement of organic pollutants from aqueous solution: A review. In *RSC Advances* (Vol. 5, Issue 51, pp. 40552–40577).
- Ziembowicz, S., & Kida, M. (2022).** Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. In *Chemosphere* (Vol. 296).

SINTESIS Y EVALUACION DE LA EFICIENCIA EN LA ELIMINACION DE FENOL PRESENTE EN AGUA, DE CATALIZADORES DE ZN Y ZNO SOPORTADOS EN ALUMINA

S. Bidal, F. Miranda Zoppas, N. Sacco, F. A. Marchesini

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE-FIQ-CONICET) Argentina
E-mail: sofiabidal@hotmail.com, fzoppas@fiq.unl.edu.ar, nsacco@fiq.unl.edu.ar, albana@fiq.unl.edu.ar

Introducción

La síntesis de nanopartículas (NPs) de Zn mediante métodos convencionales (Kolodziejczak-Radzimska, & Jesionowski 2014) ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, ha surgido un creciente interés en desarrollar procesos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. En este contexto, la síntesis verde de NPs de Zn ha adquirido gran relevancia como una alternativa prometedora para reducir el impacto ambiental asociado a la producción de materiales nanoestructurados (Kalpnana & Devi Rajeswari, 2018).

En particular, en la síntesis de NPs de Zn se han explorado diversas estrategias utilizando extractos vegetales como agentes estabilizantes y encapsulantes. Estos extractos proporcionan una fuente natural de compuestos bioactivos que pueden promover la formación y estabilidad de las NPs (Jadoun et al, 2021). En este estudio, se investiga la síntesis de NPs de Zn utilizando métodos verdes, empleando extractos de flores de *Jacaranda mimosifolia* y flores de *Erythrina crista-galli* (ceibo) como agentes estabilizantes. Además, se compara la síntesis tradicional con la síntesis asistida por microondas para evaluar el efecto sobre las propiedades estructurales de las NPs. El objetivo es obtener NPs de Zn y ZnO con propiedades óptimas, minimizando el impacto ambiental y promoviendo la sustentabilidad en la producción de nanomateriales. Esta investigación contribuirá al avance en la síntesis verde de NPs de Zn, brindando información relevante sobre la viabilidad de aplicar estos métodos en la producción a gran escala de nanomateriales respetuosos con el medio ambiente.

Experimental

Síntesis de los materiales

Para sintetizar las nanopartículas de Zn, se emplearon diferentes métodos, descritos en la Tabla 1.

Tabla 1.- Tabla de Métodos de Síntesis de Nanopartículas de Zn.

Método de Síntesis	Descripción de la Síntesis	Observaciones
Método Tradicional (MT)	Disolver 5,4606 g de ZnCl ₂ en 100 ml de agua desionizada.	Obtención de un precipitado blanco
Biosíntesis con EEJ	Disolver 5,4560 g de ZnCl ₂ en 100 ml de extracto etanólico de jacarandá.	Formación de un precipitado gelatinoso
Biosíntesis con EAJ	Disolver 5,5580 g de ZnCl ₂ en 100 ml de extracto acuoso de jacarandá.	Obtención de un precipitado rojizo gelatinoso
Biosíntesis con EEC	Disolver 5,6542 g de ZnCl ₂ en 100 ml de extracto etanólico de ceibo.	Formación de un precipitado y cambio de color
Biosíntesis con EAC	Disolver 4,5550 g de ZnCl ₂ en 100 ml de extracto acuoso de ceibo.	Formación de un precipitado y aumento de temperatura
Proceso de Lavado y Calcinación	Lavar la el precipitado obtenido con agua y centrifugar. Luego, calcinar a 500°C por 4 horas.	Tratamiento térmico en mufla

En el proceso de síntesis, se emplearon diferentes métodos para

obtener las nanopartículas de Zn, como el método tradicional (MT) y la biosíntesis utilizando extractos de flores de jacarandá y ceibo, tanto en su forma etanólica como acuosa (EEJ, EAJ, EEC, EAC). Cada método generó precipitados con características distintas, que fueron posteriormente lavados y sometidos a un proceso de calcinación.

Para preparar los catalizadores, se utilizó el método de impregnación húmeda. En un vaso de precipitados de 250 ml, se colocaron 3,0 g de alúmina comercial (CK 300) y la masa de ZnO previamente sintetizado correspondiente a la carga deseada, Luego, se agregaron 80 ml de agua desionizada y se agitó a 400 rpm mientras se calentaba a 80 °C en una placa calefactora hasta que el agua se evaporara por completo. Después de eso, se secó en una estufa a 80 °C durante 24 horas y se calcinó en una mufla a 500 °C durante 4 horas, con un calentamiento a una velocidad de 10 °C/min. Se prepararon catalizadores con las siguientes cargas de fase activa: 1% de ZnO sobre alúmina comercial y 8% de Cu sobre el catalizador previamente preparado de 1% de Zn/Al₂O₃. Además, se trató el catalizador ZnO/Al₂O₃ con una solución acuosa de hidracina 1 M para reducir el ZnO a Zn y evaluar su mayor actividad en la oxidación catalítica del fenol.

Caracterización de los materiales

Los materiales fueron caracterizados por Difracción de Rayos X, equipo Panalytical y Microscopio óptico Leyca (datos no mostrados).

Evaluación Catalítica

Se evaluó la eficiencia de los catalizadores sintetizados para eliminar el fenol del agua. Se empleó un reactor batch de vidrio mantenido en un baño maría a 60°C, sobre una placa calefactora. Se utilizó una columna refrigerante para prevenir la liberación de gases tóxicos, la cual estaba conectada a un absorbedor de gases. Se utilizó agitación magnética y 200 mg del catalizador. Se agregaron 5 ml de H₂O₂ para iniciar la reacción. La concentración inicial de fenol en la solución fue de 1000 ppm. Se tomaron muestras en intervalos de 2, 5, 10, 15, 30, 60 y 120 minutos para analizar el contenido de fenol.

Resultados y Discusión

Del análisis por difracción de rayos X (DRX) se pudo observar en la Figura 1 que no se encontraron diferencias significativas en la estructura cristalina entre el material sintetizado por biosíntesis y el obtenido mediante síntesis tradicional.

Sin embargo, se identificaron ligeras diferencias en los tamaños de las cristalitas, siendo la estructura cristalina correspondiente a la fase de Wursita. Además, al emplear el método de Debye-Scherrer para analizar el tamaño de las cristalitas, se observó una ligera diferencia al utilizar un solvente más polar, como el agua, en comparación con un solvente menos polar, como el etanol.

La observación mediante microscopía óptica reveló que la estructura de los sólidos obtenidos es consistente con la presencia de agentes anfipáticos en el extracto vegetal, tal como fue previamente reportado por otros investigadores.

Al analizar las curvas de reacción, se pudo observar que el

catalizador ZnO/Al_2O_3 no mostró una conversión significativa del fenol bajo las condiciones propuestas (Figura 2-a). Sin embargo, al reducir el mismo material con hidracina, se logró una conversión de aproximadamente el 30% (Figura 2-b).

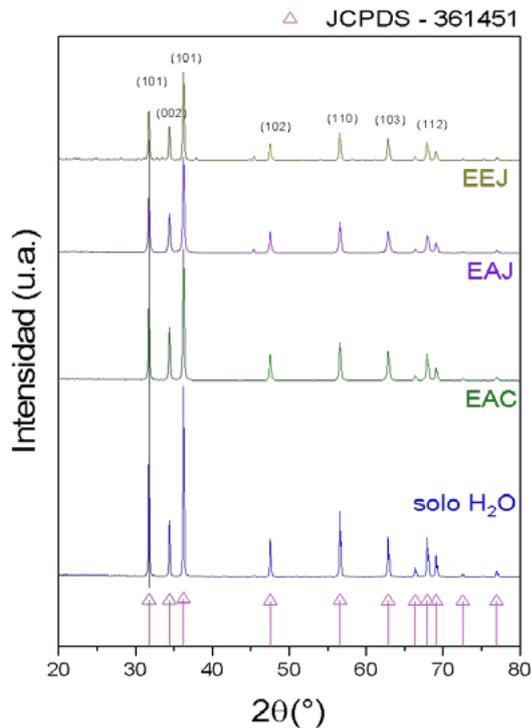


Figura 1. Difracción de Rayos X de los catalizadores de Zn soportados en alúmina.

Posteriormente, al agregar cobre al catalizador ZnO/Al_2O_3 (ver Figuras 2-c y 2-d), se logró promover la conversión del fenol utilizando tanto 200 como 100 mg del catalizador.

Al comparar los resultados de las tres reacciones de eliminación de fenol, se observa que la velocidad de conversión fue mayor para el catalizador preparado con las nanopartículas obtenidas a partir del extracto etanólico de ceibo. Se especula que las propiedades específicas de la composición del extracto modificaron de alguna manera las partículas de ZnO , lo que permitió un mayor contacto con el H_2O_2 y el Cu , resultando en una alta generación de radicales activos capaces de decomponer las moléculas de fenol. Esta observación sugiere que la selección adecuada de los extractos vegetales utilizados en la síntesis de las nanopartículas puede jugar un papel crucial en la mejora de la actividad catalítica y la eficiencia de la eliminación de compuestos contaminantes como el fenol.

Conclusiones

En este estudio, se llevó a cabo la síntesis de nanopartículas de ZnO utilizando alúmina comercial como soporte. Se evaluó el posible efecto de diferentes extractos de flores en la estructura de las nanopartículas. El análisis por difracción de rayos X reveló que no existían diferencias significativas en la estructura cristalina entre las nanopartículas sintetizadas por biosíntesis y las obtenidas mediante síntesis tradicional. Sin embargo, se observaron ligeras diferencias en los tamaños de las cristalitas, y se confirmó que la estructura cristalina correspondía a la Wursita. Además, se encontró una ligera diferencia al emplear un solvente más polar, como el agua, en comparación con un solvente menos polar, como el etanol. En cuanto a la actividad catalítica, se encontró que el catalizador ZnO/Al_2O_3 no catalizaba de manera apreciable la conversión de fenol en las condiciones propuestas. Sin embargo, al agregar cobre al catalizador ZnO/Al_2O_3 , se logró promover la conversión de fenol, mejorando así la eficiencia del proceso.

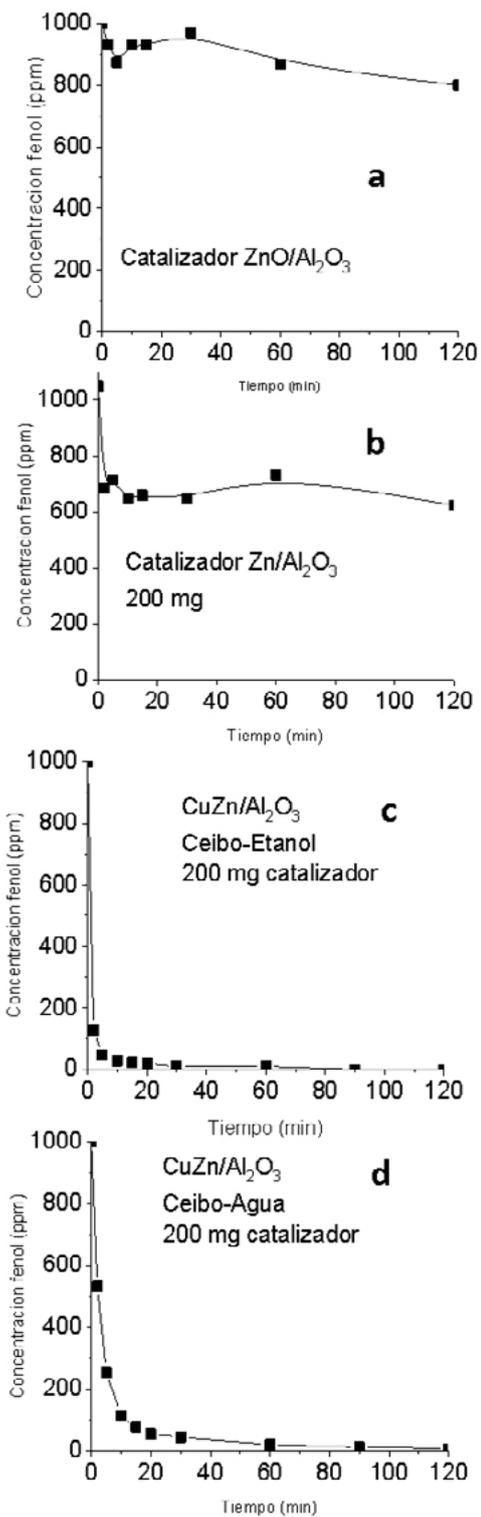


Figura 2. Evolución de la concentración de fenol en función del tiempo. (a) ZnO/Al_2O_3 , (b) Zn/Al_2O_3 , (c) $CuZn/Al_2O_3$ -ceibo-etanol y (d) $CuZn/Al_2O_3$ -ceibo-agua.

Referencias bibliográficas

- Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K. & Meena, R. K. (2021) Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review. *Environ Chem Lett* 19, 355–374.
- Kalpna, V. N. & Devi Rajeswari, (2018) V. A Review on Green Synthesis, Biomedical Applications, and Toxicity Studies of ZnO NPs. *Bioinorg Chem Appl* . 3569758.
- Kolodziejczak-Radzimska, A. & Jesionowski, T. (2014) Zinc oxide-from synthesis to application: A review. *Materials* 7, 2833–2881.

DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN LA REGIÓN SUR DE LA PROVINCIA DE RÍO NEGRO

Cabrera, JM.^{1,5}, Menger, L.², Alvarez, F.², Fantozzi, A.³, Velasco, V.⁴, De Micco, G.^{2,5}, Bohe, AE.^{2,5}

¹CRUB - Universidad Nacional del Comahue; ²Complejo Tecnológico Pilcaniyeu CNEA; ³IaFAB (INTA-CONICET) INTA EEA Bariloche, ⁴AER-INTA Jacobacci; ⁵INN-CONICET. Todas y todos los autores pertenecen a instituciones argentinas
E-mail: correocabrera@gmail.com; lucasmenger@cnea.gov.ar; fantozzi.anabella@inta.gov.ar; alvarezf@cab.cnea.gov.ar; velasco.virginia@inta.gov.ar; demiccog@cab.cnea.gov.ar; bohe@cab.cnea.gov.ar

Introducción

Más de un tercio de la población rural dispersa, en países en desarrollo, no tiene acceso al agua de calidad y en cantidad suficiente (Fundación Bariloche y Universidad de San Pablo, 2013). En este sentido, habitar localidades medianas, implica una ventaja debido a que las soluciones relacionadas con la infraestructura son comunitarias / cooperativas, y alcanzan alrededor del 85% de los pobladores en términos de abastecimiento de agua (Rivera et al. 2019). La seguridad hídrica implica disponibilidad de agua adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción.

El agua es un bien natural común, necesario para el sostenimiento de la vida humana y para la producción agropecuaria, que en la Región Sur de Río Negro, representa la principal fuente de alimentos y ocupación (INDEC, 2010; Fantozzi y Cabrera, inédito). Las características de las fuentes de agua predominantes son los jagüeles (pozos cavados de menos de dos metros de profundidad) y vertientes manantiales y difusas, habiendo pocos pozos de entre 2 y 5 metros de profundidad. Estos últimos se hallan mayormente en abanicos y llanuras donde se puede pinchar el acuífero fácilmente, cosa que no ocurren en las sierras donde se ubican la mayoría de las familias pobladoras y donde el subsuelo es de origen volcánico, caracterizado por basaltos fracturados que dan lugar a acuíferos en roca fracturada y acuíferos colgados.

invernales y oscilan los 160 mm anuales. En el sitio se encuentran 3 cuencas hidrográficas, al noroeste la del arroyo Comallo, al suroeste la del arroyo Mamuel Choique y al este la cuenca endorréica de las lagunas Carrilauquen. Todos los cuerpos de agua superficiales son transitorios con agua entre los meses de deshielo y el verano. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar principalmente la calidad del agua de la que se abastece la población rural que habita la zona y determinar diferencias entre las zonas altas, mesetas y bajos donde la presencia de acuíferos en suelos gravosos es más frecuente.

Metodología

Se realizaron tres monitoreos de calidad de aguas subterráneas en los Departamentos de Pilcaniyeu, 25 de mayo y Ñorquinco de la provincia de Río Negro. El área de monitoreo de aproximadamente 1.750.000 ha, comprendida entre los paralelos 40° 30' y 42° 00' de latitud Sur, y los meridianos 70° 20' y 69° 00' de longitud Oeste, que presenta un sector rural conformado por sistemas ganaderos extensivos sobre pastizales naturales (LADA, 2011), y representa aproximadamente el 10% de la provincia de Río Negro. Utilizando una base de datos actualizada de familias productoras de la región (INTA, inédito) se seleccionaron más de 100 predios distribuidos en el territorio para la extracción y caracterización de muestras de agua subterránea de pozos poco profundos, jagüeles y manantiales, de los que se abastecen las familias. Para la selección de las fuentes se dividió el área en cuadrantes y se seleccionaron hasta 4 sitios en cada cuadrante, dependiendo de la presencia de la familia en el campo, de la accesibilidad a los pozos y de las características topográficas. En los casos en que no se permitió tomar la muestra, se procedió a realizar visitar el predio más cercano que mantuviese las mismas características del terreno. Los campos son extensos debido a las características de la actividad modulada a su vez por la degradación del pastizal natural. Ello causó que en algunos cuadrantes se excedan los 4 sitios y en otros cuadrantes no se alcance la meta (zonas altas, mesetas y valle; ver Fig. 1). En cada sitio se tomaron niveles piezométricos y muestras de agua luego de purgar los pozos. Las muestras se acondicionaron en el laboratorio de campo y se llevaron al laboratorio (CNEA-CTP) para determinación de Cd, Cu, Cr, Mo, Ni, Pb, V, Ca, Mg, Na, K, Zn, Co, Sr, Fe, Li, Mn, Hg, As, Br⁻, Cl⁻, F⁻, PRS, PT, NO₃⁻ y SO₄⁻², NO₂⁻ y NH₄⁺ (Menger, 2021). Con los resultado de las determinaciones y la posición geográfica de los sitios, se realizaron mapas de distribución de concentración utilizando el método de IDW (Inverse distance weighting) (Bartier et al., 1996) aplicado con el software QGIS (QGIS v3.22, 2020).

Resultados

En la figura 2 se exhiben los diagramas de Piper correspondientes a los monitoreos de la 1er campaña (marzo 2021) y la 3er campaña (noviembre 2022), donde se aprecia que la composición del agua de la mayoría de las fuentes es bicarbonatada cálcicas con algunos casos de aguas sulfatadas cloruradas sódicas, que se corresponden con una llanura aluvial con depósitos de sedimentos marinos con alta conductividad eléctrica (CE) y concentraciones de todos los iones mayoritarios.

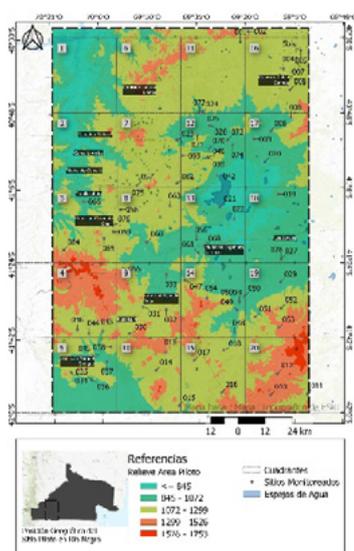


Figura 1.- Mapa de relieve del área relevada.

Al norte del área de estudio se encuentra la meseta de Anecón, con alturas promedio por encima de los 1200 msnm mientras que al sur dominan sierras altas con promedios similares (Fig. 1). En ambos casos, la amplitud térmica anual es grande, oscilando entre los 30°C en un día caluroso de verano y hasta -20°C en una noche fría de invierno. La temperatura media anual es de 8°C y las precipitaciones son predominantemente

Además, se destaca la similitud en las composiciones relativas de estos últimos.

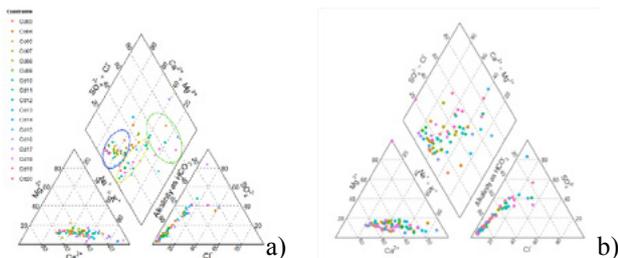


Figura 2.- Diagramas de Piper, a) primera campaña de monitoreo marzo 2021 y b) tercera campaña de monitoreo (noviembre 2022).

Por otra parte, como ocurre en otros sectores del país, especialmente en la llanura chacopampeana, las concentraciones de As y F⁻ se hallaron por encima de los valores regulados por el Código Alimentario Argentino para el agua potable. En el primer monitoreo, luego de al menos 3 años con precipitaciones por debajo de la media de 160 mm anuales, se hallaron un 30% de las fuentes con concentraciones de As superiores a los 10 µg/L y un 3% por encima de 50 µg/L (valor límite CAA, 2020) para zonas con suelos arsenicosos) con valores máximos de 80 y 179 µg/L, en tanto que para fluoruros, el 47% de las fuentes de agua evidenció valores por encima de 1,7 mg/L. Los resultados se observan en las figuras 2 y 3.

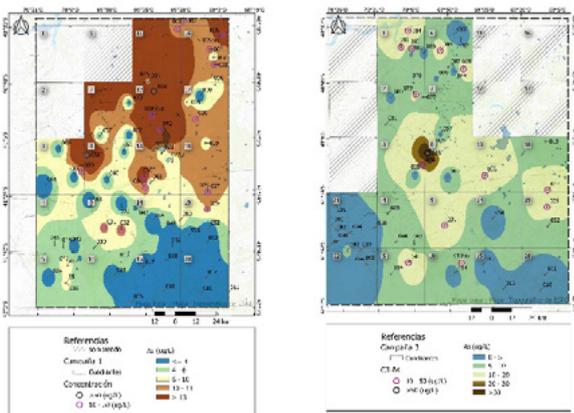


Figura 3.- Contenido de As en los acuíferos freáticos de la región (izquierda: 1er Campaña, marzo 2021; derecha: 3da Campaña, noviembre 2023).

Sin embargo, luego de dos períodos invernales con precipitaciones que estuvieron por encima del promedio, cercanos a los 400 mm anuales, se observa una dilución en las concentraciones determinadas en todos los sitios relevados (Fig. 2 y 3, derecha). En el segundo monitoreo solo se halla un predio con concentraciones de As superiores a las establecidas por el CAA. Además, se agregaron 10 sitios de monitoreo en la zona roja hacia el norte del sitio dado que se sospechaba que la contaminación era puntual y no regional, lo que se terminó comprobando en los monitoreos de marzo 2022 y noviembre 2022.

En el caso del fluoruro, se observó la misma tendencia, aunque las fuentes pasaron de tener concentraciones por encima del máximo establecido por la norma en aproximadamente de 50% de los casos a un 20%, aunque en la mayor parte de la región los contenidos están en el límite de lo tolerable, y no se puede perder de vista que los resultados se corresponden con dos años con precipitaciones por encima de la media. Es de esperar que, de continuar el ciclo de sequía que venía experimentado la región, los contenidos vuelvan a elevarse por encima de lo tolerable.

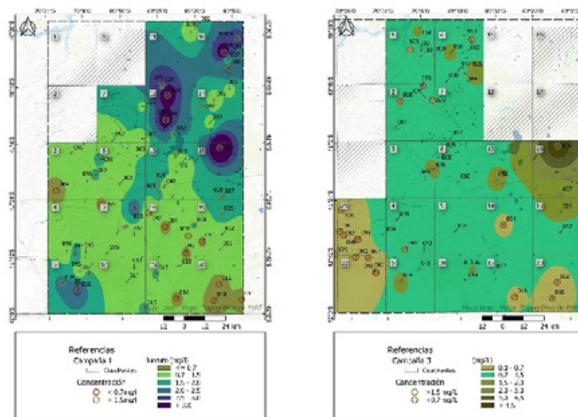


Figura 4.- Contenido de F⁻ en los acuíferos freáticos de la región. (izq.: 1er Campaña, marzo 2021; dcha.: 3er Campaña, noviembre 2023).

Por otra parte, un 10 % de los sitios relevados poseen salinidad por encima de los 1000 ppm y concentraciones de cloruros, sulfatos y sodio por encima de los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA), sitios que coinciden con la zona con depósitos de sedimentos marinos al este del área de monitoreo. Luego, del resto de los elementos medidos, la mayoría de los metaloides y metales de transición (incluido el Fe) se hallaron por debajo del límite de detección, y los que se detectaron, se hallaron por debajo del límite permitido por las normas mencionadas. Por último, si bien el F⁻ se distribuyó de forma homogénea en el terreno, los valores máximos coincidieron con los sitios ricos en cloruros y sulfatos.

Conclusiones

Debido a un incremento en la cantidad de precipitación entre 2021 y 2022 los analitos medidos en la segunda campaña estuvieron diluidos respecto de la primera, pasando de un 66% a un 31% de las fuentes con exceso de fluoruros respecto del valor recomendado por el CAA. El mismo patrón se observó con los analitos responsables de la salinidad y con el As, que a pesar de ser detectable en la mitad norte del sitio, se encuentra dentro de los límites aceptables de 10 ppb.

Referencias

Código Alimentario Argentino (2020). Artículo 982 - (Resolución Conjunta SCS y SABYDR N°22/2021), Capítulo XII.

Easdale M. (2017). Hacia lógicas de resiliencia en innovaciones tecnológicas y gestión productiva de sistemas ganaderos extensivos en Patagonia, Argentina, en X Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos, Buenos Aires, 7-10 de noviembre.

Fundación Bariloche y Universidad de San Pablo (2013) "Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe".

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC)(2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Censo del Bicentenario

LADA (2011). Evaluación de la desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO.

Menger, L. (2021). *Encontrando agua segura para poblaciones rurales de la región sur de la provincia de Río Negro* (Tesis de especialización, Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo).

Rivera, M., Combetto, A., Silva, L. (2019). Una aproximación al debate sobre estrategias de gestión para obtención de agua de calidad en la población rural de Argentina mediante el uso de energía solar. *Cardinalis*, (12), 73-94.

Software QGIS, 3.22, QGIS Development Team, (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Bartier, P. M., & Keller, C. P. (1996). Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). *Computers & Geosciences*, 22(7), 795-799.

CONDICIONANTES GEOLÓGICOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MANANTIALES QUE SUSTENTAN A ZONAS DE MALLINES EN ALTA MONTAÑA

Carolina Calvi ^a, Lucas Fennell ^b, Claudia Di Lello ^c, Eleonora Carol ^c y Maximiliano Naipauer ^a

a. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA), Intendente Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Pabellón INGEIS, 1428 CABA +54 11 52857958. calvi@ingeis.uba.ar

b. Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN), CONICET - Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160, Pabellón II, 1428, Buenos Aires, Argentina. lucasfennell90@gmail.com

c. Centro de Investigaciones Geológicas (CIG-UNLP-CONICET), Diag. 113 y 64, B1900 La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. cdilello@fcnym.unlp.edu.ar

calvi@ingeis.uba.ar, lucasfennell90@gmail.com, cdilello@fcnym.unlp.edu.ar, eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar, maxinaipauer@gl.fcen.uba.ar

Introducción

La alta cordillera de la provincia de San Juan es una región árida donde la disponibilidad de agua en calidad y cantidad es una de las principales limitantes para el desarrollo de las comunidades rurales. En esta región los manantiales y mallines asociados a estos adquieren relevancia como fuente de abastecimiento de agua y forraje para cría del ganado.

La existencia de los mallines está íntimamente relacionada a la presencia de manantiales, siendo la descarga de agua subterránea sostenida en el tiempo la que da lugar a que estos ambientes puedan desarrollarse (Melendi et al., 2021; Álvarez et al., 2021). No obstante, a pesar de la importancia de los acuíferos asociados a mallines, la composición química de las aguas es una temática poco conocida. Esto se debe a que los mallines ocupan áreas muy restringidas, en ocasiones de difícil acceso, estando heterogéneamente distribuidos en diversos entornos geomorfológicos (Mazzoni y Rabassa, 2013). Dentro de la región cordillerana los mallines cubren pequeñas superficies de diferentes formas y tamaños localizadas en los bordes de los cauces con agua permanente o asociados a manantiales en zonas de laderas donde el cambio brusco de la pendiente intercepta al nivel freático.

Considerando que la composición química del agua de los manantiales está condicionada por las rocas por las cuales circula el agua subterráneamente, el objetivo del trabajo es analizar las variaciones espaciales en las facies hidroquímicas determinando los condicionantes geológicos que regulan las concentraciones de iones mayoritarios.

Materiales y métodos

Inicialmente se realizaron análisis en imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8-9 Oli mediante el renderizador multibanda del software libre QGIS 3.2 para identificar áreas de humedad asociadas a presencia de manantiales. Posteriormente se analizó la geología regional del área a partir de la Hoja geológica de La Ramada (Cristallini et al., 1996). En base a eso se seleccionaron tres sitios para el muestreo de agua y se realizaron relevamientos geológicos de detalle durante febrero de 2023. Un sitio corresponde a Pampa Manantial (PM) ubicado en la Cordillera Frontal, otro a Valle Hermoso (VH) en la Cordillera Principal, mientras que el tercero correspondiente a Vegas de Gallardo (VG) se localiza en un área de transición entre los dos anteriores (Fig. 1). In situ, en cada punto de muestreo de agua se midieron con equipos portátiles de campo el pH y la conductividad eléctrica (CE) y se determinaron en el laboratorio del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) las concentraciones de los iones mayoritarios mediante métodos estandarizados (APHA,

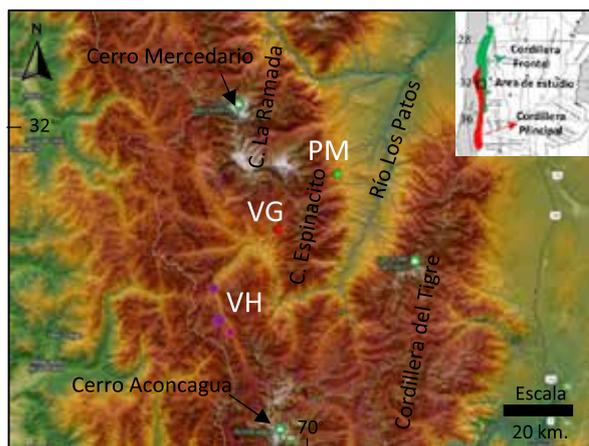


Figura 1.- Ubicación del área de estudio. Identificación de los sectores PM (Pampa Manantial), VG (Vegas de Gallardo) y VH (Valle Hermoso)

La información hidroquímica fue analizada mediante los diagramas químicos convencionales de Piper (Piper, 1944) y diagramas de cajas.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos muestran que existen diferencias hidroquímicas en las tres áreas relevadas. En el área de PM, el agua tiene un pH de 7,8 y CE medias de 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dominando las facies bicarbonatadas cálcicas (Fig. 2 y 3). En la zona de las VG, el agua presenta pH promedios similares a PM con valores de CE medios de 356 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo la facies característica de tipo bicarbonatada magnésica a bicarbonatada mixta (Fig. 2 y 3). En la zona de VH, se registraron mayores valores de pH y CE respecto a los sectores muestreados en PM y VG, con valores medios de 8,0 y 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Además, se diferencian en la tipificación química ya que presentan facies sulfatadas y en algunos casos algo cloruradas con dominancia del catión calcio y de manera subordinada el sodio (Fig. 2 y 3).

En los relevamientos geológicos de campo del área de PM se identificaron depósitos cuaternarios fluviales y aluvionales. Estos cubren discordantemente a areniscas conglomerádicas depositadas en un paleoambiente de tipo fluvial correspondiente a la Formación Chinchas (Jordan et al., 1996). En el sector muestreado de VG aflora la Formación Rancho de Lata, la cual se compone de niveles piroclásticos formados por tobas y brechas ignimbríticas. La misma representa un paleoambiente de sedimentación continental de depósitos fluviales y lacustres con fuerte influencia de aporte piroclástico, brechas ignimbríticas y tobas (Alvarez y Ramos 1999).

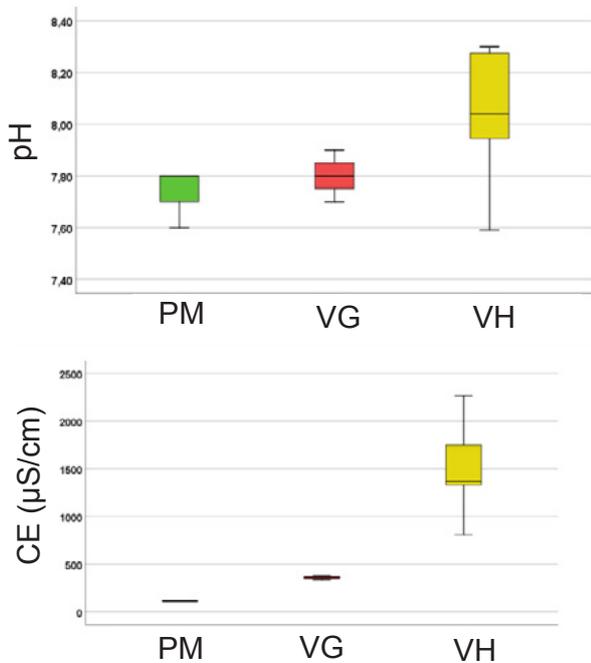


Figura 2.- Diagrama de cajas de manantiales y mallines del sector PM (Pampa Manantial), VG (Vegas de Gallardo) y VH (Valle Hermoso)

Por último, en la zona de VH se identificaron rocas de naturaleza evaporítica y depósitos de tipo volcanoclásticos. Cristallini (1996) describe a estos depósitos de yeso y anhidrita (Formación Auquilco) como generados en un ambiente depositacional de tipo marino restringido y con alta salinidad.

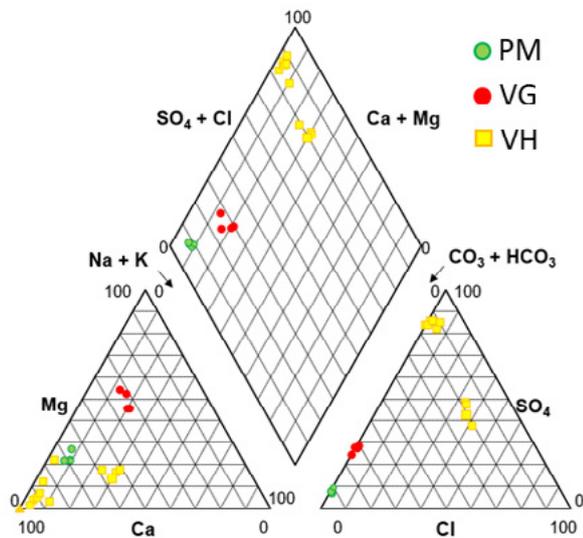


Figura 3.- Diagrama de piper de manantiales y mallines del sector de PM (Pampa Manantial), VG (Vegas de Gallardo) y VH (Valle Hermoso)

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian el fuerte condicionamiento geológico sobre las facies hidroquímicas. El agua subterránea antes de descargar en los manantiales fluye por las distintas formaciones geológicas adquiriendo iones en solución a medida que altera o disuelve los minerales de las rocas. Facies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas de bajas salinidades y pH levemente alcalinos registradas en PM se asocian a procesos de

interacción con rocas sedimentarias silicoclásticas de la Cordillera Frontal. Por otra parte, las facies bicarbonatadas magnésicas, de bajas CE y pH levemente alcalinos presentes en el área VG se asocian a la interacción del agua con depósitos volcanoclásticos. Mientras que, en el sector de VH de la Cordillera Principal la presencia de formaciones geológicas asociadas a depósitos marinos evaporíticos imprime en el agua una señal química mayormente sulfatada cálcica con mayores CE y pH alcalinos. Cabe destacar que si bien VG se encuentra ubicada en un sector transicional entre las provincias geológicas de las Cordilleras Principal y Frontal, las características geológicas y química del agua son más similares al área de PM en Cordillera Frontal.

Las Cordilleras Frontal y Principal conforman una amplia región árida montañosa en donde los pequeños asentamientos rurales que en ellas se desarrollan dependen en gran medida de los manantiales como fuente de abastecimiento y de los servicios ecosistémicos brindados por los mallines. Estudiar los condicionantes geológicos que determinan la composición del agua y en consecuencia su calidad resulta de vital importancia a fin de identificar zonas en donde la interacción del agua con las rocas pueda generar limitaciones de potabilidad que afecten su uso tanto para consumo humano como para el ganado. En este sentido este trabajo si bien muestra resultados preliminares, aporta datos novedosos en una zona donde los estudios hidrogeológicos e hidroquímicos son escasos.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, P.P. y Ramos, V.A. (1999). "The Mercedario Rift System in the Principal Cordillera of Argentina and Chile (32°SL)". *Journal of South American Earth Sciences* 12(1): 17-31
- Álvarez, M. P., Carol, E. S., Pasquale Pérez, M. P., Melendi, E., Villalba, E. (2021). "Hydrochemistry of Patagonia wet meadows (mallines) under different geological frames". In: environmental assessment of Patagonia's water resources. Torres, and Campodonico (Eds).
- APHA (1998) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Cristallini, E. A. (1996). "Estructura de la alta Cordillera de San Juan". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2911_Cristallini.pdf
- Cristallini, E.O., Alvarez, P., Pérez, D., Ramos, V.A. (1996). "Carta geológica, región La Ramada, provincia de San Juan". En Ramos, V.A. et al., Geología de la región del Aconagua, Provincia de San Juan y Mendoza. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico. Vol. 24, mapa fuera de texto. Buenos Aires".
- Jordan, T.E., Tamm, V., Figueroa, G., Flemings, P.B., Richards, D., Tabbutt, K., Cheatham, T. (1996). "Development of the Miocene Manantiales foreland basin, principal cordillera, San Juan, Argentina". *Rev. Geol. Chile* 23 (1), 43-79.
- Mazzoni, E., Rabassa, J. (2013). "Types and internal hydrogeomorphologic variability of mallines (wet-meadows) of Patagonia". *Emphasis on volcanic plateaus. Journal of South American Earth Sciences*, 46, 170-182
- Melendi, E., Tanjal, C., Borzi, G., Raigemborn, M., Carol, E. (2020). "Hydrodynamic and hydrochemistry of wet meadows and shallow lakes in areas of the patagonian basaltic plateaus, Argentina." *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140897>.
- Piper, A. M. (1944). "A graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses". *American Geophysical Union*, 26(6), 914-928. <http://dx.doi.org/10.1029/TR025i006p00914>

DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA Y PROCESOS DE SALINIZACIÓN EN CURSOS FLUVIALES DEL LITORAL PATAGÓNICO

Carol E.¹, Alvarez M.P.², Torres A.³, Acosta R.¹, Borzi G.¹, Bosco T.², Vigiani L.¹, Kürten G.¹

1. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), La Plata, Argentina

2. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC CCT-CONICET CENPAT), Puerto Madryn, Argentina

3. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR CCT-CONICET CENPAT), Puerto Madryn, Argentina

eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

La disponibilidad de agua en cantidad y calidad en las regiones áridas y semiáridas es un factor limitante para el desarrollo humano. La dominancia de la evapotranspiración por sobre la precipitación limita la cantidad de recursos hídricos disponibles, los cuales, no sólo son escasos sino también tienden a tener serios problemas de calidad asociados a procesos de salinización (Vengosh, 2003, Colombani et al., 2016).

El litoral de la Patagonia argentina entre Camarones y Punta Tafor (Fig. 1), constituye una zona árida con cursos fluviales de tipo efímero e intermitentes, que drenan los excedentes hídricos en los eventos de precipitaciones y reciben a su vez, por sectores, la descarga de agua subterránea. Estos sitios de descarga de agua subterránea y cursos superficiales son frecuentemente utilizados para el abastecimiento del ganado, siendo la cría de ovinos la principal actividad productiva del área. El objetivo del trabajo fue caracterizar hidroquímicamente los aportes provenientes de descarga subterránea en estos cursos e identificar los procesos de salinización asociados.



Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

Metodología

Las características geológicas, geomorfológicas y geohidrológicas del área de estudio se analizaron a partir de información previa, análisis de modelos de elevación digital e imágenes satelitales y estudios en campo. Se definió una red de monitoreo la cual incluye sitios de medición y muestreo de agua superficial asociados a puntos de descargas de agua subterránea. *In situ* se midió la conductividad eléctrica (CE), pH y radón (²²²Rn) y se extrajeron muestras de agua para la determinación en laboratorio de la concentración de iones mayoritarios e isótopos estables de la molécula de agua ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$). Para cuantificar la actividad de ²²²Rn se utilizó un detector portátil RAD-7 y su accesorio RAD H₂O el cual permite medir el radón disuelto en agua en a partir de la desgasificación de las muestras y sucesivos ciclos de conteo. Los iones mayoritarios se determinaron por métodos estandarizados (APHA, 1998) y los isótopos $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ se midieron mediante espectroscopía de masas (espectrómetro de

masas de flujo continuo Thermo Finnigan MAT Delta Plus XL). Asimismo, se tomaron muestras de sales precipitadas en el cauce y en las barrancas de los cursos en las que se determinó la mineralogía por difracción de rayos X.

Resultados

Los relevamientos de campo evidenciaron que la descarga de agua subterránea ocurre a partir de fracturas o zonas de diaclasas en los sectores de afloramientos rocosos ígneos (Fig. 2 a y b), mientras que, en los sectores donde domina el material sedimentario ésta es de tipo difusa y tiende a reconocerse como un área extensa en los márgenes de los cursos fluviales (Fig. 2 c y d).



Figura 2.- Fotografías mostrando (a) descarga de agua subterránea en afloramientos rocosos ígneos a partir de fracturas y diaclasas; (b) detalle de descarga de agua subterránea en fracturas; (c) cursos que reciben la descarga de agua subterránea en forma difusa desde depósitos sedimentarios adyacentes; (d) detalle del área de descarga de agua subterránea en la margen del curso fluvial.

El agua de la región presentó características salobres, levemente ácidas a alcalinas con valores de CE que variaron entre 2,4 y 25,4 mS/cm y de pH entre 6,1 y 9, 8. En base al porcentaje de iones mayoritarios las facies dominantes son cloruradas sódicas con tendencia a sulfatadas sódicas (Fig. 3). Las mediciones de ²²²Rn en el agua superficial variaron entre 10 ± 3 y 822 ± 38 pCi/L, evidenciando aportes de agua provenientes desde las descargas subterráneas. Respecto a esto es notorio que los valores más bajos tienden a registrarse en los sitios de descargas que ocurren en fracturas y zonas de cizallas de cuerpos ígneos, mientras que, los

más altos en sitios de descargas subterráneas difusas que ocurren en depósitos sedimentarios.

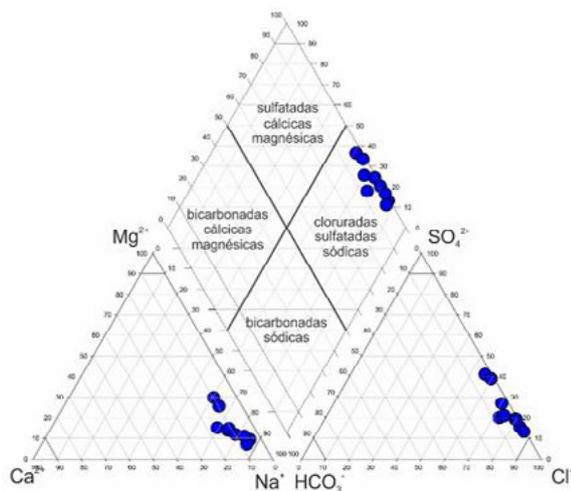


Figura 3.- diagrama de Piper para la clasificación de facies hidroquímicas.

En relación a los valores de isótopos estables de la molécula de agua, los mismos varían entre -33,0 y -52,0 ‰ para $\delta^2\text{H}$ y entre -5,5 y -2,5 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$. Además, se observaron valores de excesos de deuterio indicativos de evaporación. Por otro lado, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ tienden a no presentar grandes variaciones con el aumento en el contenido salino, característica que indicaría procesos de disolución de sales solubles. Estos últimos se asocian a la evaporación total del agua de descarga que ocurre en las laderas y cauces de los cursos, que da lugar, a la precipitación de minerales de thenardita, yeso y halita (Fig. 4), los cuales, se disuelven en los eventos de lluvia aportando iones en solución en el agua superficial.

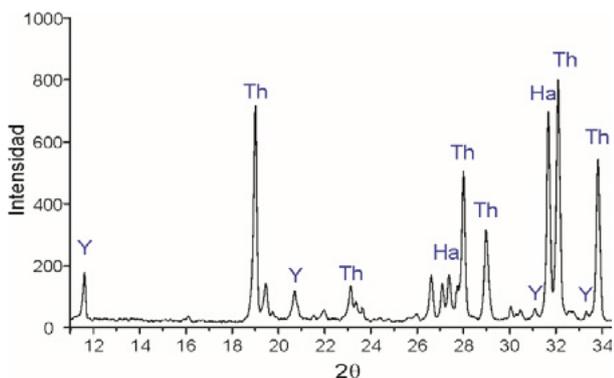


Figura 4.- Difractograma obtenido mediante difracción de rayos x en las muestras de costras salinas. Y: yeso, Th: thenardita, Ha: halita.

Conclusiones

Se concluye que la descarga de agua subterránea constituye un sustento de importancia a los cursos fluviales que abastecen a las áreas rurales del litoral de Chubut. Gracias a la existencia de estos sitios de descarga de agua subterránea los cursos efímeros presentan bolsones de agua que abastecen al ganado ovino. No obstante, procesos asociados a la evapotranspiración parcial o total del agua de descarga y a la disolución de sales solubles de thenardita, yeso y halita, son los responsables de ocasionar la salinización del agua, otorgándole principalmente características

de tipo salobre.

Los resultados obtenidos si bien son preliminares aportan datos de relevancia para comprender los procesos hidrodinámicos y geoquímicos que condicionan al recurso hídrico en una región árida de la Patagonia argentina.

Agradecimientos: Este trabajo se desarrolla en el marco de los proyectos PICT2019-2421 y Pampa Azul A10.

Referencias

APHA (American Public Health Association) (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Colombani, N., Osti, A., Volta, G., and Mastroicco, M. (2016). Impact of climate change on salinization of coastal water resources. *Water resources management*, 30, 2483-2496.

Vengosh, A. (2003). Salinization and saline environments. *Treatise on geochemistry*, 9, 612.

HIDROQUÍMICA DE AMBIENTES DE MARISMAS EN EL ÁREA DE PUERTO LOBOS, PATAGONIA ARGENTINA

Carol E.¹, Alvarez M.², Torres A.³, Faleschini M.³, Bosco T.², Acosta R.¹, Borzi G.¹, Scivetti N.⁴, Bouza P.⁴.

1. Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP), La Plata, Argentina

2. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (CONICET, CCT CENPAT), Puerto Madryn, Argentina

3. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CONICET, CCT CENPAT), Puerto Madryn, Argentina

4. Instituto Patagónico de Geología y Paleontología (CONICET, CCT CENPAT), Puerto Madryn, Argentina
eleocarol@fenym.unlp.edu.ar

Introducción

Las marismas constituyen ambientes de humedales costeros que brindan importantes servicios ecosistémicos tales como retención de carbono, purificación de aguas, ciclado de nutrientes y hábitat para el desarrollo de ecosistemas autóctonos (Isacch et al., 2010). Numerosos ambientes de marismas se desarrollan a lo largo del litoral patagónico argentino bajo distintas configuraciones morfológicas que incluyen marismas de fondo blando, arenoso y rocoso (Bortolus, 2014).

En estos humedales costeros, la inundación periódica de las mareas genera una fuerte interacción entre los flujos de agua mareales y el agua subterránea de las marismas, la cual ocasiona, no sólo un intercambio de agua, sino también de compuestos solubles (Xin et al., 2022). El objetivo del trabajo fue determinar las características hidroquímicas en el área de marisma ubicada en Puerto Lobos, NE del Chubut (Fig. 1)

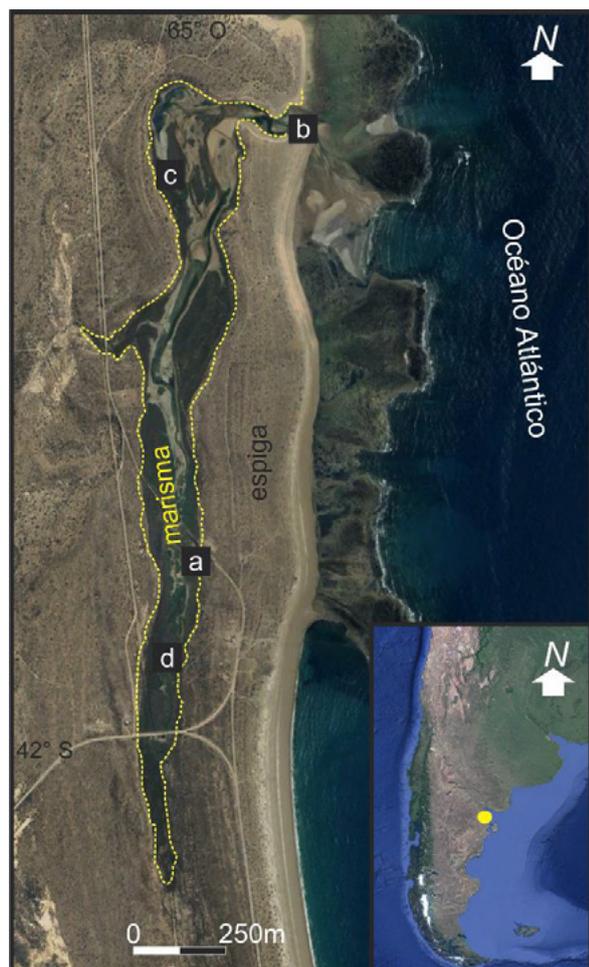


Figura 1.- Ubicación del área de estudio. En letras se indica la ubicación de las fotografías de la figura 2.

Metodología

Inicialmente se definieron las características geológicas - geomorfológicas del área de estudio a partir de información antecedente, análisis de modelos de elevación digital e imágenes satelitales y estudios en campo. Estos últimos incluyeron la realización de calicatas para la descripción textural de suelos.

Por otro lado, se diseñó una red de monitoreo la cual consta de puntos de medición y muestreo de agua subterránea y superficial mareal localizados en distintos sectores de la marisma. Los puntos de medición de agua subterránea corresponden a perforaciones someras realizadas en el área de marisma, mientras que los de agua superficial se localizan en el canal de marea principal y en el mar. *In situ* se midieron la conductividad eléctrica y el pH y se extrajeron muestras de agua para la determinación en laboratorio de la concentración de iones mayoritarios y nutrientes disueltos mediante métodos estandarizados (APHA, 1998).

Resultados

La marisma de Puerto Lobos se asocia a un extenso canal de marea el cual se encuentra separado del mar por una espiga holocena formada por la migración hacia el norte de crestas de playa gravosas (Fig. 1). Adyacente al canal de marea la marisma alta se compone de sedimentos gravosos con matriz arcillosa arenosa mientras que en la marisma baja los sedimentos tienden a ser arenosos con matriz arcillosa. Por otro lado, en la boca del canal hacia el sector marino la marisma se reduce producto del afloramiento de materiales rocosos (Fig. 2).



Figura 2.- Fotografías mostrando (a) área de marisma vista desde las crestas de playa; (b) marisma en boca del canal de marea; (c) y (d) realización de perforaciones someras para el muestreo de agua subterránea en zonas de marisma.

Los resultados obtenidos muestran que la conductividad eléctrica del agua mareal es similar a las del agua subterránea en la marisma con valores promedios cercanos a los 49 mS/cm. El pH

varía entre 6,92 y 8,45 registrándose los menores valores en el agua subterránea de la marisma. En todos los casos las concentraciones de cationes mayoritarios muestran que $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$, y las de aniones que $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$, lo que determina una dominancia de facies hidroquímicas cloruradas sódicas (Fig. 3).

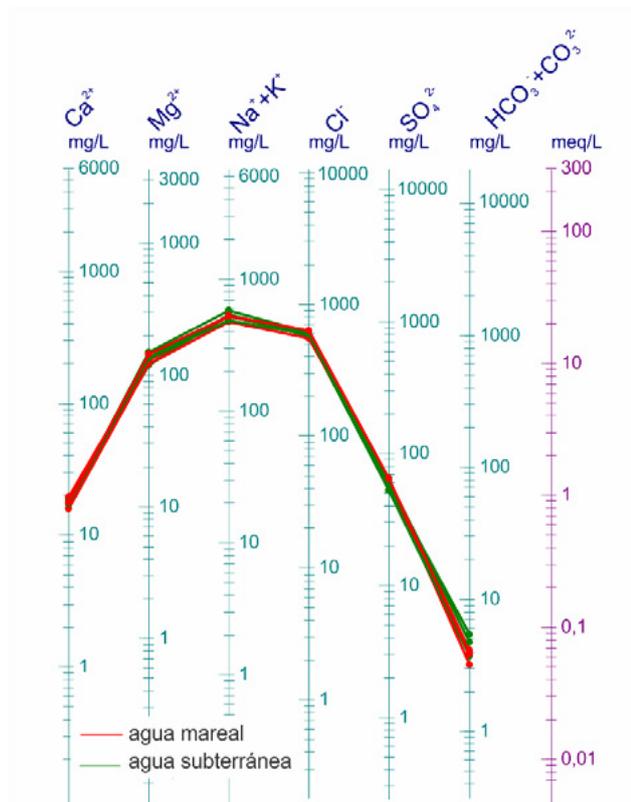


Figura 3.- Diagrama de Schoeller para la clasificación de facies hidroquímicas.

En lo que respecta a los nutrientes disueltos se observa que el agua subterránea de la marisma registra mayores concentraciones tanto en las especies de N como en las de P. El NH_4^+ (expresado como $\mu\text{M N- NH}_4^+$) y $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (expresado como $\mu\text{M N- NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) presentan concentraciones medias de 1,16 y 0,20 en el agua superficial y de 13,67 y 1,49 en el agua subterránea, respectivamente. En cuanto al PO_4^{3-} las concentraciones en el agua superficial mareal varían entre 1,59 y 4,30 $\mu\text{M P- PO}_4^{3-}$ y entre 2,29 y 11,02 $\mu\text{M P- PO}_4^{3-}$ en el agua subterránea.

Conclusiones

Se concluye que el aporte mareal es el principal condicionante de la composición química mayoritaria del agua subterránea en la marisma. No obstante se reconocen diferencias en relación al contenido especies de N y P disueltas, los cuales tienden a estar en mayores concentraciones en el agua subterránea de la marisma. En este sentido se interpreta que la descomposición de materia orgánica en la marisma es la responsable del aporte de nutrientes disueltos al agua subterránea. Este proceso genera también ácidos orgánicos cuya presencia estaría evidenciada por el menor pH que tiende a registrarse en el agua subterránea de la marisma.

Las marismas del litoral patagónico argentino constituyen ambientes que brindan numerosos servicios ecosistémicos y cuya conservación constituye actualmente un tema de relevancia. Los resultados obtenidos aportan información para comprender la

hidrogeoquímica y el origen de nutrientes disueltos en las marismas contribuyendo al entendimiento de los procesos biogeoquímicos que ocurren en estos ambientes.

Agradecimientos: Este trabajo se desarrolla en el marco de los proyectos PICT2019-2421 y Pampa Azul A10.

Referencias

- APHA (1998) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Bortolus, A. (2014). Marismas Patagónicas: las últimas de Sudamérica. Ciencia Hoy, 109 – 116.
- Isacch, J., Escapa, M., Fanjul, E., Iribarne, O. (2010). Valoración ecológica de bienes y servicios ecosistémicos en marismas del Atlántico Sudoccidental. Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Buenos Aires: INTA, 529-551.
- Xin, P., Wilson, A., Shen, C., Ge, Z., Moffett, K. B., Santos, I. R., ... Barry, D. A. (2022). Surface water and groundwater interactions in salt marshes and their impact on plant ecology and coastal biogeochemistry. Reviews of Geophysics, 60(1), e2021RG000740.

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CTALAMOCHITA, VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA.

Gabriela Cejas⁽¹⁾, Germán Tissera⁽²⁾, Ignacio Battisti⁽²⁾ y Juliana Olcelli⁽²⁾

(1) Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, (2) Municipalidad de Villa María, Argentina
E-mail: gabriela.cejas@unc.edu.ar

Introducción

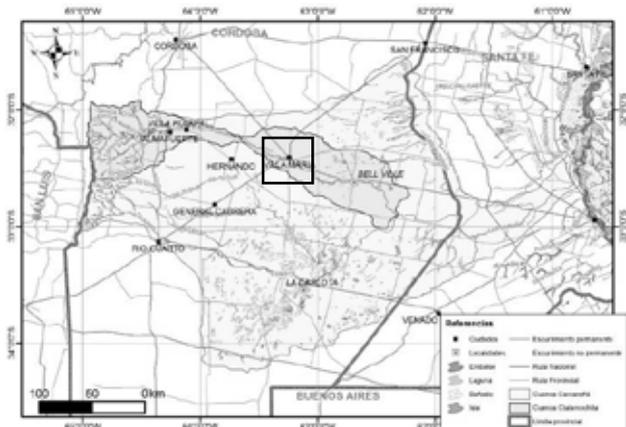
Las civilizaciones del mundo han vivenciado su crecimiento, momentos de apogeo y su ocaso relacionado a los recursos hídricos. El crecimiento poblacional, la variabilidad climática, las prácticas inadecuadas y el desarrollo científico han puesto en evidencia que el manejo sostenible de los sistemas hídricos es uno de los principales asuntos a enfrentar de inmediato, como primer escalón la lucha contra la pobreza en equilibrio con el ambiente.

A partir de esta necesidad es que en 2015 se plantea la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la cuenca del Ctalamochita como respuesta a la presión creciente que es ejercida sobre estos recursos. Este trabajo de investigación refleja los esfuerzos que como grupo de profesionales multidisciplinar se viene realizando para monitorear parámetros de relevancia en la calidad de agua superficial del río Ctalamochita en el tramo que atraviesa Villa María y Villa Nueva

Considerando lo anterior, es que se propuso la aplicación del índice Canadian Council Of Minister of the Environment Water Quality Index" (CCME WQI) tomando como referencia los niveles guías brindados por distintos organismos y normativas, para caracterizar ambientalmente el recurso hídrico en la ciudad de Villa María.

Materiales y métodos

La cuenca del Río Ctalamochita se ubica entre los paralelos 31° 55' y 32° 58' de latitud Sur, y los meridianos 62° 19' y 64° 56' de longitud Oeste, en la zona central de la Provincia de Córdoba, Argentina (Figura 1). Es una de las cuencas hídricas más importantes de Argentina y una de las principales de la provincia de Córdoba (10.573 km²). Se extiende desde las sierras cordobesas hasta la zona de llanura media de la provincia, enmarcada entre los paralelos -32° y -33°, atravesando más de 42 localidades, además de varias estancias, comunas y colonias (de Antuano, 2019).



Para el diseño de estudio se elaboró un plan de muestreo trabajando conjuntamente con la Dirección de Ambiente y Saneamiento de la Municipalidad de Villa María. La toma de muestras se realiza desde noviembre de 2020 hasta la actualidad.

Se determinaron estaciones para la toma de muestras seleccionando tres puntos fijos representativos sobre el curso principal del río:

Punto 1(P1) Puente carretero de la Ruta N° 158 (32°25'10.00"S 63°18'8.93"O)

Punto 2 (P2) Puente J. B. Alberdi (32°25'19.21"S 63°14'40.84"O)

Punto 3(P3) zona de descarga del Bypass de la Planta Cloacal Villa María (aguas arriba de la Planta Cloacal) (32°27'40.92"S 63°11'32.33"O)

Esta selección se realizó debido a que corresponden, respectivamente, a la entrada, punto medio y desembocadura del río Ctalamochita en el ejido urbano de las ciudades de Villa María-Villa Nueva.

Se analizaron parámetros in situ por los miembros del presente trabajo con equipos apropiados, se tomaron muestras simples siguiendo los procedimientos del "Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples" del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y fueron enviadas al laboratorio de Bromatología de la Municipalidad de Villa María.

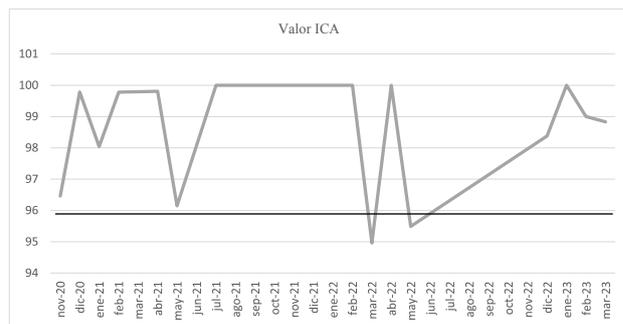
Para valorar la calidad de las aguas y facilitar su comunicación y entendimiento por especialistas y público en general se utiliza el índice de calidad de agua propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, debido a su flexibilidad en relación a la selección de las variables considerar, ya que permiten combinarlas libremente a elección del investigador (Balmaseda Espinosa y García Hidalgo, 2014).

Para sistematizar los resultados de las muestras se elaboraron planillas y gráficos de barras de Excel. Debido a la falta de niveles guía específicos para el cuerpo de agua en estudio, fue necesaria la utilización de los valores brindados por el Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA) y por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR).

El propuesto índice fue calculado con todos los parámetros con un nivel guía de referencia (temperatura, oxígeno disuelto, pH, total sales disueltas, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amoníaco, fosfatos, arsénico, flúor, coliformes totales, E. coli y coliformes termotolerantes).

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los índices de calidad agua de las muestras realizadas en el área de estudio.



Puede observarse en la figura 2 que los valores de ICA en los períodos registrados poseen agua de **excelente** (las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados), solo en marzo de 2022 para el período considerado, se registra como **buena** (las condiciones raramente se apartan de niveles buenos o deseados) por un aumento de coliformes totales.

En la Figura 3, se observa un ejemplo de las valoraciones que se están registrando por parámetro por estación de muestreo (P1, P2 y P3), en este caso Sólidos Disueltos Totales resultado en una tendencia a aumentar la carga en suspensión bastante similar de las estaciones de muestreo para el período considerado.

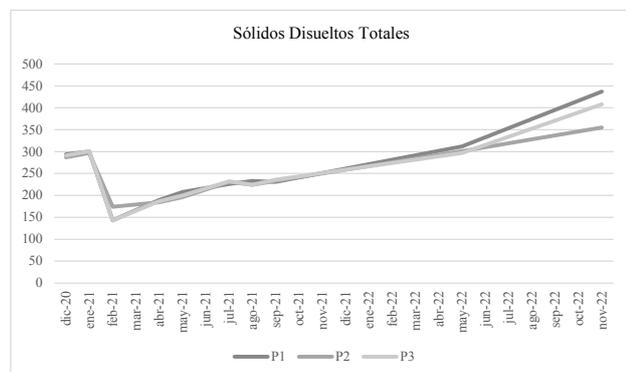


Figura 3. Valores de Sólidos Disueltos Totales (P1, P2, P3).

Conclusiones

La calidad de agua para el río Ctlamochita en el tramo Villa María-Villa Nueva es excelente, según los resultados arrojados por el CCME WQI. El resultado global es de 98,83 lo que significa que la condición del recurso es cercana a su estado natural o a lo deseado y el deterioro de su calidad es menor.

Esto también podría estar reflejando una alta efectividad en la capacidad de auto depuración del sistema fluvial Ctlamochita para la zona de estudio, si tomamos en cuenta que, considerando los Sólidos Totales Disueltos, los valores disminuyen desde el ingreso al tramo relevado (P1) hasta la salida del conglomerado urbano (P3).

Es importante destacar la necesidad de dar continuidad al monitoreo del río para observar el comportamiento del mismo y registrar cualquier variación en la calidad del agua. Así como también incorporar otros parámetros, como, por ejemplo, toxicológicos para aportar información sobre la calidad de agua para la conservación de la vida acuática en el área de estudio.

Ejemplo de Referencias Bibliográficas

Balmaseda Espinosa, C., y García Hidalgo, Y. (2014). "Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 11-16 pp.

De Antueno, L. (2019). "Análisis de vulnerabilidad ante eventos de precipitación extraordinarios en la cuenca del río Ctlamochita" (Maestría en manejo integral de cuencas hidrográficas). Universidad Nacional de La Plata.

Resolución 46/17. [Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo] Declaración de Agente Contaminante, Vertido de Efluentes Líquidos. 23 de marzo de 2017.

Resolución 357. [CONAMA]. 17 de marzo de 2005.

PROPUESTA INTEGRAL DE DISEÑO DE HUMEDAL CONSTRUIDO “EL ALGARROBAL”, VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA.

Gabriela Cejas⁽¹⁾, Germán Tissera⁽²⁾, Ariel Uema⁽¹⁾, Paola Ruiz⁽¹⁾ y Sara Tito Moscoso⁽³⁾

(1) Universidad Católica de Córdoba, Argentina, (2) Municipalidad de Villa María, Argentina (3) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

E-mail: 1717874@ucc.edu.ar

Introducción

En el presente trabajo de investigación se incluye la caracterización ambiental general del humedal urbano “El Algarrobal” y se referencia información disponible sobre los humedales construidos que fueron orientativos para definir el modelo propuesto, en los resultados alcanzados en la investigación.

El objetivo de este trabajo fue elaborar una propuesta de diseño integral de humedal construido modelo que se ajuste a la caracterización ambiental y potencie los servicios ambientales brindados por esta área protegida municipal

Materiales y métodos

El Algarrobal es una Reserva Natural Protegida de la Ciudad de Villa María está situado en el espacio público ubicado en la periferia Noroeste de esta Ciudad, con una superficie total de 31.510, 43 m², inscripto ante la Dirección General Catastral a la hoja N31.168, Parcela N° 05.579 (Ordenanza N° 5.853 y N° 5.867)



Figura 1.- Ubicación de El Algarrobal

Los humedales ocurren en zonas bajas y suelos saturados permanentes o transitorios, con un flujo de agua lento que permite la difusión, el transporte, la transformación y la acumulación de estos elementos en el sustrato y su incorporación posterior a la biota como biomasa. (Rivera, 2010)

Los factores más relevantes en un humedal son tres:

- Una función importante del humedal con respecto al factor hidrológico es almacenar agua a corto y largo plazo, lo que permite generar reservas de agua y control de inundaciones aguas abajo (Manzano et al, 2002). En el humedal estudiado esta función es muy importante debido a que funciona como laguna de retención pluvial de los barrios vecinos.
- Cumple una función biogeoquímica de transportar e intercambiar nutrientes, elementos, compuestos orgánicos e inorgánicos, toxinas, exceso de sedimentos y detritus desde y hacia el humedal que les otorga efectividad para descontaminar y filtrar las aguas. (Mitsch & Gosselink, 2000).
- La función relacionada con el hábitat es el mantenimiento de comunidades vegetales características del humedal lo que se traduce en condiciones de hábitat propicias para el albergue y protección de una gran diversidad de especies de animales de allí su gran valor en biodiversidad y

paisaje. (Bennet, 2004) En el humedal motivo del trabajo se destaca que se encuentra inserto en un relicto de vegetación nativa con algarrobos de gran porte que rodean el mismo, los cuales se encuentran protegidos por ordenanza municipal.

Los humedales construidos son infraestructura antrópica en la que, de forma controlada y en espacio reducido, se reproducen mecanismos de eliminación de afectación ambiental que pudiera estar presente en el agua residual, siguiendo el modelo de los sistemas de humedales naturales (Oliver Rajadel, 2017).

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal (Forero-Ruiz y Urrego-Rojas 2015).

Diversos autores clasifican los humedales construidos en función del modelo de circulación del agua:

- Humedales artificiales de flujo superficial (HAFS)
- Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) horizontal o vertical

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial se pueden clasificar en horizontales y verticales según el movimiento del flujo.

Metodología

Se realizó un análisis temporal a partir de imágenes satelitales abarcado el período 2004-2021, con el propósito de evaluar la tendencia evolutiva del humedal artificial y su relación con la dinámica de alternancia de períodos secos y húmedos, luego de realizar aproximaciones de diseño en base a la información obtenida se utilizó SketchUp, una aplicación CAD, para la creación de modelos tridimensionales. Las características de diseño se basaron en relevamientos de campo período 2019-2022.

Resultados y discusión

Geometría del humedal construido proyectado para El Algarrobal

Para el modelo propuesto se realizó un esquema basado en el análisis de las características ambientales de la zona y fundamentalmente en el análisis temporal de las imágenes satelitales.



Figura 2.- Perfil definitivo para establecer el humedal construido.

El diseño definitivo propuesto se basó en un humedal de flujo horizontal subsuperficial, seleccionado como el más apropiado para el caso en estudio del humedal construido “El Algarrobal”, por lo que se deberá analizar tanto la dimensión biológica como la dimensión hidráulica.

Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada (Zambrano et al, 2009)

Los humedales horizontales están compuestos principalmente por grava como medio de soporte para el desarrollo radicular de las especies de macrófitas plantadas en su interior y para la adherencia de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica (Asprilla et al, 2020). Este modelo fue seleccionado porque el humedal artificial de El Algarrobal es producto de una antigua actividad de extracción de áridos que dejaron expuestos sedimentos de tipo arenosos procedentes de un paleocauce del río Ctalamochita con mayor desarrollo areal horizontal, además se categorizaron la vegetación emergente actual y el registro biológico.

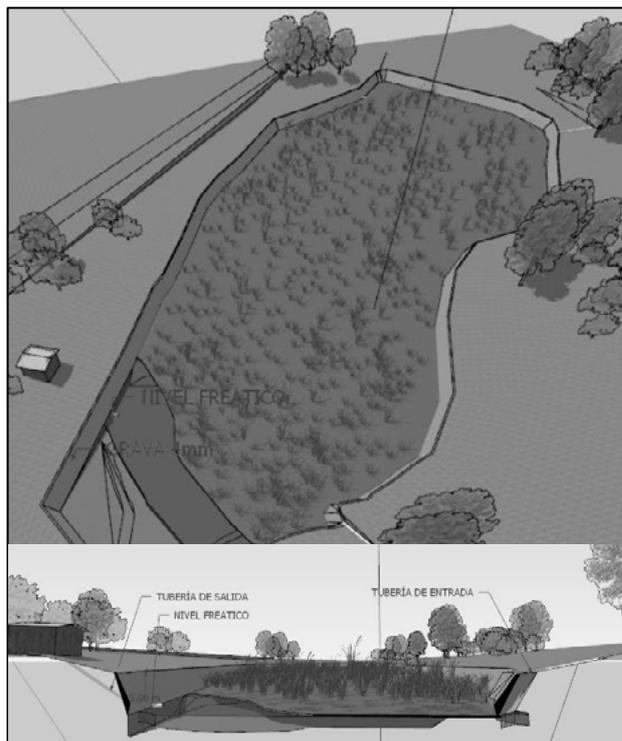
Conclusiones

Se propone realizar un humedal construido de diseño integral en “El Algarrobal”, de flujo horizontal subsuperficial con plantas de macrófitas emergentes.

Para el sistema de entrada del flujo proveniente de las precipitaciones, se recomienda realizar tres entradas del caudal por medio de un sistema de drenaje, este caudal ingresará por la parte superior del talud, como se muestra en el diseño 3D (Figura 3).

Además, se propone que el humedal tenga una profundidad de 3 a 4 metros debido a que el nivel freático se encuentra a 5 metros bajo nivel de terreno, medido en junio de 2021 en tareas de campaña. Por lo general, la zona de entrada al humedal es el área más vulnerable a la colmatación y obstrucción del caudal, de manera que se recomienda llenar esta zona con grava gruesa de 4mm como se observa en el diseño 3D.

Se propone colocar una tubería de salida hacia una bomba y un sistema de drenaje que regrese ese caudal al mismo humedal para reiniciar el proceso de filtración, para de esta manera proveer al humedal la redistribución del caudal de salida, tomando en consideración que este humedal es semiárido. diseño 3D.



Referencias

- Rivera, P. E. Z. (2010). Caracterización Geoquímica Del Humedal De Batuco: Distribución De Metales En Perfiles De Sedimentos. Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile).
- Manzano, M., Borja, F., & Montes, C. (2002). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional ya su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. Boletín Geológico y Minero, 113(3), 313-330.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological economics, 35(1), 25-33.
- Bennett, A. F. (2004). Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. IUCN.
- Oliver Rajadel, N. (2017). Estudio de los Humedales Artificiales de Flujo Superficial del Tancat de la Pipa como instrumentos para la restauración ambiental del lago de l'Albufera de Valencia (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Forero-Ruiz, A. F., & Urrego-Rojas, C. J. (2015). Modelamiento de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales del barrio Fontanar de Suba.
- Zambrano, X., Saltos, X., & Villamar, F. (2009). Diseño del Sistema de Tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas de la Población San Eloy en la Provincia de Manabí por medio de un Sistema de Tratamiento Natural compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Libre.
- Asprilla, W. J., Ramírez, J. S., & Rodríguez, D. C. (2020). Humedales artificiales subsuperficiales: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de la materia orgánica. Revista Ingenierías USBMed, 11(1), 65-73.
- García, J., Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo Subsperficial.

IMPACTO DE LA ACTIVIDAD TAMBERA EN LOS PROCESOS GEOQUÍMICOS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA ABASTO SUR, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Cellone F.¹, Borzi G.², Santucci L.², Tanjal C.², Di Lello C.², Butler L.³, Córdoba J.⁴, Lamarche L.⁵, Galliari J.², Melendi E.², Delgado M.I.^{5,6} Carol E.²

1. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

2. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

3. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Coordinación Territorial Cuenca del Salado Norte, Chascomús, Argentina.

4. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región Patagonia, Plottier, Argentina.

5. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), La Plata, Argentina.

6. División Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), CONICET, La Plata, Argentina

fcellone@fcnym.unlp.edu.ar,

Introducción

La Cuenca Lechera Abasto Sur, en el centro-este de Buenos Aires (Fig. 1), alberga el 32% de los tambos familiares de pequeña escala de la provincia, representando una importante fuente de trabajo y arraigo territorial para las familias rurales (Castro et al., 2022). El abastecimiento de agua se realiza a partir del agua subterránea y se utiliza tanto para la producción como para consumo doméstico (Cellone et al., 2020). La alta concentración de animales y excretas en una pequeña superficie puede provocar la contaminación del agua subterránea como así también promover procesos geoquímicos que afectan su calidad (Herrero y Gil, 2008; Menció et al., 2016). De entre los posibles contaminantes derivados de las excretas y efluentes de los tambos uno de los más móviles es el nitrato. El consumo de agua con altas concentraciones de este ión puede ocasionar una enfermedad conocida como metahemoglobinemia en infantes y puede asociarse a cáncer gastrointestinal en adultos (WHO, 2004). El objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto de la producción tambera en establecimientos de la Cuenca Lechera Abasto Sur en los procesos geoquímicos que determinan la calidad de agua.

en donde se determinaron las concentraciones de carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio, magnesio y dureza (APHA, 1998). Posteriormente se realizó un análisis estadístico de los datos para establecer los coeficientes de correlación lineal simple entre los distintos iones e interpretar posibles procesos geoquímicos que ocurren en el acuífero.

Resultados

Los tambos familiares analizados en general constituyen establecimientos con una producción de entre 180 a 800 litros al día y poseen menos de 50 vacas en ordeño. Su producción en la mayoría de los casos tiene menos de 10 años de antigüedad y se dedica principalmente a la elaboración de masa para mozzarella. Se relevaron además 5 tambos de mayor escala con entre 120 y 230 vacas en ordeño y más de 20 años en producción.

Las instalaciones del tambo se encuentran en muchos casos cerca de las viviendas de los productores y en cuanto al abastecimiento de agua el mismo se realiza tanto para los usos domésticos como productivos (limpieza de las instalaciones y consumo del ganado). Las profundidades de las perforaciones son variables y se sitúan a menos de 15 m para el caso de bombas y molinos y entre 30 y 50 m para las bombas sumergibles.

Los resultados de los análisis químicos muestran que el agua subterránea es principalmente bicarbonatada sódica con valores de pH entre 6,98 y 9,83 y una CE que varía entre 365 y 2540 uS/cm.

En cuanto al contenido de NO₃⁻ el mismo varió entre 1 y 519 mg/L con un valor medio de 45 mg/L. Estos contenidos se encontraron significativamente correlacionados con el pH y la CE del agua subterránea con valores de -0,48 y 0,82 respectivamente (Tabla 1).



Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

Metodología

Se monitorearon 21 tambos de la Cuenca Lechera Abasto Sur. En ellos se evaluaron las principales características de la producción, tales como número de animales, año de inicio de la actividad, dimensiones e infraestructura de las instalaciones (sala de ordeño, corrales, sistemas de vuelo de efluentes). En total se relevaron 40 perforaciones, en donde se constataron las características constructivas de las mismas (cementación superficial, encamisado, distancia a fuentes puntuales de contaminación).

En los pozos se midió *in situ* conductividad eléctrica (CE) y pH del agua y se recolectaron muestras para el análisis en laboratorio

Tabla 1.- Matriz de correlación en muestras de agua subterránea de los establecimientos tamberos analizados.

	pH	CE uS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻² mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L
CE uS/cm	-0.32							
HCO ₃ ⁻ mg/L	-0.07	0.43						
Cl ⁻ mg/L	-0.37	0.79	0.17					
SO ₄ ⁻² mg/L	-0.16	0.40	0.00	0.44				
NO ₃ ⁻ mg/L	-0.48	0.82	0.13	0.78	0.41			
Ca ⁺² mg/L	-0.64	0.45	-0.07	0.64	0.32	0.74		
Mg ⁺² mg/L	-0.59	0.53	-0.01	0.68	0.33	0.72	0.79	
Na ⁺ mg/L	0.23	0.64	0.50	0.37	0.30	0.27	-0.30	-0.10

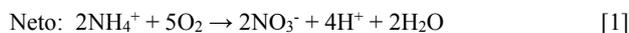
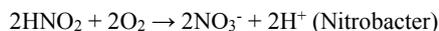
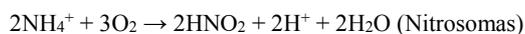
A su vez se observó que el incremento en el contenido de NO_3^- es acompañado por incrementos en los contenidos de Ca^{+2} y Mg^{+2} , con coeficientes de correlación de 0,74 y 0,72 respectivamente (Tabla 1).

Discusión

El crecimiento de las actividades agropecuarias intensivas constituye una fuente puntal de contaminantes que se encuentra en aumento y que representa una problemática que debe ser abordada para garantizar la calidad del agua en zonas rurales. Si bien en la actividad agropecuaria familiar tanto los volúmenes de producción, la cantidad de animales y por lo tanto el volumen de efluentes generados son menores que en las actividades agropecuarias de escala industrial, la actividad posee ciertas particularidades que pueden transformarla en una fuente importante de contaminantes potencialmente riesgosa. Por un lado, dada la baja capacidad de inversión, no se cuenta con los adecuados recaudos a la hora de la explotación de los acuíferos (cementación, encamisado, distanciamiento de los focos de contaminación en las perforaciones) como tampoco en el tratamiento de los efluentes generados por las instalaciones.

En relación con los contenidos de NO_3^- registrados en el agua subterránea, los mismos son en promedio de 45 mg/L, los cuales son superiores a los valores de fondo estimados para el área, los cuales son cercanos a 10 mg/L (Borzi, 2018). Estos podrían provenir de la descomposición del nitrógeno orgánico derivado de las excretas del ganado y el subsiguiente proceso de nitrificación (Clark, 2015). Este proceso tiene lugar bajo condiciones aeróbicas por lo que ocurriría en la zona no saturada. A su vez durante el mismo se liberan protones y como consecuencia el medio se acidifica, lo que explicaría la correlación inversa con el pH (ec. 1)

Nitrificación:



Por otro lado, la acidificación del medio podría llevar a la disolución de los carbonatos presentes en los sedimentos de la matriz del acuífero en forma de mantos y nódulos de tosca (Teruggi, 1957). Como resultado se libera Ca^{+2} y Mg^{+2} en el agua (ec. 2), lo cual aumenta la dureza tal como se observa en las correlaciones entre NO_3^- vs Ca^{+2} y NO_3^- vs Mg^{+2} (Tabla 1) (Clark 2015)



Los procesos geoquímicos descriptos ocasionan problemas en la calidad del agua. Por un lado, el proceso de nitrificación provoca que los nitratos se encuentren por encima de los límites sugeridos para el consumo humano (> 45 mg/L según el CAA, 2012). Esta situación fue registrada en 23 de las perforaciones relevadas. Por otro lado, valores de nitrato entre 200 y 500 mg/L pueden provocar problemas de salud en el ganado (Iramain et al., 2001). Estos valores principalmente se asocian a establecimientos y perforaciones con características constructivas deficitarias o cercanas de puntos de contaminación puntual (corrales, vertido de efluentes, sala de ordeño). Por último, si bien no existen recomendaciones específicas en cuanto a los límites recomendables de dureza en el agua, valores superiores a 200 mg/L pueden generar precipitación de carbonatos en tuberías y en maquinaria, dependiendo de la interacción con el pH y la alcalinidad.

Conclusiones

Los resultados evidencian que la actividad tampera a escala familiar en la Cuenca Lechera Abasto Sur posee un impacto local sobre los procesos geoquímicos que determinan la calidad de agua utilizada para abastecimiento.

Se registraron valores de nitratos por encima de los valores de base del área y con un valor promedio similar al límite sugerido según el CAA, 2012. Estos valores se interpretan como producto de la degradación de las excretas del ganado y los efluentes de la producción y se relacionan a características deficitarias en las instalaciones, la construcción de los pozos de abastecimiento y la cercanía a fuentes puntuales de contaminación.

Se observa que existe una clara relación entre los contenidos de nitrato en el agua subterránea y otros parámetros fisicoquímicos como la CE, el pH y los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Se interpreta que el proceso de nitrificación, al mismo tiempo que aumenta el contenido de nitrato en el agua subterránea, acidifica el medio favoreciendo la disolución de los sedimentos carbonáticos presentes en la matriz del acuífero.

De esta manera el deterioro de la calidad del agua no solamente se da a través del aumento del contenido de nitratos, sino que a su vez la composición del agua se ve modificada por altos valores de dureza y CE. Valores de nitrato y dureza del agua por encima de los límites permitidos podrían no solo afectar la salud humana sino también la producción animal y el funcionamiento de las instalaciones del tambo.

Referencias

- APHA (American Public Health Association) (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Twentieth ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Borzi, G. E. (2018). Influencia de la actividad antrópica en la geohidrología de la cuenca del río Samborombón. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Castro, A., Lavarello Herbin, A., Butler, L., Vela, M. E., & Pérez, R. A. (2022). "Tambos familiares de la Cuenca Abasto Sur. El caso de la Cooperativa Amanecer Organizado, partidos de Punta Indio y Magdalena, Buenos Aires, Argentina". Revista Ciencias Agronómicas, (40), e028.
- Cellone, F., Carol, E., Pugliese, I., Córdoba, J., Butler, L., & Lamarche, L. (2020). "Nitrate pollution in dairy farms and its impact on groundwater quality in a sector of the Pampas plain, Argentina". Environmental Earth Sciences, 79, 1-7.
- Clark, I. (2015). Groundwater geochemistry and isotopes. CRC press.
- Código Alimentario Argentino. (2012). Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Capítulo XII.
- Herrero, M. A., & Gil, S. B. (2008). "Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal". Ecología austral, 18(3), 273-289.
- Iramain MS, Nosetti L, Herrero MA, Maldonado May V, Flores M, Carbó L (2001) Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la provincia de Buenos Aires, Argentina. In: III Encuentro de las Aguas, 1-11.
- Menció, A., Mas-Pla, J., Otero, N., Regàs, O., Boy-Roura, M., Puig, R., & Folch, A. (2016). "Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else?". Sci Total Environ, 539:241-251
- Teruggi, M. E. (1957). The nature and origin of Argentine loess. Journal of Sedimentary Research, 27(3).
- World Health Organization (2004). Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1). World Health Organization.

ECONOMÍA CIRCULAR DEL AGUA: USO, TRATAMIENTO Y REÚSO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA, ARGENTINA

Eduardo Comellas ⁽¹⁾, Araceli Agneni ⁽¹⁾, Santiago Ruiz Freites ⁽¹⁾ y Emilia Agneni ⁽²⁾

(1) Centro Regional Andino. Instituto Nacional del Agua. República Argentina.

(2) Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Cuyo.

eacomellas@ina.gov.ar - aagneni@ina.gov.ar - sfreites@ina.gov.ar - eagneni@mendoza-conicet.gov.ar

Introducción

La Economía Circular –EC– constituye un modelo de producción y consumo que implica compartir, reutilizar, alquilar, reparar y reciclar bienes existentes o residuos del sistema económico – productivo (Ellen MacArthur Foundation, 2014). Su objetivo es mantener el valor de los productos, materiales y recursos en el sistema durante el mayor tiempo posible. Representa un cambio estructural desde el actual modelo lineal.

La Economía Circular del Agua –ECA– se materializa al reutilizar los recursos hídricos emulando el ciclo natural. Para el caso del sector urbano el reúso se aplica, principalmente, en el riego agrícola. En el sector industrial, se reutiliza para elaborar nuevos productos o cultivar especies arbustivas.

En el artículo se demuestra que, la reutilización planificada del agua, es la forma más clara y evidente de introducir nuevamente el recurso hídrico en el ciclo. Las aguas de reúso deben formar parte de la oferta no convencional y ser incluidas en la GIRH. Un adecuado tratamiento constituye el factor clave para impulsar la Economía Circular del Agua, mitigar la escasez del recurso y reducir los procesos de contaminación.

El marco teórico se sustenta en el Desarrollo Sostenible –DS– (Informe Brundtland, 1987). El mismo, es concebido como aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las de las futuras generaciones. Propende al equilibrio entre ambiente, sociedad y economía. Actualmente, los preceptos del DS se ven subsumidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible –ODS– (ONU 2015). En este artículo, se destaca el ODS 3 (salud y bienestar), el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 15 (vida de los ecosistemas terrestres). Se debate la potencial expansión de la oferta de agua a través de los lineamientos de la EC, respetando los principios del DS.

El estudio se efectúa sobre el Área Metropolitana de Mendoza –AMM– (Argentina). Posee en operación dos plantas de tratamiento y depuración de efluentes urbanos: Paramillos y Campo Espejo (Figura 1). El agua, luego de ser tratada en estos sitios, se canaliza hacia Áreas de Cultivos Restringidos Especiales –ACRE– (con restricciones en cuanto a cultivos y de acuerdo a lineamientos sanitarios de la Organización Mundial de la Salud –OMS–) para su aprovechamiento productivo.

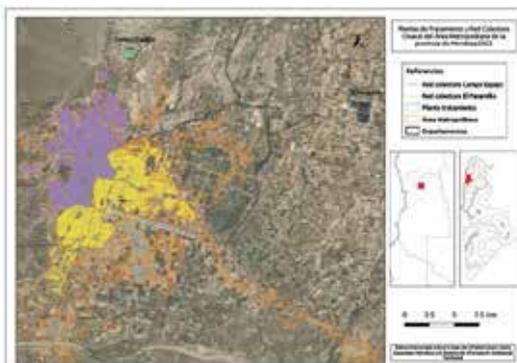


Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento, red colectora cloacal y ACREs del Área Metropolitana de la provincia de Mendoza.

Los ACRE están regulados por una normativa específica del Departamento General de Irrigación –DGI–, en relación a los productos agrícolas que pueden cultivarse utilizando estas aguas.

Existe un reglamento general de uso (Resolución N°400/03) que regula aspectos técnicos, legales y administrativos. Se incorporan, además, normas de vertidos y de calidad de los mismos para el reúso agrícola (Resolución N° 627/00). Los usuarios de estas aguas son registrados, otorgándole un permiso de uso, lo cual implica el derecho a utilizarlas, manteniendo la aplicación de las normas de policía y control al DGI. También se controla la contaminación hídrica (Resolución N°778/96), incorporando el reúso como parte del tratamiento de efluentes, y su entrega a un tercero mediante la suscripción de un convenio con la intervención y control del DGI (Resolución N°50/20)

La necesidad de incorporar esta fuente de agua no convencional en el sistema hídrico resulta necesaria si se toma en cuenta la escasez cuantitativa y cualitativa de las aguas de la región. La oferta hídrica superficial proveniente de los ríos Mendoza y parte del Tunuyán Inferior, aportan en promedio, 2.650 hm³/año. Sin embargo, el caudal de estos ríos ha disminuido un 25% y un 15%, respectivamente, durante la última década. La dotación de agua subterránea asciende a 800 hm³ por año (posible de extraer con la infraestructura vigente). Sin embargo, sus niveles de salinidad en varios sitios superan los 4.000 µS/cm, comprometiendo su uso para consumo humano y riego agrícola. Si se compara la oferta total disponible de agua en condiciones cualitativas aceptables con la demanda existente por el recurso, la primera supera a la segunda en apenas un 4%.

Metodología

Se plantean dos escenarios: actual y potencial. El primero hace referencia a las actuales condiciones de tratamiento y reúso de las aguas domésticas residuales en ambas plantas, considerando la cantidad de efluente tratado y proponiendo un crecimiento tendencial del sistema hasta 2035, asumiendo que la población crece al mismo ritmo que el evidenciado durante la última década. El segundo escenario, analizado para ese horizonte temporal, plantea una situación prospectiva optimizada del sistema. Se asume el mismo comportamiento demográfico, pero se establecen mejoras en la infraestructura, susceptibles de ser realizadas dentro de las plantas en los próximos años, y la incorporación progresiva de la totalidad de las viviendas a la red cloacal. En ambos casos se estima la cantidad de efluentes tratados, la población beneficiada (actual y proyectada), la superficie irrigada actual y potencial en cada ACRE, el tipo de cultivo implantado y el valor económico total de la producción de cada zona. Se comparan ambos escenarios para determinar los beneficios asociados a las mejoras potenciales del sistema y su contribución a la ECA, comparando la variación del valor de la producción entre ambos escenarios. Para efectuar estos cálculos, se considera el precio de cada producto expresado en USD por kilo –libre de IVA– en proporción a las hectáreas implantadas con cada cultivo. Finalmente, se estima el Valor Actual Neto –VAN– de la producción en los ACRE, considerando una tasa de descuento del 20% para un horizonte temporal hasta 2035.

Resultados y discusión

Escenario actual: La Planta de Paramillos (Figura 2) posee tres unidades de tratamiento, las cuales ocupan una superficie empadronada de 3.000 hectáreas anuales (Observatorio del Agua, provincia de Mendoza). En la misma se depuran los líquidos cloacales de la zona Este del Gran Mendoza, tratando 1,75 m³/s provenientes de 537.000 habitantes (2023).

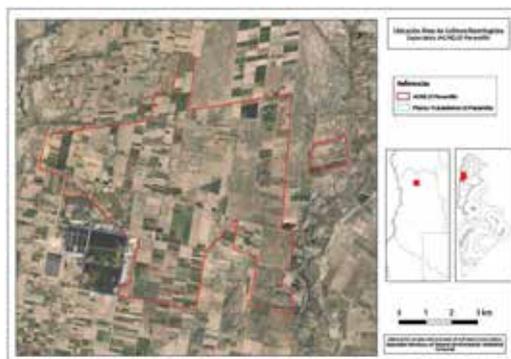


Figura 2. Planta de Tratamiento Paramillos y ACRE.

La superficie cultivada en este ACRE, asciende a 2.050 hectáreas por año. El valor anual de esta producción USD 2.764.706, y la proporción de cada cultivo, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Superficie cultivada en Acre Paramillos (en hectáreas y proporciones) y Valor de la producción (en USD)

Cultivo	Proporción	Hectáreas	Valor
Vid	38%	789	878.332
Hortalizas	21%	436	922.558
Olivos	15%	311	10.573
Forrajeros	10%	210	370.159
Bulbos	9%	182	76.349
Frutas	7%	150	290.157
Zanahorias	3%	57	8.274
Tubérculos	3%	59	43.023
Álamos	2%	44	165.281
Totales	100%	2.050	2.764.706

Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la DEIE

La otra planta de la zona, Campo Espejo, posee doce series de tres lagunas cada una –primaria, secundaria y de depuración– y posee una superficie empadronada de 2.860 hectáreas (Figura 3). La misma depura los líquidos cloacales de 436.000 habitantes (2023) de la zona Oeste del Gran, tratando 1,48 m³/s.

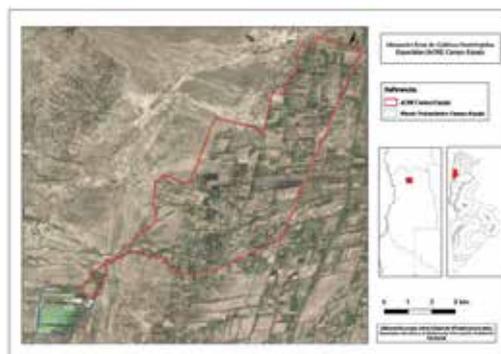


Figura 3.- Planta de tratamiento Campo Espejo y ACRE.

La superficie cultivada asciende a 1.630 hectáreas por año. El valor anual de la producción del ACRE, USD 2.369.454, así como la proporción de cada cultivo implantado, se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Superficie cultivada en Acre Campo Espejo (en hectáreas y proporciones) y Valor de la producción (en USD)

Cultivo	Proporción	Hectáreas	Valor
Vid	25%	411	457.967
Hortalizas	20%	323	683.195
Olivos	9%	148	5.038
Forrajeros	10%	162	285.986
Bulbos	16%	253	106.237
Frutas	5%	74	142.534
Eucaliptos	1%	22	62.714
Tubérculos	2%	25	18.166
Álamos	9%	154	578.243
Totales	100%	1.630	2.368.454

Fuente: Elaboración propia con datos aportados por la DEIE

El valor de la producción (asumiendo que se mantienen los precios y proporciones de los cultivos) asciende en el área irrigada por ambas plantas a USD 9,3 millones por año.

Escenario potencial: La población urbana estimada al 2035 para las zonas de influencia de ambas plantas de tratamiento, se incrementaría en 300.000 habitantes –totalizando 1.275.000 para dicho año– (asumiendo que las tasas de crecimiento poblacional se mantendrían en los niveles promedios de los últimos años y se incorporarían al sistema nuevas áreas urbanas aledañas a las actuales) Suponiendo la incorporación progresiva de la totalidad de viviendas a la red cloacal, mejoras en la infraestructura de las plantas, la dotación de riego de todas las áreas empadronadas ampliando la superficie cultivada en los ACRE en 2000 hectáreas adicionales (asumiendo que se alcanza a irrigar la totalidad de hectáreas empadronadas –5.640– en ambos ACREs) sería posible tratar conjuntamente, 4,55 m³/s de efluentes totales. Las aguas no convencionales incrementarían la oferta hídrica en alrededor del 8%. El del valor de la producción (asumiendo que se mantienen los precios y proporciones de los cultivos) ascendiente en los ACREs a USD 17,5 millones por año.

Conclusiones

Actualmente, los efluentes cloacales tratados por ambas plantas contribuyen a incrementar la oferta hídrica superficial de la zona en un 3,80%. Con estos aportes hídricos, son cultivadas alrededor de 3.700 hectáreas. El VAN asciende en el escenario actual (hasta 2035, considerando una tasa de descuento del 20%) a USD 22,1 millones.

Bajo los supuestos de un escenario prospectivo, caracterizado por una adecuada gestión de los efluentes cloacales de los habitantes de la zona e irrigando la totalidad de la superficie empadronada en cada ACRE, los resultados positivos derivados de una adecuada gestión de efluentes, podrían incrementarse para 2035. El crecimiento de la población del AMM, la generalización progresiva de las conexiones a la red cloacal y el incremento de la superficie cultivada en los ACREs, denotarían un VAN (hasta 2035, con una tasa de descuento del 20%) de USD 41,5 millones.

Referencias

- **Departamento General de Irrigación.** Pronóstico de Caudales de los Ríos de Mendoza. En: <https://www.irrigacion.gov.ar/web/boletin/>
- **Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE)** Mendoza. Disponible en <https://deie.mendoza.gov.ar/#/>
- **Ellen MacArthur Foundation** (2014). Towards the Circular Economy, Vol. 1. Economic and business rationale for an accelerated transition. En <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- **Informe Brundland.** (1987) Organización de las Naciones Unidas.
- **Observatorio del Agua, provincia de Mendoza.** Disponible en: <https://www.observatorioaguamza.com/es>

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CINTURÓN VERDE DE MENDOZA

Cónsoli Daniela¹, Zuluaga Jose¹, Drovandi Alejandro¹⁻², Gomez María Laura³, Hoke Gregory⁴, Valdés Analía¹, Micheletti Agostina¹, Haye Amalia², Rodríguez Carlos², Velgas Máximo², Martínez Varela Andrés¹, Vignoni Ana Paz¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza, Argentina – ²Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino, Argentina –

³IADIZA-CONICET, Argentina – ⁴Syracuse University, EEUU

E-mail: dconsoli@fca.uncu.edu.ar, (0261)-4135010 int. 61225

Introducción

El modelo productivo de Mendoza consiste en una agricultura de regadío, sustentada por la fusión de nieve en cordillera. El Cinturón Verde de Mendoza, caracterizado por la producción intensiva de hortalizas, recibe en forma permanente agua proveniente de vertientes y eventualmente de desagües industriales, pluviales y de drenaje. La actividad agrícola e industrial y los asentamientos poblacionales en la zona de estudio generan efluentes y residuos que afectan la calidad del recurso hídrico: modifican el pH, salinidad, sodicidad y la proporción de iones presentes en el agua, lo que también impacta en cultivos regados aguas abajo o en el agua subterránea. El riesgo de toxicidad depende de la naturaleza de los contaminantes y de su concentración y está además puede generar efectos sobre la salud humana (carcinogénesis, teratogénesis y mutagénesis). De esta forma, la mala calidad del agua constituye otro de los problemas que contribuyen a la vulnerabilidad hídrica (Mussetta y Barrientos, 2015). En este contexto cobra relevancia el monitoreo de los principales parámetros que determinan la calidad de las aguas usadas para riego en el Cinturón Verde de Mendoza. Esta tarea ha sido asumida a nivel local por este equipo de investigación que realiza, desde hace más de 20 años, el seguimiento periódico de diferentes puntos de muestreo de agua superficial, de drenaje y subterránea. Esto permite obtener información útil para analizar la situación actual, plantear estrategias de manejo y constituir registros históricos. El objetivo de este trabajo fue identificar grupos homogéneos o tipologías de calidad de agua en la zona de estudio, en función de los datos obtenidos para una serie de parámetros analizados. Con respecto al agua subterránea, también se han realizado muestreos para análisis de isótopos estables con el fin de identificar contaminación entre los diferentes niveles del acuífero, producto de los posibles aportes superficiales a niveles más profundos, lo que contribuye con una nueva perspectiva de abordaje.

Metodología

La zona de estudio pertenece al área administrada por la Asociación de Usuarios de la 3ra zona de riego del Río Mendoza, donde se ubica el Cinturón Verde del área metropolitana. En este estudio se han incluido los resultados fisicoquímicos de 466 muestras de agua analizadas en casi 15 años. Las mismas se han tomado en puntos fijos definidos hace varios años sobre los principales canales que abastecen el área: Chachingo y Pescara. El punto R permite evaluar la calidad inicial del agua superficial proveniente del Río Mendoza en el ingreso a estos canales. Luego, sobre el canal Pescara se ubican los puntos P y B, mientras que sobre el canal Chachingo los sitios PB, CH y M. Por otra parte, se seleccionaron perforaciones a diferentes profundidades de explotación y se extrajeron muestras para realizar el análisis de isótopos estables en agua subterránea.

Por las características edáficas y productivas del área, la

salinidad cobra especial relevancia. Se continúa monitoreando periódicamente la conductividad eléctrica actual (CEA), los iones mayoritarios, pH (Official Methods of Analysis of AOAC International, 1996) y metales pesados (Pb, Cu, Cd y Zn). Para evaluar salinidad se utilizó la escala Riverside con modificación de Thorne-Peterson (Thorne y Peterson, 1954 y 1996) y la clasificación de Wainstein, recomendada para las aguas de Mendoza por considerar, especialmente el contenido de yeso y la eliminación del exceso de sodio por drenaje (Avellaneda, 2004).

Las determinaciones de las tipologías de calidad de agua se hicieron mediante estadística multivariada. Se realizó un análisis de componentes principales para elaborar el cartografiado de los resultados y aplicar estrategia de clustering sobre factores. En aquellos factores que capturaron el 80% de varianza se realizó la estrategia de Lebart de clasificación automática para obtener particiones, aplicando técnicas de descripción y validación estadística de descripción de clases y permitir así, encontrar patrones o tipologías de aguas a partir de las mediciones de parámetros en conjunto.

Resultados y Conclusiones

Las aguas de la zona de estudio son, en general, clasificadas según Riverside como “bajo riesgo sódico” (S1) y “salinidad mediana” (C3), siendo recomendable su uso únicamente en suelos de moderada a buena permeabilidad. Utilizando la conductividad eléctrica efectiva (CEE) a través de la clasificación de Wainstein, se encuadran generalmente como “aguas moderadamente salinas” (C3) o “medianamente salinas” (C4). Sin embargo, en ocasiones, principalmente en los puntos situados hacia el final de recorrido de ambos canales, se observaron aumentos de salinidad y sodicidad que disminuyen la aptitud para riego alcanzando categorías de Wainstein C5 “francamente salina” (45% de aumento de CEE), C6 “fuertemente salina” (90% de aumento) o S2 “mediana peligrosidad sódica” (con una relación de absorción de Sodio o RAS que supera 4,4 veces la media, y valores de Na⁺ 3,9 veces mayores). La presencia de yeso en el suelo atenúa esta mediana peligrosidad sódica (S2), sin embargo, estas aguas deben ser usadas con cautela ya que, en suelos de textura fina con condiciones de drenaje restringido, presentan un apreciable peligro sódico.

En relación con la identificación de grupos homogéneos o tipologías de agua en la zona de estudio, se obtuvieron 4 clases con su significancia estadística y validación correspondiente según las similitudes entre las muestras. En la Tabla 1 se detallan los valores de los diferentes parámetros que definen cada clase.

La Clase 1 abarcó la mayor proporción de aguas analizadas (31,55%), con un 39% de las muestras tomadas en el punto R y el 88% de las muestras de la categoría 3 de Wainstein (modalidades características de dicha clase, con el 99% de confianza). La Clase 2 incluyó muestras cercanas a la media de

todas las variables, el 58% de las observaciones incluidas en esta clase correspondieron a muestras tomadas en el punto PB y un 47% estuvo dentro de la categoría 4 de Wainstein. El 36,5% de las muestras tomadas en el punto PB y el 72% de las muestras de la categoría 4 de Wainstein se encuadraron en la Clase 2, siendo estas modalidades características de dicha clase, con el 99% de confianza. El 79% de las observaciones incluidas en la Clase 3 correspondió a muestras tomadas en el punto HM (modalidad característica de la clase, con el 99% de confianza). La Clase 4 incluyó un menor número de muestras, las que presentaron una mayor dispersión que en el resto de las clases, siendo el punto B la modalidad característica de la clase (73% de las muestras tomadas en dicho punto).

Tabla 1.- Parámetros analizados para identificar las distintas clases o tipologías de agua, con significancia estadística ($\alpha=0,1$ o superior), salvo donde se coloca un asterisco (*) que indica que el valor medio indicado no presentó diferencia significativa.

Variables		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Ca ²⁺	mg L ⁻¹	111,52	169,34	267,77	247,83
Cd	mg L ⁻¹	0,020	0,032	0,027*	0,023*
CEA	$\mu\text{S cm}^{-1}$	947,5	1393	1878	2150
CEE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	946	1367*	1632	2000
Cl ⁻	mg L ⁻¹	70,53	118,1	160,6	230,82
CO ₃ ²⁻	mg L ⁻¹	2,367	0,285	2,481	0,000
CO ₃ H ⁻	mg L ⁻¹	125,3	261,3	281,5	397,1
Coef. K	-	30,70	18,01	12,82	9,484
Cu ²⁺	mg L ⁻¹	0,025	0,056	0,028	0,036*
K ⁺	mg L ⁻¹	5,390	17,60*	9,127	61,977
Mg ²⁺	mg L ⁻¹	25,47	36,47	58,31	54,22
Na ⁺	mg L ⁻¹	51,41	86,00*	109,3	161,01
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	11,58*	28,1*	14,56*	3,241*
Pb	mg L ⁻¹	0,122	0,180	0,210	0,143
pH	-	7,640	7,019	7,743	6,736
PO ₄ ³⁻	mg L ⁻¹	0,694	1,03*	0,551	6,060
RAS	-	1,136	1,561*	1,604*	2,539
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	283,9	385,1	639,0	611,2
Zn ²⁺	mg L ⁻¹	0,061*	0,087	0,065*	0,060*

La Tabla 2 resume las modalidades características de cada una de las 4 clases con un nivel de confianza del 99%. Se observa que las 4 clases se definieron de acuerdo al punto en el cual se extrajo la muestra y dos de las categorías por la clasificación de Wainstein (C3 o C4) es decir que existe influencia importante del punto de extracción y del tipo de sales presentes (no solo de la concentración). Considerando que las clases 3 y 4 caracterizan a los últimos puntos sobre los canales Chachingo y Pescara respectivamente, queda en evidencia la contaminación diferencial que se produce en cada canal. Las aguas del canal Pescara, presentan a través de su recorrido, una mayor disminución de su calidad que las del Canal Chachingo, debido a que atraviesan una importante zona industrial (más aún si se considera que en el canal Pescara existe desde el 2009 una planta que en ocasiones diluye dichos efluentes con agua subterránea de buena calidad para disminuir su contaminación). Las aguas de la clase 4, a la cual pertenecen el 73% de las muestras tomadas en Becases presentan, con respecto a la clase 3 a la cual pertenecen el 52% de las muestras tomadas en la Hijueta Montenegro un menor pH y coeficiente K que indica mayor riesgo salino sódico. Además, los valores de CEA, CEE, Cl⁻, Na⁺, CO₃H⁻, RAS, Cu y PO₄³⁻ son más elevados que en la clase 3, corroborando lo antes dicho.

Tabla 2.- Descripción de las modalidades características de cada una de las 4 clases con significancia estadística ($\alpha=0,01$).

Clases	Modalidades características
Clase 1 (Efectivos:147-31.55%)	Wainstein3 Ruta 60

Clases	Modalidades características
Clase 2 (Efectivos:137-29.40%)	Wainstein4 Puente Blanco
Clase 3 (Efectivos:133-28.54%)	Hijueta Montenegro Hijueta Montenegro con dique
Clase 4 (Efectivos:49- 10.52%)	BECASES con dique Becases

En la figura 1 se observa el cartografiado de las muestras analizadas identificado con colores las 4 clases establecidas. También se han incluido las modalidades de cada punto de muestreo (centros de gravedad de los grupos de individuos que componen para cada variable nominal) y las flechas que indican la correlación de las variables como su aumento a partir de la media general, lo cual permite representar la cuantiosa información analizada de forma relativamente sencilla.

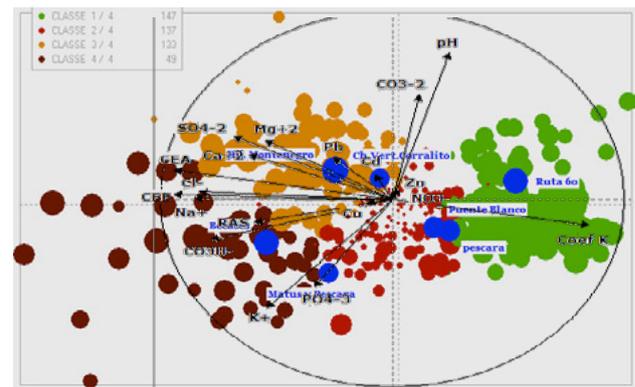


Figura 1.- Representación de todas las muestras de agua analizadas indicando clases establecidas, modalidades de los puntos de muestreo y plano de correlación entre las variables.

Los resultados del análisis de isótopos estables en las muestras de agua subterránea en distintos niveles de explotación evidenciaron que tanto el agua superficial como la subterránea (ambas utilizadas para el riego), proceden de la misma fuente: el río Mendoza. No se identificaron diferencias entre los distintos niveles de acuíferos muestreados, lo que evidenció la rápida incorporación del agua superficial al acuífero (recirculación de riego).

También puede sostenerse que los niveles más profundos continuaron sin efectos de contaminación, aunque susceptibles de alteración ante la fuerte presión en el uso del recurso hídrico.

Finalmente, se plantea la necesidad de efectuar dataciones del sistema hídrico subterráneo que permitan conocer la edad del recurso para definir medidas de gestión sustentable del agua subterránea.

Referencias

- Avellaneda, M.; Bermejillo, A.; Mastrantonio, L. (2004). Aguas de riego calidad y evaluación de su factibilidad de uso. ISBN: 950-39-0030-1. Editorial EDIUNC. Mendoza, Argentina.
- Mussetta, P.; Barrientos, M.J. (2015). Producer's vulnerabilities to global environmental change: climate, water, economy and society. Revista de la facultad de ciencias agrarias. Universidad nacional de cuyo, 47(2), 145-170. Recuperado en 07 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1853-86652015000200012&lng=es&tng=en.
- Official Methods of Analysis of AOAC International. (1996) 16 th Edition – Volumen I.
- Thorne. D. W. y Peterson H. B. (1954) Técnica de Riego. Versión Española 1963, México.
- Thorne. D. W. y Peterson H. B. (1996) Técnica de Riego Fertilidad y Explotación de los Suelos. Editorial Continental. México .D. F.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACUMULACIÓN DE FÓSFORO EN EL AMBIENTE

Cremona, MV^{1,2}; Riat, MC², Catenazzo, C²; Velasco, V¹; Magnin, S³

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; ² Universidad Nacional de Río Negro; ³ Departamento Provincial de Aguas
E-mail: cremona.mv@inta.gob.ar

Introducción

En un contexto de presiones crecientes sobre los recursos hídricos, el uso de aguas residuales tratadas (ART) para riego resulta una alternativa interesante ya que permite aprovechar la disponibilidad de agua y nutrientes para la producción de un bien. Por otro lado, se reduce también la demanda de agua para agricultura, a la vez que se minimizan los impactos ambientales generados por los vuelcos a los cuerpos receptores. Esto puede ser más crítico en localidades de zonas áridas, como en Ingeniero Jacobacci en la región Sur de Río Negro, donde la producción bajo riego es muy limitada en función de la escasez del recurso hídrico.

En ese contexto y en el marco de un convenio entre instituciones con diferentes objetivos e intereses (INTA-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, UNRN-Universidad Nacional de Río Negro, DPA-Departamento Provincial de Aguas, MIJ-Municipio de Ing. Jacobacci y COASyP-Cooperativa de Aguas y Servicios Públicos) se llevan adelante desde 2015 una serie de actividades conjuntas con el objetivo de explorar alternativas de reúso de las aguas residuales tratadas originadas en la planta de la localidad. Entre ellas, se instalaron ensayos de especies forrajeras en los que se evalúa la respuesta de los cultivos al riego con agua residual tratada, comparándola con el uso de agua de perforación, y analizando los efectos en el suelo de la práctica.

El ART adiciona al suelo, entre otros nutrientes, fósforo en general en formas orgánicas y solubles (Bae-Yosef, 2011). Su comportamiento en el suelo es un fenómeno complejo que está fuertemente influenciado por la naturaleza de las fases sólidas inorgánicas y orgánicas presentes, la actividad biológica, la reacción del suelo y otros factores ambientales como la humedad y la temperatura (Pierzinsky et al 2005). Si bien es un elemento poco móvil en el suelo (Weil y Brady, 2014) y es en parte extraído por los productos de cosecha, puede tender a acumularse si es aplicado a una tasa superior a la de la extracción de los cultivos (Bar-Yosef, 2011). La acumulación de fósforo puede constituir un riesgo potencial de contaminación, si alcanza niveles que pueden afectar fuentes de agua subsuperficiales, por lo que un objetivo de este trabajo conjunto fue evaluar el enriquecimiento de fósforo en el suelo en sistemas de cultivos de especies herbáceas regados con agua residual tratada.

Materiales y métodos

El ensayo se instaló en 2016 y se realizó un diseño experimental en parcelas divididas donde el tipo de agua utilizada para riego es el factor principal, mientras que dentro de las parcelas principales se aleatorizaron los tratamientos del tipo de vegetación (alfalfa y campo natural), en parcelas por triplicado de 2 x 3 m. La alfalfa se sembró a fines de febrero, y se comenzó a regar inmediatamente. El tratamiento de campo natural consistió en la remoción de la vegetación natural para la sistematización del terreno, permitiendo la proliferación de la vegetación espontánea.

El riego se realiza por melgas y el agua es conducida por tuberías hasta la cabecera de las mismas. Se riega diariamente, de septiembre a principios de junio, con una lámina constante de aprox. 10 mm con el objetivo de disponer la mayor cantidad de agua tratada posible, con un sistema automatizado y bajo la

supervisión del personal de la planta.

En cada temporada de crecimiento se realizaron tres y cuatro cortes de la vegetación en todas las parcelas, en la zona central de las mismas, en un marco de 0,2 m², secándose el material en estufa a 60°C. Se calculó el rendimiento total como la suma de los cortes y expresando los resultados en kg MS/ha. En cada cosecha se hizo un corte de limpieza de toda la parcela, dejando aprox. 10 cm de altura de vegetación remanente para favorecer el rebrote.

Al inicio del ensayo y al final de cada temporada de crecimiento (mayo/junio) se realizaron muestreos de suelo. Se tomaron muestras individuales por parcela hasta los 80 cm de profundidad a intervalos de 20 cm. En laboratorio se secaron y tamizaron por malla de 2 mm, determinándose sobre cada una de ellas el fósforo disponible por el Método de Olsen (Sparks et al, 1996). El ensayo prevé el monitoreo de otro conjunto de variables edáficas que no son presentadas en este trabajo. Se muestran aquí los resultados del muestreo de 2018, luego de dos ciclos completos de riego, comparados con los datos iniciales (2016).

La caracterización del agua residual tratada y la de perforación se detalla en la Tabla 1 y los suelos en la Tabla 2.

Tabla 1: Datos analíticos del agua residual y de perforación utilizada en el ensayo

	Agua Residual Tratada (**)	Agua de perforación(*)
pH	7,6	8,2
Conductividad (mS/s)	1,6	1,2
DQO (mgO ₂ /ml)	358	-
Fósforo total (mgP/l)	7,1	-
Nitrógeno total (mgN/L)	25	-
Nitratos mg/L	-	7
RAS	5,5	9

* CFI, 1991. Perforación J11 (41°19'S, 69°31'O) (**) Lab UNC 5/15 y DPA

Tabla: Características generales de suelo del ensayo

Prof. en cm	0-20	20-40	40-60
pH agua (1,2,5)	8,33		
Conductividad eléctrica (1,2,5) (dS/m)	0,1		
% Materia orgánica	0,5		
% Nitrógeno total	0,04		
Rel C/N	7		
Fósforo disponible (Olsen) ppm	2,19		
Capacidad de Campo (%Hg)	9,1	9,6	9,6
Punto de Marchitez Permanente (%Hg)	5,6	5,9	6,1

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de variancia de los datos con el diseño en parcelas divididas y seleccionando la comparación de interés especificada en cada caso. Se utilizó el programa INFOSAT (Di Rienzo et al., 2020)



Figura 1: Vista general del ensayo

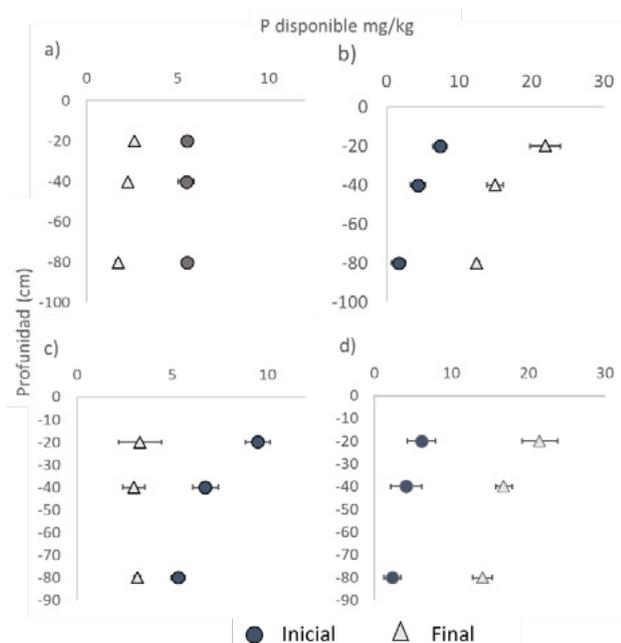
Resultados

En la tabla 3 se muestran los rendimientos de la vegetación que en el caso de la alfalfa fueron levemente superiores en las parcelas regadas con ART, pero se duplicaron en el caso del campo natural.

Tabla 3: Rendimientos promedio de la vegetación. Letras diferentes indican significancia estadística entre tipos de agua para igual vegetación

Agua	Vegetación	2018	
Pozo	Alfalfa	46244 ±	1624 a
	Campo Natural	16766 ±	5274 b
ART	Alfalfa	50579 ±	7936 a
	Campo Natural	42216 ±	7530 a

En los tratamientos regados con agua de pozo los niveles de fósforo disponible descendieron significativamente tanto en el campo natural como en la alfalfa en todas las profundidades muestreadas, lo que probablemente resulta de los altos niveles de extracción resultante de los crecimientos vegetales registrados (Figura 1).



En los tratamientos regados con ART en cambio los niveles de P disponible en suelo se incrementaron significativamente en ambos tipos de vegetación y hasta los 80 cm de profundidad. A pesar de que los niveles de extracción de alfalfa deberían ser mayores, por los mayores rendimientos alcanzados, los valores son semejantes en ambos tipos de vegetación, y descienden en profundidad.

La bibliografía reporta estudios de dinámica de P en sistemas de riego con agua tratada con resultados diversos, dependiendo del tipo de suelo y del manejo del agua de riego. Si el agua es aplicada en función de la demanda, en suelos de texturas medias a finas, los incrementos de P en el mediano plazo son poco significativos y no representan un riesgo para el ambiente (Gutierrez-Gines et al 2020). En suelos de texturas gruesas el potencial de acumulación en profundidad puede ser significativo aun cuando se aplique agua en cantidades restringidas (Bar-Yosef, 2011).

El P es sin duda un elemento crítico a monitorear en este tipo de proyectos ya que la evolución será muy dependiente del sitio y del manejo. Es importante para definir la vida útil de los mismos y en el caso de ser necesario, diseñar estrategias de mitigación de los potenciales impactos en el ambiente.

Referencias

- Bar-Yosef, B. (2011). Phosphorus. In: *Treated wastewater in agriculture*, First Ed., edited by Levy, G; Fine, P and Bar-Tal, A. Blackwell Publishing.
- Guiérrez-Gines, Gutierrez-Gines, M., Mishra, M., McIntyre, C. et al. (2020) Risks and benefits of pasture irrigation using treated municipal effluent : a lysimeter case study, Canterbury, New Zealand. *Environ Sci Pollut Res* 27, 11830–11841
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Pierzynski, G.M.; McDowell, R.W and J.T. Sims (2005) Chemistry, Cycling, and Potential Movement of Inorganic Phosphorus in Soils. In: *Phosphorus: Agriculture and the Environment*, Sims, J.T. and Sharpley, A.N. eds, American Society of Agronomy. Agronomy Monograph no. 46. 1071 p
- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnson C.T. y Sumner M.E. (Eds.). (1996). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Series N° 5*. SSSA, ASA, Madison, Wisconsin, EEUU.
- Weil, N and R. Brady. (2014). *The nature and properties of soils*. Pearson ed.

INDICADORES ESPACIALES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO SOCIOAMBIENTAL ANTE LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS NO-CONVENCIONAL EN VACA MUERTA, ARGENTINA

Davies, Catherin¹; Orrego, Lucia¹; Gonzalez, Agustin¹; Diaz Gomez, Romina²; Mautner, Marina²; Forni, Laura²

¹ Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional del Comahue, Argentina

² SEI: Us Water Group, Stockolm Enviroment Institute, Davis, CA 95616, USA
daviescatherin@gmail.com

Introducción

Las estimaciones de las tendencias de impacto de cambio climático en la región, muestran reducciones en la disponibilidad de los recursos hídricos en la región de Vaca Muerta (Nadal et al., 2017). La expansión de hidrocarburos es una preocupación ya que se espera que la expansión de la producción de shale gas y petróleo resulte en un aumento significativo de las aguas residuales producidas (Forni et al., 2021). Además, existen evidencias de impactos en la salud humana debido a la exposición a enormes emisiones de gases, agua producida o reflujos y los gases de escape del reflujos (Meng 2015). Estudios sobre la exposición por inhalación de gases provenientes de la explotación de hidrocarburos cerca de los yacimientos muestran un mayor riesgo de irritación ocular y dolores de cabeza, síntomas de asma, leucemia infantil aguda, mielógeno agudo, leucemia y mieloma múltiple (Adgate et al., 2014). Los residentes que viven más cerca de un pozo de fracking experimentan un mayor riesgo para la salud humana (Meng 2015). A nivel regional en una zona de Neuquén se ha estimado en 300 metros la mínima de distancia de una locación a centros poblados para que el índice de peligro sea menor a 1 (Mendía 2012, 2016). El análisis de proximidad se propone como una herramienta para calcular el riesgo. Países como EE.UU. y Canadá presentan regulaciones bien establecidas para la protección de los recursos hídricos, pero a menudo son ineficientes, así mismo las regulaciones para proteger los recursos de agua subterránea en la región de Sudáfrica no son eficaces, no se encuentran establecidas claramente y carecen de fiscalización (Esterhuysen et al. 2022). En la región de Vaca Muerta los datos relacionados a la actividad petrolera no son centralizados con limitaciones en datos relacionados a las implicancias al medio ambiente. A través de la revisión de reportes de incidentes ambientales, se evidenció la alta frecuencia de los incidentes. Este estudio tiene como objetivo apoyar la gestión ambiental a través de la identificación de indicadores espaciales para cuantificar el riesgo de la actividad hidrocarburífera en las cuencas hidrográficas de Vaca Muerta. A través de esto, se busca desarrollar una plataforma geoespacial para apoyar una gestión sostenible de los recursos. La región Vaca Muerta se encuentra en el norte de la Patagonia, cubriendo las provincias de Neuquén y Río Negro, así como una porción pequeña de las provincias de Mendoza y La Pampa. El área de estudio incluye las cuencas hidrográficas del río Neuquén y la cuenca de la confluencia con el río Limay, hasta la ciudad de Allen, Río Negro. Estas cuencas hidrográficas poseen desarrollos hidroeléctricos, producción agrícola de 150.000 hectáreas irrigadas de frutas como manzanas y peras, y en menor escala duraznos, ciruelas y uvas para vino. Estas cuencas también proveen agua para consumo urbano e industrial. En la región se estima que la población podría llegar a 1.601.762 en 2050 (Nadal et al., 2017). La mayor parte de esta población recibe agua de zonas donde, donde existen futuras concesiones destinadas a la producción de hidrocarburos (Forni et al., 2021). El recurso hídrico es clave en la región para desarrollar y fomentar el potencial productivo regional ya establecido y

reconocido a nivel nacional e internacional; así como para el desarrollo y expansión social. La extracción de petróleo y su falta de regulación en la región, atenta directamente sobre el ambiente.

Métodos

A partir del uso de imágenes satelitales de Planet y Sistemas de Información Geográfica, se centralizaron y procesaron datos locales con validación a campo. Los indicadores se basan en análisis de proximidad a cuerpos de agua, localidades y canales de riego.

Para diseñar los indicadores espaciales de riesgo ante el fracking, utilizamos diversas fuentes de información geoespacial. Se utilizaron las siguientes capas SIG obtenidas de Instituto Geográfico Nacional (IGN): cuerpos de agua y límites provinciales, localidades del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo de la República Argentina (INDEC). La capa de pozos fue descargada de Secretaría de Energía de la Nación Argentina. Los indicadores espaciales fueron determinados considerando el análisis de proximidad, cuantificando la distancia desde los pozos como áreas de alto riesgo hacia los cuerpos de agua, canales de riego y localidades. Siguiendo el enfoque propuesto por Q.Meng (2015) y Czolowski (2017).

El cálculo de la distancia se llevó a cabo con el software libre QGIS y utilizando la herramienta de la distancia al vecino más cercano, que calcula la distancia entre dos puntos de interés, desde los pozos no convencionales hacia los cuerpos de agua, canales de riego y localidades dentro de la cuenca del Río Negro y Neuquén. Luego, se reclasificaron las distancias según los rangos propuestos de riesgo alto 0 – 1 km.

Resultados

Los resultados indican que existen en la cuenca un número total de pozos no convencional desde el 2015 hasta mayo del 2022 de 2.158. Los pozos se encuentran distribuidos de manera heterogénea concentrados en áreas de las cuencas bajas y altas.

Los resultados preliminares basados en las métricas de riesgo de Q.Meng (2015) sugieren que existen dos localidades (total de 32.390 habitantes) con riesgo ambiental medio, la localidad de Plottier en la provincia de Neuquén y los barrios Calle Ciega 10, Barrio Emergente y Barrio Costa Oeste.

Respecto a las distancias a los canales de riego, se identificó que un distrito de riego presenta riesgo elevado en canales colectores, los cuales drenan 9.000 ha irrigadas. Los resultados fueron almacenados en la plataforma espacial de acceso abierto como base para asegurar el manejo sostenible y el desarrollo de políticas públicas de manejo adaptativo del recurso hídrico.

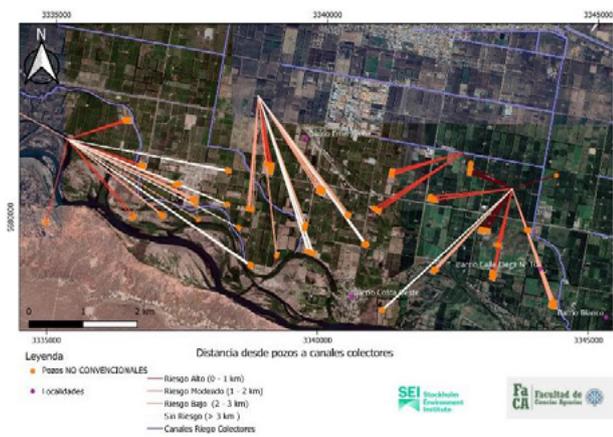
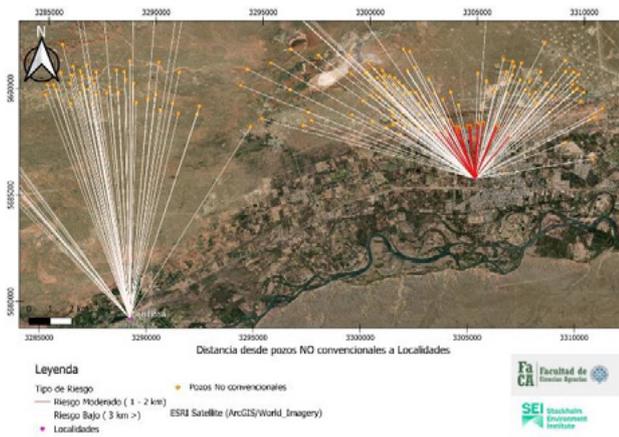


Figura 1

Figura 2.- Distancia desde pozos a canales colectores

Referencias Bibliográficas

Adgate, J. L., Goldstein, B. D., & McKenzie, L. M. (2014). Potential public health hazards, exposures and health effects from unconventional natural gas development. *Environmental science & technology*, 48(15), 8307-8320.

Forni, L., Mautner, M., Lavado, A., Burke, K., & Gomez, R. (2021). *Implicaciones de la producción de shale oil & gas en las áreas de las cuencas hidrográficas de Vaca Muerta, Argentina*. SEI working paper. www.sei.org/publications. Accessed 2 Ago.

Czolowski, E. D., Santoro, R. L., Srebotnjak, T., & Shonkoff, S. B. (2017). Toward consistent methodology to quantify populations in proximity to oil and gas development: a national spatial analysis and review. *Environmental health perspectives*, 125(8), 086004.

Mendía, J., J. C. Roca. (2012). Contaminación hidrocarburífera del suelo en zonas urbanas de la Ciudad de Neuquén. I Jornada Nacional de Ambiente. Problemas ambientales en el ámbito rural y urbano. Ámbito Urbano, pág. 740 pág. 750, FCH-UNICEN-Tandil.

Mendía, J. M., & González, D. A. (2016.) Estimación preliminar del riesgo en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo. III jornadas nacionales de ambiente y I jornadas internacionales de ambiente

Meng, Q. (2015). Spatial analysis of environment and population at risk of natural gas fracking in the state of Pennsylvania, USA.

DISPOSITIVO DE USO DOMÉSTICO PARA LA PROVISIÓN DE AGUA SEGURA

Delgado G.¹, Delgado M.I.^{2,3}

1. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina

2. División Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP). CONICET. La Plata, Argentina.

3. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), La Plata, Argentina.

E-mail: delgadoplata@gmail.com, isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Introducción

El Plan Internacional de Evaluación de Las Tecnologías de Tratamiento de Agua Doméstica, de la Organización Mundial de la Salud (2020), busca garantizar el uso de productos para el tratamiento de agua que protejan a los usuarios de patógenos causantes de enfermedades diarreicas, así como la implementación de la normativa correspondiente para su uso sistemático y correcto.

La exposición a microbios transmitidos por el agua puede causar efectos agudos, crónicos o fatales, lo que resulta en grandes costos de tratamiento asociados. Verhoughstraete et al. (2020) afirman que la ingesta de agua contaminada con microorganismos puede provocar un riesgo inmediato de enfermedad; a diferencia de los contaminantes químicos, que generalmente requieren mayor tiempo de exposición para que se evidencie un efecto adverso de importancia.

Según un informe de UNICEF y la OMS sobre las desigualdades en el acceso al agua, el saneamiento y la higiene, 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, siendo las enfermedades de transmisión hídrica la séptima causa de muerte a nivel mundial. Se estima que 1 de cada 10 personas (785 millones de habitantes) todavía carecen de servicios básicos, incluidos los 144 millones que beben agua que no ha recibido tratamiento.

Relevamientos actuales derivados del Censo Nacional de Argentina 2022 evidencian la problemática del deficiente acceso a servicios básicos como la falta de acceso a agua de red. Recientemente fueron publicados los datos recabados en el primer informe sobre las condiciones habitacionales de las viviendas particulares del Censo 2022 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Como resultado preliminar se obtuvo que en el 85,4% de las viviendas censadas en todo el territorio nacional los ocupantes informaron que el agua utilizada habitualmente para beber y cocinar era agua corriente o de red. Mientras que el restante 14,6% (más de 6,8 millones de personas) no cuenta con dicho servicio.

El acceso al agua salubre, aceptable y accesible para consumo humano está específicamente contemplado en la Ley 14782 de la Provincia de Buenos Aires (2015), que reconoce el acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial para la vida. Sin embargo, según la información recabada en el Censo 2022, la Provincia de Buenos Aires ocupa el sexto lugar dentro de las provincias que poseen un porcentaje inferior a la media nacional presentando sólo el 76,7% de las viviendas con acceso al agua potable, mientras que el 23,3% restante no tienen acceso a una red o bien no están conectadas a la misma.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer, a partir de la difusión en distintos ámbitos del orden científico-tecnológico, una alternativa tecnológica para ser utilizada en viviendas que no posean acceso a agua de red.

Materiales y Métodos

NoBac es un proyecto de triple impacto enfocado en el desarrollo y producción nacional de una Tecnología para la Inclusión Social (TIS), de uso doméstico, para el tratamiento y acondicionamiento de aguas crudas (agua de pozo, agua de lluvia) para consumo humano. La misma es caracterizada dentro de los dispositivos de Punto de Uso y fue específicamente diseñada para abastecer la demanda diaria de agua para consumo a nivel familiar (Fig.1).



Figura 1.- Sistema filtrante NoBac.

Resultados

Este desarrollo cuenta con un diseño que permite efectuar un proceso que comprende etapas de desinfección bacteriológica, microfiltración y decoloración del agua, brindando agua bacteriológicamente segura y organolépticamente aceptable a un costo accesible. El sistema es de carga manual y no requiere de presión externa ni de fuentes de energía para su funcionamiento. Dependiendo los requerimientos a nivel familiar, los dispositivos pueden recargarse varias veces al día. Se cuenta actualmente con dos formatos de dispositivos funcionales de capacidad de 20 litros y de 5 litros, contando con análisis de eficacia en laboratorio y a campo. Los mismos presentan más de 50% de material biobasado.

En lineamiento con las bases de la Atención Primaria en Salud, el proyecto se enfoca en el fortalecimiento de la salud pública, aportando una solución de sencilla aplicación., a fin de contribuir en la prevención de enfermedades de transmisión hídrica. A su vez tiene el potencial de contribuir al cuidado del mediambiente al reducir el uso de envases descartables de agua embotellada (bidones, botellas) a escala familiar.

Conclusiones preliminares

A la fecha este proyecto cuenta con la Declaración de Interés Municipal, Social y Cultural del Consejo Deliberante de la ciudad de La Plata (Decreto N° 416/21). La tecnología fue seleccionada en el Concurso INNOVAR 2021– 16ª Edición, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, MINCYT. Cuenta con el aval de la Secretaría de Salud de la Universidad Nacional de La Plata. En el año 2022 se obtuvo el Certificado de Interés “Bioproducto Argentino”, Categoría Investigación, otorgado por la Secretaría de Alimentos, Bioeconomía y Desarrollo Regional del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Dirección Nacional de Bioeconomía, Ministerio de Economía de la Nación. Proyecto NoBac: Sistema filtrante de carbón activado de cáscara de coco.

Se ha demostrado su potencial para poder dar respuesta a un problema estructural, en zonas periféricas tanto rurales como periurbanas, sin acceso a servicios de agua de red. Se requiere generar alianzas estratégicas con organismos estatales, instituciones y organizaciones vinculadas al área de salud y desarrollo social a nivel nacional.

Referencias

Dirección Nacional de Información Social Estratégica. Ministerio de Desarrollo Social Argentina. (2021). Informe de Gestión, Políticas de Integración Socio Urbana de Barrios Populares Primer semestre 2021. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_integracion_socio_urbana_primer_semestre_2021.pdf

Ley 14782, Senado y Cámara de diputados de la Provincia de Buenos Aires. Artículo 1°. (2015).

<https://normas.gba.gob.ar/documentos/xkDzoFAB.html>

Organización Mundial de la Salud. 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable. Comunicado de prensa, Nueva York | Ginebra. (2019). <https://www.who.int/es/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-%E2%80%93-unicef-who>

Organización Mundial de la Salud. (2020). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoid%20y%20la%20poliomielitis>

Instituto Nacional de Censos y Estadísticas. República Argentina. Resultados provisionales del Censo 2022. (2023).

https://censo.gob.ar/index.php/datos_provisionales/

Verhougstraete, M., Reynolds, K. & Pearce-Walker, J. (2020). Cost-benefit analysis of point-of-use devices for health risks reduction from pathogens in drinking water. *Journal of Water and Health*, 18. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2020.111>

MONITOREO DE HERBICIDAS EN EL SECTOR DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DEL ACUÍFERO NORTE (UGAN) PERTENECIENTE A LA LOCALIDAD DE METILEO

Domke Juan Agustín, Caresani Tossoni Fabrizio Nehuen, Duboscq Diaz Cynthia Belen y Buss Gastón

Secretaría de Recursos Hídricos, La Pampa, Argentina
Santa Rosa, 9 de Julio 280

jdome97@gmail.com, fabrizionct@hotmail.com, belduboscq@gmail.com, gastonbuss@yahoo.com.ar

Introducción

La Unidad de Gestión del Acuífero Norte, aprobada por decreto provincial N°3853/20, engloba 5 localidades de La Pampa: Vértiz, Speluzzi, General Pico, Dorila y Metileo. Se trata de un instrumento de gestión que pretende promover la gobernanza del agua subterránea en la región, mediante diferentes líneas de acción e involucramiento de distintos actores.

El acuífero en esta región está ubicado en un cordón medanoso que actúa como área de recarga preferencial de un reservorio de agua de buena calidad, el cual sustenta las actividades socioeconómicas locales. Siendo la agricultura la principal actividad productiva de la región, y los antecedentes sobre el potencial contaminante de los agroquímicos (Porfiri *et al.*, 2018; Ferrero *et al.*, 2017; Mayoral, 2022; Vázquez-Amabile *et al.*, 2014; Gianelli y Bedmar, 2017), surgió la necesidad de analizar la situación local. En septiembre de 2022 se realizó un monitoreo de herbicidas en el pequeño lente acuífero de la localidad de Metileo, para diagnosticar la situación actual, analizar su relación con las actividades de la zona de influencia, brindar sugerencias sobre el uso responsable de productos fitosanitarios y obtener una metodología validada para replicar en el resto de la Unidad de Gestión.

Materiales y Métodos

Se muestrearon 13 puntos al suroeste de la localidad de Metileo (fig. 1), seleccionados en función de su posición respecto de la batería de pozos de la cual se abastece la localidad y de la caracterización hidroquímica antecedente. En ellos se realizaron mediciones de profundidad del nivel freático, parámetros fisicoquímicos de campo (conductividad eléctrica, pH y temperatura) y toma de muestras de agua para el posterior análisis de su contenido de atrazina, glifosato, AMPA e imazapir.



Figura 1.- Ubicación de los puntos monitoreados en septiembre de 2022. Escala 1:18000.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad de Alimentos Pampeanos (UNLPam-Gobierno de La Pampa), en el marco de un convenio de provisión de servicios entre la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa y dicho laboratorio, producto de un trabajo interdisciplinario en la

Unidad de Gestión del Acuífero Norte.

Para la valoración de calidad del agua para consumo humano, al no haber valores guía provinciales ni nacionales, se utilizaron los valores sugeridos por la Unión Europea para todos los fitosanitarios y sus metabolitos (2020), los de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos para el glifosato (2003), y los valores fijados para atrazina e imazapir en la Guía Australiana para el Agua de consumo (2011).

Resultados

De todos los parámetros analizados, solo se detectó Imazapir, encontrando trazas solo en el punto N° 11 (fig. 2). Si bien la concentración medida (0,51 µg/l) supera el valor de 0,1 µg/l sugerido por la UE (2020), no superó el valor guía de 9000 µg/l de la normativa australiana (NHMRC, 2011). En los demás puntos no se detectaron restos de herbicidas, por lo que no se registró una contaminación extendida en el área.



Figura 2.- Punto N° 11 con trazas de Imazapir y un apreciable mal manejo de envases.

Discusión y Conclusiones

Como principal resultado, se obtuvo una metodología validada para la evaluación de estos elementos en otras áreas del mismo acuífero y en otros acuíferos de la provincia. De manera específica solo se detectaron restos de agroquímicos (Imazapir) en 1 punto de los 13 medidos. Esta contaminación puntual probablemente se debió al mal mantenimiento de la excavación, a la topografía y al uso inadecuado de fitosanitarios. Por lo tanto, se pudo concluir que es indispensable cumplir con las buenas prácticas de uso de productos fitosanitarios, cumplir con las obligaciones establecidas en la LN 27279, la LP 3288 y sus decretos reglamentarios y contar con valores guía locales para calificar la calidad de las aguas.

Referencias Bibliográficas

Decreto Reglamentario 134-18. (2018). “Reglamentación de la Ley N° 27.279”. 19 de febrero de 2018. Argentina

Ferrero, C., Ballester, M., Montoya, J., Azcarate, M., Porfiri, C., Buitron, B., Calderon, A., Tittarelli, F. (2017). “Unidad de Monitoreo Ambiental de la provincia de La Pampa”. En Azcarate P., Porfiri, C. y J. Montoya. (Eds.), *3er Simposio de Malezas y Herbicidas “Productividad y medio ambiente ¿Enfoques a integrar o misión compartida?”* (pp. 52-56). EEA Anguil: INTA.

Gianelli, V., & Bedmar, F. (2017). “Riesgo de lixiviación de Imazapir en tres suelos de Argentina”. *Chileanjournalofagricultural& animal sciences*, 33(3), 241-251.

Ley Nacional 27279. (2016). “Productos Fitosanitarios”. 7 de octubre de 2016. Argentina.

Ley Provincial 1027. (1980). “Régimen de Conservación y uso del Agua Potable”. 1 de octubre de 1980. La Pampa, Argentina.

Ley Provincial 3288. (2020). “Ley de Gestión Integral de Plaguicidas en el Territorio de la provincia de La Pampa”. 21 de diciembre de 2020. La Pampa, Argentina.

Mayoral, E. (2022). “Retención y transporte vertical del glifosato, AMPA, y metsulfurón-metil en el perfil de suelo”. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

NHMRC, NRMCMC. (2011). *AustralianDrinkingWaterGuidelines 6 NationalWaterQuality Management Strategy*. NationalHealth and Medical Research Council, NationalResource Management Ministerial Council, Canberra, Commonwealth of Australia.

Porfiri, C., Montoya, J. C., Azcarate, M. P. (2018). “Monitoreo de la calidad del agua subterránea en relación a la presencia de residuos de herbicidas en el noreste de la provincia de La Pampa”. En Azcarate P., Porfiri, C. y J. Montoya. (Eds.), *3er Simposio de Malezas y Herbicidas “Productividad y medio ambiente ¿Enfoques a integrar o misión compartida?”* (pp. 45-49). EEA Anguil: INTA.

UE. (16 de dic 2020). “Directiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.”

USEPA. (2003). “InterimReregistrationEligibilityDecisionforAtrazine”. UnitedStatesEnvironmentalProtection Agency. Washington, D.C. 285 pp.

Vasquez-Amabile, G., Ricca, A., Rojas, D., Cristos, D., Ortiz De Zarate, M., Pellisier, G., Bosch, N., Lascombes, J., Pons, D., Feler, M., Rodriguez-Vagaria, A., Gaspari, F. (2014). “Análisis de agroquímicos y nitratos en cursos y aguas subterráneas de cuencas rurales del oeste y sudeste de Buenos Aires”. En Azcarate P., Porfiri, C. y J. Montoya. (Eds.), *3er Simposio de Malezas y Herbicidas “Productividad y medio ambiente ¿Enfoques a integrar o misión compartida?”* (pp. 62-70). EEA Anguil: INTA.

MATERIALES ADSORBENTES ECO-AMIGABLES APLICADOS EN REMEDIACIÓN ACUOSA

Dorsch Q., Peña Ramirez G., Gonzalez J., Ollier R., Cano L., Alvarez, V. y Baigorria, E.

Grupo de Materiales Compuestos Termoplásticos, INTEMA (UNMdP-CONICET), Mar del Plata, Argentina.

E-mails: quidors@gmail.com, gipsy.pramirez@intema.gob.ar, jimena.gonzalez@fi.mdp.edu.ar, rominaollier@gmail.com, leonardo.cano@intema.gob.ar, veraalejandraalvarez@gmail.com, esbaigorria@gmail.com.

Introducción

El agua es uno de los principales recursos naturales que presenta una influencia directa en la vida de los organismos y el ambiente. Los diversos impactos sociales, el cambio climático, la creciente industrialización y urbanización generan, como consecuencia de sus actos, la contaminación de las cuencas acuíferas. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, forma parte de uno de los desafíos de salud mundial más urgentes en los próximos 10 años planteados por la OMS y la ONU (Nations 2015; World Health Organization 2019). En Argentina, el acceso humano a agua potable es un derecho fundamental y plenamente exigible. Sin embargo, la población de dos tercios del territorio nacional no tiene acceso a agua potable, es decir, 7 millones de personas, particularmente de áreas rurales, dependen de métodos alternativos para abastecerse de agua potable (Mas, 2020). Si bien, es un país altamente favorecido por sus recursos hídricos, se encuentra en el puesto número 27 de países con mayores reservas de agua dulce en el mundo. La producción nacional de agua potable se estima en alrededor de 380 litros/habitante/día, dependiendo de la región del país (Tolcachier 2015). Entre los contaminantes con mayor incidencia en las matrices acuosas se encuentran los metales pesados, aniones, colorantes y pesticidas (Baigorria, 2021a). Entre varias tecnologías de tratamiento, la adsorción ha demostrado ser efectiva para la eliminación de contaminantes acuosos debido a la disponibilidad de una amplia gama de materiales, simplicidad operativa y, en general, bajo costo (Ollier, 2021). Materiales adsorbentes como nanoarcillas, hidrotalcitas e hidrogeles nanocompuestos son una excelente opción para tal fin.

El presente trabajo tiene como objetivo la preparación y caracterización de adsorbentes eco-amigables, inocuos y sustentables a base de nanoarcillas del tipo bentonita, hidrotalcitas y perlas de hidrogeles poliméricos nanocompuestos, mediante técnicas sencillas y de bajo costo. Los mismos serán testeados como adsorbentes en tratamientos de remoción de diversos contaminantes presentes en aguas (arsénico, pesticidas, aniones, fármacos de uso masivo).

Materiales y métodos

Materiales. Los materiales adsorbentes utilizados son la arcilla natural bentonita sódica (Bent) - Minarmco S.A., Neuquén, Argentina), bentonitas organomodificadas con sales de alquilamonio, OBent (Mansilla et al. 2018), hidróxidos dobles laminares (HDL) y diferentes polímeros como Quitosano (CS), Polivinil alcohol (PVA), Alginato de sodio (AS), pectina (Pec) y Carboximetil celulosa (CMC).

Preparación de los adsorbentes inorgánicos: Algunos de los adsorbentes inorgánicos fueron utilizados en la remoción de contaminantes en forma de polvo con leves purificaciones. Los HDL de Mg y Al fueron obtenidos por el método de coprecipitación (Cano et al. 2023).

Preparación de los hidrogeles: Se sintetizaron diversos hidrogeles eco-amigables de matriz polimérica mediante la metodología de gelación física, como se esquematiza en la Figura 1. Se obtuvieron perlas de hidrogeles biopoliméricos solos y perlas de hidrogeles compuestos con los materiales adsorbentes previamente mencionados.

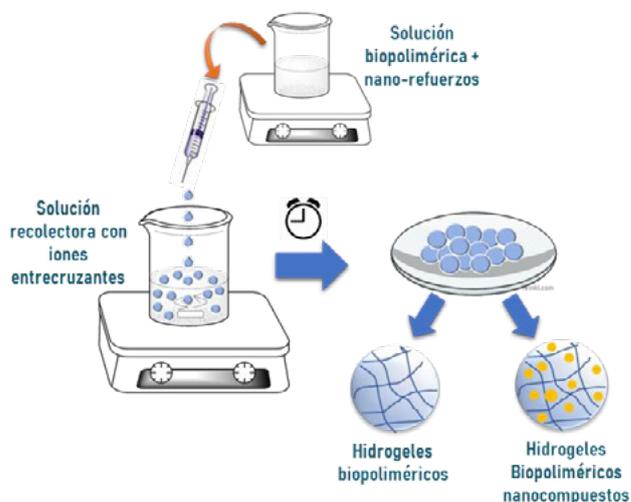


Figura 1. Esquema general de la preparación de las perlas de hidrogeles.

Caracterización de los materiales. Se determinaron las características fisicoquímicas y morfológicas de los materiales desarrollados mediante diversas técnicas: Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido, Análisis Termogravimétrico, Calorimetría Diferencial de Barrido, Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier, entre otras.

Ensayos de remoción de contaminantes acuosos. Se realizaron ensayos de remoción en *batch* utilizando soluciones acuosas con los siguientes contaminantes modelo: arsénico (As), nitratos, pesticidas (como Carbenzadim, Paraquat y un derivado del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)), y productos farmacéuticos de uso masivo como la ciprofloxacina (Cip). En cada ensayo se monitoreó la concentración de contaminantes en el medio, antes y luego del tratamiento con el adsorbente (Co y Ct, respectivamente) mediante técnicas espectrofotométricas. En todos los casos se determinó la eficiencia de remoción:

$$R\% = (Co - Ct) / Co \times 100.$$

Cuantificación de contaminantes acuosos. Los contaminantes estudiados fueron cuantificados utilizando diversas técnicas analíticas. Se utilizó la técnica colorimétrica de azul de molibdeno para la cuantificación de arsénico, mediante mediciones indirectas en espectrofotómetro UV-visible a $\lambda = 660$ nm (Baigorria, 2021b). Para la determinación analítica de concentraciones de carbenzadim se utilizó la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector UV-visible (columna Gemini RP-18 - 5 μ m, 150 mm \times 4.6 mm, Phenomenex, gradiente de elución 39% Acetonitrilo: 0.5% metanol, flujo 1.0 mL/min, $\lambda = 228$ nm) (Baigorria, 2022a). Los pesticidas paraquat y 2,4-D, fueron cuantificado mediante espectroscopía UV-visible a $\lambda = 255$ nm y 296 nm, respectivamente (Baigorria, 2022b). El contenido de nitratos fue determinado mediante medidas espectroscópicas UV-visible a $\lambda = 220$ nm (Cano, 2023). El fármaco ciprofloxacina fue cuantificado a $\lambda = 269$ nm mediante medidas espectroscópicas UV-visible.

Resultados

Se obtuvo una variedad de materiales adsorbentes con diversas propiedades fisicoquímicas. La Tabla 1 resume la totalidad de los materiales y los resultados obtenidos en los tratamientos de remoción de los contaminantes estudiados.

En primer lugar, adsorbentes inorgánicos basados en arcillas aniónicas, como la Bent, y catiónicas, como los HDL, en formato de polvos finos que demostraron excelentes desempeños en la remoción de múltiples contaminantes como As y nitratos (Tabla 1). A su vez, las Bentonitas organofílicas presentaron una gran capacidad de remoción de paraquat y 2,4-D. No obstante, estos materiales presentan una limitación asociada a su tamaño de partícula pequeño y a su difícil manipulación en los tratamientos de remoción de contaminantes.

Por otro lado, se obtuvieron perlas de hidrogeles biopoliméricos con una estructura macroporosa. Cada una de las formulaciones fue optimizada mediante la selección adecuada de distintos parámetros de obtención como las concentraciones de los biopolímeros, la identidad y concentración de iones entrecruzantes en las soluciones recolectoras, y la cantidad y tipo de nano-refuerzo incorporado (Bent, OBent o HDL). Todos estos materiales tienen la ventaja de ser fácilmente manipulables para el futuro diseño de columnas de filtración.

Tabla 1.- Eficiencia de remoción de los materiales para cada uno de los contaminantes testeados

Contaminante objetivo	Material	C ₀	R (%)	Ref.
Nitratos	HDL	100 mg/L	46	(Cano, 2023)
	PVA/AS/HDL	100 mg/L	41	(Cioffi 2020)
	CS	100 mg/L	82	(Cioffi 2020)
Cabendazim	CS	2 mg/L	8	(Baigorria, 2022a)
	CS/OBent	2 mg/L	> 99	(Baigorria, 2022a)
Paraquat	CS	6 mg/L	30	(Baigorria, 2022b)
	CS/OBent	6 mg/L	80	(Baigorria, 2022b)
	OBent	6 mg/L	93	(Baigorria, 2022b)
Arsénico	CS/Bent	1 mg/L	86,5	(Ponce, 2021)
	Bent	1 mg/L	> 99	(Baigorria, 2021b)
2,4-D	OBent	30 mg/L	> 99	*
	CMC/CS/OBent	30 mg/L	85	*
Cip	CS/AS/Pec/Bent	10 mg/L	65	*

*resultados aún no publicados.

C₀ = concentración inicial de contaminante

Conclusiones

Se logró el desarrollo mediante técnicas simples, de nuevos materiales nanocompuestos híbridos biopoliméricos formados con materias primas de bajo costo, sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Los resultados obtenidos hasta el momento

son promisorios y permiten avanzar en el desarrollo de tecnologías eco-amigables para la eliminación de diversos contaminantes presentes en medios acuosos. Presentándose, así como una solución sostenible y rentable para la obtención de agua potable, un problema real de la sociedad.

Referencias

Baigorria E., Galhardi J. A., and Fraceto L. F. (2021a) "Trends in polymers networks applied to the removal of aqueous pollutants: A review". *Journal of Cleaner Production*. Vol. 295. pp. 126451.

Baigorria E., and Fraceto L. F. (2022a) "Novel nanostructured materials based on polymer/organic-clay composite networks for the removal of carbendazim from waters". *Journal of Cleaner Production*. Vol. 331. pp. 129867.

Baigorria E., and Fraceto L. F. (2022b) "Low-cost biosorbent hybrid hydrogels for paraquat remediation of water". *Journal of Water Process Engineering*. Vol. 49. pp. 103088.

Baigorria E., Cano L. A., Sapag K., and Alvarez V. (2021b) "Removal efficiency of As(III) from aqueous solutions using natural and Fe(III) modified bentonites". *Environmental Technology*. Vol. 43 (24). pp. 3728-3741.

Cano L.A., Barrera D., Villarroel Rocha J., and Sapag K. (2023). "Influence of the synthesis method of layered double hydroxides on the textural properties and nitrate removal" *Catalysis Today*, 422, 2023, 114222, ISSN 0920-5861.

Cioffi, F., and Frettiz, F. S (2020) "Desarrollo de un sistema filtrante para la eliminación de nitratos en aguas contaminadas". *Tesis de grado Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina*. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/460>.

Mas, L. I., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., and Costa, J. L. (2020) Pesticides in water sources used for human consumption in the semiarid region of Argentina. *SN Applied Sciences*. Vol. 2 (691). pp. 1-18.

Ollier R. P., Cano L. A., Sanchez L. M., and Alvarez V. A. (2021) "Advanced applications of green materials in nitrates, phosphates and fluorides removal". Book "Advanced Green Materials", Editor(s): Shakeel Ahmed, In Woodhead publishing in Materials, Advanced Green Materials, Woodhead Publishing, Elsevier, pp. 423-459. ISBN 9780128199886.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Asamblea General Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, A/RES/70/1. URL: undocs.org/es/A/RES/70/1.

Ponce J. (2021). "Desarrollo de nanocompuestos matriz polimérica/bentonita para la eliminación de Arsénico en aguas". *Tesis de grado Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina*. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/508>.

Tolcachier A. (2015). Contaminación del agua. *Medicina Ambiental. Biblioteca Virtual IntraMed. Roemmers*. pp. 1-17.

World Health Organization (WHO).(2019). Water sanitation hygiene. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/en/

RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO BLANCO DE MENDOZA: CALIDAD FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y MONITOREO DE ISÓTOPOS ESTABLES

Drovandi Alejandro¹⁻², Zuluaga Jose¹, Cónsoli Daniela¹, Gómez María Laura³, Valdés Analía¹, Dediol Cora¹, Micheletti Agustina¹, Hoke Gregory⁴, Haye Amalia², Martínez Varela Andrés¹, Rodríguez Carlos², Velgas Máximo²

¹Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza, Argentina – ²Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino, Argentina – ³IADIZA-CONICET, Argentina – ⁴Syracuse University, EEUU
E-mail: adrovandi@fca.uncu.edu.ar, Tel. (0261)-4135010

Introducción

La cuenca del Río Blanco, aporta al dique Potrerillos, y éste completa el abastecimiento hídrico de la ciudad de Mendoza. La cuenca del río Blanco posee una escasa población, con un creciente desarrollo turístico, que ha incrementado el consumo de agua, así como los desechos, que se eliminados sin tratamiento. Esto genera residuos sólidos y líquidos contaminantes cuya situación resulta prioritaria de atender y monitorear. A pesar de lo estratégico de su ubicación a nivel de la cuenca Norte de Mendoza, la cuenca del Río Blanco prácticamente no ha sido estudiada en función de la problemática de la contaminación del recurso hídrico en la misma. Si se considera que parte del abastecimiento de agua potable al Gran Mendoza proviene del Río Blanco, correspondiente a un área que viene sufriendo una sostenida urbanización en los últimos años, el problema de la calidad del agua en esta zona se torna un tema crítico. Un equipo de investigadores de la UNCuyo y el INA desde el año 2005, junto al IADIZA-CONICET (2019-2023), vienen monitoreando parámetros físicoquímicos y microbiológicos para brindar información, conocer el estado del sistema y establecer planes de gestión integral. El monitoreo de isótopos estables completará los modelos de flujo para conocer las fuentes de abastecimiento de agua y predecir su funcionamiento.

Metodología

Potrerillos es un asentamiento de antiguas estancias con producción agropecuaria, que se ubica en el valle del Río Mendoza. Existen varios asentamientos a lo largo de la subcuenca del Río Blanco que se han instalado paulatinamente, convirtiendo el área en una zona turística con poca ocupación permanente.

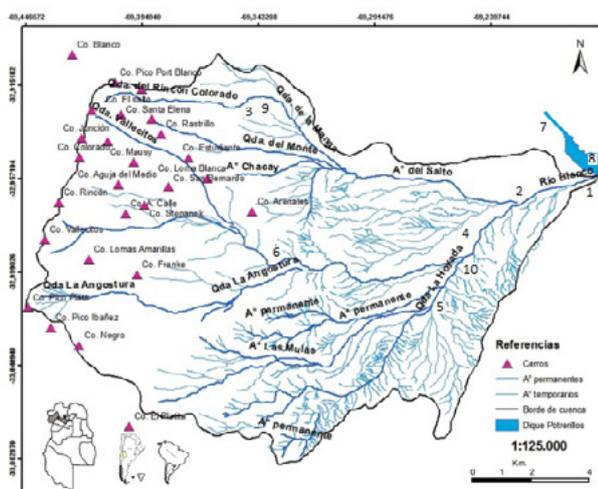


Figura 1.- Área de estudio y puntos de muestreo. Referencias: (1) Río Blanco; (2) El Salto; (3) Alto Manatiales; (4) A° Las Mulas; (5) Alto Las Vegas; (6) Vallecitos; (7) Río Mendoza; (8) Embalse Potrerillos; (9) Pozo Romero; (10) Vertiente Manzanares.

La Figura 1 permite apreciar el área de estudio y los puntos de muestreo establecidos a lo largo de los años de estudio. Cabe mencionar que los monitoreos se vienen realizando desde 2005 por el mismo equipo de investigación, con frecuencias generalmente mensuales o bimestrales, dependiendo del financiamiento y las posibilidades en cada año.

En cada muestreo, se valoran parámetros físicoquímicos como salinidad total mediante la CEA, pH, RAS, Nitratos (método colorimétrico por HACH), fosfatos (método colorimétrico con sulfo-vanado molibdic), temperatura, oxígeno disuelto y una vez al año se determinan iones mayoritarios. Se realizan análisis microbiológicos que incluyen (i) Recuento de Bacterias Aerobias Mesófilas por ml, (ii) Determinación del Número Más Probable de bacteria Coliformes Fecales en 100 ml y (iii) Determinación del Número Más Probable de Coliformes Termo Resistentes en 100 ml. Los análisis se realizaron según los “Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales” (APHA - AWWA – WPCF, 1992)

Los resultados obtenidos con el análisis de las muestras son comparados con los estándares correspondientes de la OMS mediante clasificaciones de peligro salino y sódico de la escala Riverside con modificación de Thorne-Peterson (Thorne y Peterson, 1996), la calificación de Wainstein que se adapta a las aguas de Mendoza (Avellaneda, 2004), normativas del DGI (1996), EPAS (1995), CAA (1998), etc de manera de categorizar el agua para dichos parámetros a nivel de la cuenca.

Resultados y Conclusiones

En las figuras siguientes se representa la variación de algunos parámetros analizados en los últimos 5 años, correspondientes a 20 muestreos de agua realizados.

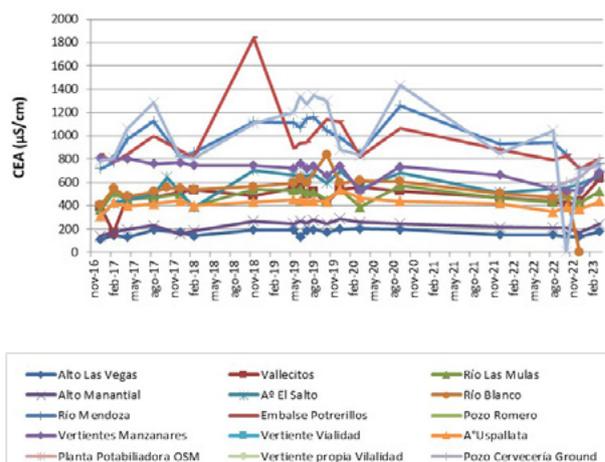


Figura 2.- Variación de la Conductividad eléctrica actual (CEA) y referencias de todos los gráficos siguientes.

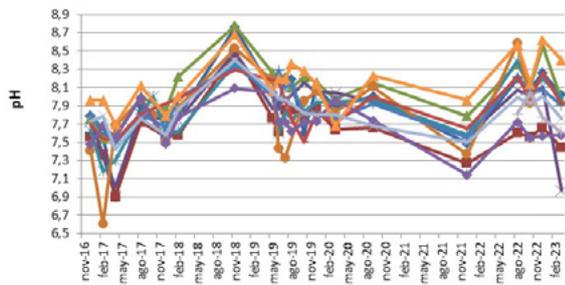


Figura 3.- Variación del pH (referencias en fig. 2).

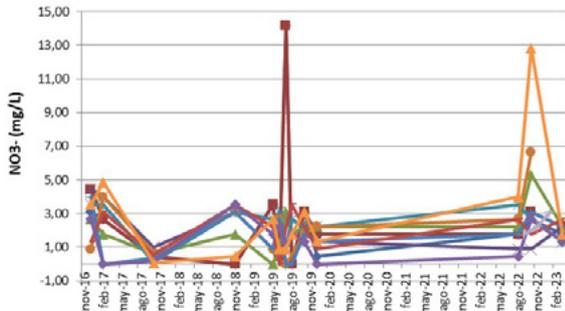


Figura 4.- Variación de los valores de nitatos (referencias en fig. 2).

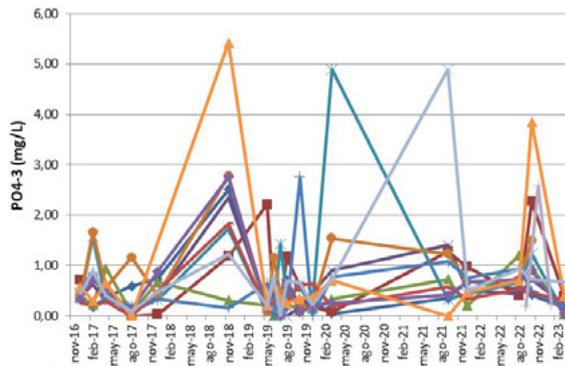


Figura 5.- Variación de los valores de fosfatos (referencias en fig. 2).

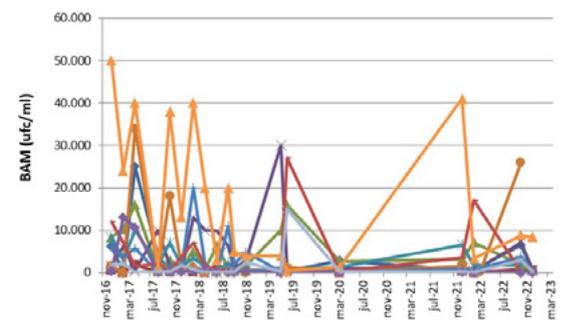


Figura 6.- Recuento de Bacterias Aerobias Mesófilas (referencias en fig. 2).

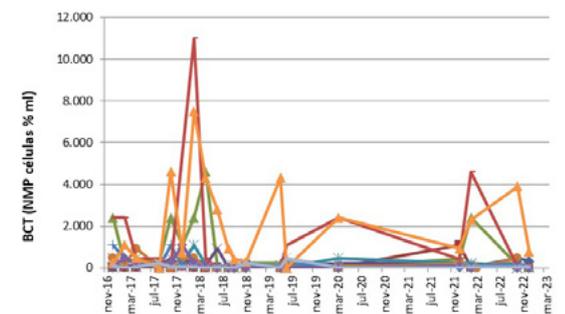


Figura 7.- Número más probable de bacterias Coliformes (referencias en fig. 2).

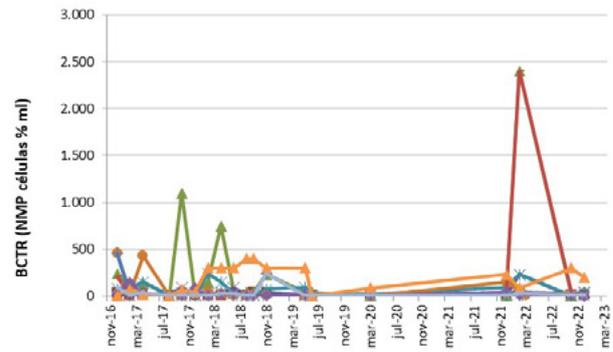


Figura 8.- Número Más Probable de bacteria Coliformes (referencias en fig. 2).

Como conclusión, puede decirse que en general las aguas poseen buena calidad físico-química, aunque se están produciendo cambios negativos en el tiempo. Los resultados microbiológicos manifiestan la exposición del agua a la contaminación en general, la existencia de condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y la presencia de materia orgánica. En ocasiones se sobrepasaron los valores límite para su uso (CAA), con la necesidad de un adecuado tratamiento previo.

Los isotopos estables muestran efectos locales de interacción agua superficial-agua subterránea en la cuenca del río Blanco, con una fuerte componente de nieve proveniente del Cordón del Plata y efectos sobre la composición del agua del dique Potrerillos. La subcuenca del arroyo Uspallata presenta también características locales de interacción agua superficial-agua subterránea sin efectos sobre la química global del río Mendoza.

Referencias

- APHA - AWWA - WPCF (1992) "Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales"; Ediciones Díaz de Santos, S.A.; 17 Ed.
- Avellaneda, M.; Bermejillo, A.; Mastrantonio, L. 2004. Aguas de riego calidad y evaluación de su factibilidad de uso. ISBN: 950-39-0030-1. Editorial EDIUNC. Mendoza, Argentina.
- Código Alimentario Argentino (C.A.A.) (1998) Ediciones Marzochi. Argentina.
- Departamento General de Irrigación (D.G.I.) (1996). "Resolución N° 778. Reglamento general para el control de contaminación hídrica". Mendoza.
- ENTE PROVINCIAL DEL AGUA Y SANEAMIENTO (EPAS) (1995). "Normas de calidad de aguas. Documento preliminar. Mendoza. Argentina".
- Official Methods of Analysis of AOAC International. 1995 16 th Edition – Volumen I.
- Thorne, D. W. Y H. B. Peterson. 1996. Técnica de Riego Fertilidad y Explotación de los Suelos. Editorial Continental. México .D. F.

DETECCIÓN DE CUERPOS DE AGUA CON PRESENCIA DE FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN ARGENTINA, ENTRE ENERO Y ABRIL DE 2023 A PARTIR DE DATOS SATELITALES.

Drozd A. A.¹, Coppo G¹. de Tezanos Pinto P¹.

1. ENVSAT. Calle Perón Juan Pdte. Tte. Gral. 315. Piso 1. Dto. B. Capital Federal, CP 1002 Argentina.
Email: adrozd@envsat.com

Introducción

Las floraciones de cianobacterias en los cuerpos de agua constituyen un grave riesgo para la salud de la población, dado que estos microorganismos son capaces de sintetizar toxinas que afectan a los humanos, tanto por exposición por uso recreativo como así también a través del agua de consumo. La organización Mundial de la Salud (OMS) establece niveles de alerta dados por el riesgo a la exposición por cianobacterias, dependiendo de su biomasa y/o densidad.

Los escenarios de cambio climático y la creciente contaminación de las aguas provocadas por actividades antrópicas pronostican un aumento en la frecuencia de este fenómeno, asociado a la eutrofización, aumento de temperatura y alteraciones en el clima.

Esta problemática ambiental, y sus consecuencias, se ha ido incrementando nivel global, y Argentina no es la excepción, es por ello que en la actualidad es de vital interés monitorear, anticipar y predecir sus ocurrencias.

El monitoreo satelital es una herramienta poderosa para el estudio de detección, frecuencia, duración, extensión y magnitud de las floraciones algales y su vinculación con el clima y el uso del suelo como así también permite estimar los riesgos por exposición. Asimismo, es una herramienta valiosa para obtener datos a escala del ecosistema, tanto de ambientes monitoreados a campo como de aquellos de los que se carece información previa.

En función de lo expuesto, el presente trabajo tiene por objeto aplicar el modelo espectral de cianobacterias de a los cuerpos de agua continentales de la Argentina a efectos de detectar y analizar las zonas de riesgo de floraciones de cianobacterias por provincia.

El modelo propone el uso de algoritmos satelitales para evaluar floraciones algales con diferentes satélites (Drozd et al. 2019), los que fueron desarrollados a partir de la obtención de firmas espectrales a campo y la simulación de diferentes satélites, y ajuste de estos.

Materiales y Métodos

El área de estudio comprendió la República Argentina. Para la misma se procesaron un total de 10072 imágenes Sentinel 2 entre el 1 de enero y 30 de abril de 2023 en la plataforma de Google Earth Engine. El período abarcado incluye casi todo el período estival y coincide con la mayor probabilidad de exposición a floraciones de cianobacterias por uso recreativo- Se aplicaron índices de clorofila (Drozd et al., 2019; Mishra & Mishra, 2012) índices de ficocianina (Sòria-Perpinyà et al., 2020) para Sentinel 2, e indicador de cianobacterias para Sentinel 3 (en 50 imágenes) (Matthews et al., 2020).

A su vez, en función de 120 datos tomados a campo entre los años 2012 – 2022 en distintos cuerpos de agua

del país, se obtuvieron firmas espectrales de las cuales se caracterizaron los comportamientos patrón para dominancia de distintas clases de fitoplancton (diatomeas, clorofíceas, dinoflagelados, cianobacterias). Dichos datos fueron relacionados a través de procesos de "spectral unmixing", obteniéndose modelos de estimación de presencia/ausencia de cianobacterias. Al mismo tiempo, los indicadores de presencia de cianobacterias fueron relacionados con los de densidad de cianobacterias (Drozd. et.al. 2019; Gangi et al., 2021), concentración de clorofila e índice de ficocianina a fin de obtener estimadores de abundancia de cianobacterias. Dichos resultados fueron luego categorizados en función de los rangos de riesgo ante cianobacterias para uso recreativo de la Organización Mundial de la Salud en tres categorías: Nivel 1: Sin Riesgo, Nivel 2: Riesgo Medio, Nivel 3: Riesgo Alto. Posteriormente se seleccionaron aquellos cuerpos de agua mayores a 500 ha, disponible en la base de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y para cada uno de ellos se estimó el índice de riesgo medio para el cuerpo de agua para cada mes analizado.

Las estimaciones obtenidas fueron validadas a través de reportes oficiales de distintas provincias de manera pública o informal al grupo de trabajo, y a través de muestreos a campo. En cuanto a los muestreos a campo, las muestras fueron fijadas en Lugol y llevadas a laboratorio para el recuento de fitoplancton. Estos muestreos aportaron a la calibración del modelo el cual está en etapa de validación.

Resultados

El indicador de presencia de cianobacterias Sentinel 3 presentó una congruencia del 90% con el indicador de cianobacterias Sentinel 2.

El indicador de presencia y abundancia fue congruente con resultados tomados a campo. El 100% de los cuerpos muestreados cuyas floraciones fueron producto de grupos de cianobacterias acumulativas (como *Microcystis spp.* *Dolichospermum spp.*) fué congruente con lo estimado satelitalmente. Aquellos cuerpos de agua con alta abundancia algal de diferentes grupos, entre ellos cianobacterias de eco-estrategia dispersiva en la columna de agua (como *Raphidiosis spp.*, *Planktothrix spp.* etc.), fue el grupo con mayor incertidumbre, existiendo falsos negativos, mientras que el 100% de las detecciones positivas resultó en presencia de cianobacterias. Esta diferencia fue incorporada al modelo de detección y el mismo fue ajustado hasta obtener una detección positiva por parte del satélite en presencia de este grupo de cianobacterias.

Al aplicar el modelo a todo el territorio nacional, se observó que las provincias con mayor porcentaje de abundancia de cianobacterias a partir del Nivel 2 (Riesgo Medio) de la OMS fueron: Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Santiago del Estero, Catamarca, Salta, Tucumán, San Luis, Corrientes, Chaco y Formosa.

Al analizar el porcentaje de cuerpos afectados, un 15% de los cuerpos de agua estudiados presentaron en algún momento un nivel de riesgo igual o superior al Nivel 2 de la OMS (Fig. 1). En enero se observó el menor porcentaje de riesgo Nivel 3 (Riesgo Elevado) (4%), y el mayor porcentaje se estimó en abril con un 9%.

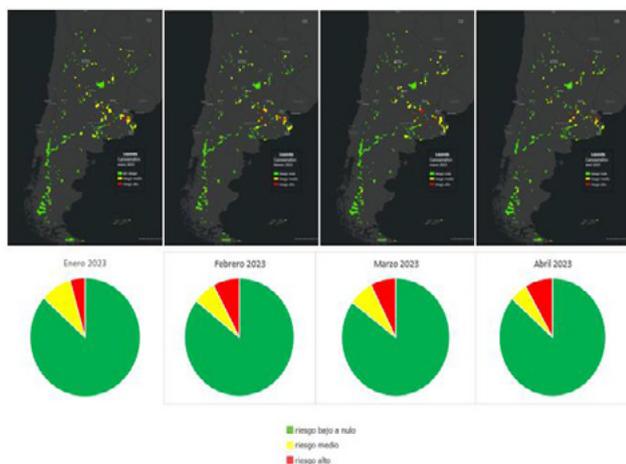


Figura 1.- Niveles de riesgo al uso recreativo del agua por presencia de cianobacterias según rangos de la Organización Mundial de la Salud, estimados satelitalmente

Conclusiones

El monitoreo satelital permitió estimar el riesgo por uso recreativo debido a exposición por floraciones de cianobacterias en cuerpos de agua del país con dimensiones mayores a 500 hectáreas.

Se identificaron las provincias donde la problemática es más severa, incluyendo provincias ubicadas en la zona centro y norte del país.

Al contemplar el país en su totalidad, el porcentaje sin riesgo fue siempre elevado, esto probablemente se relacione con el efecto de la gran cantidad de cuerpos de agua en la Patagonia donde las menores temperaturas y mayores vientos desfavorecen el crecimiento de las cianobacterias.

Las estimaciones obtenidas tanto a través de Sentinel 2 como Sentinel 3 fueron de alta concordancia, lo que permite una mayor versatilidad en la detección de las floraciones de cianobacterias. Además, estos satélites difieren en sus resoluciones espaciales (las utilizadas en este estudio: Sentinel 2, 10/20 m, Sentinel 3, 300m), por lo que es muy relevante que ambos satélites arrojen resultados similares.

Los algoritmos desarrollados fueron capaces de identificar cianobacterias en todos los casos en las que las cianobacterias fueron de tipo acumulativo. Para las especies que forman floraciones dispersivas, el algoritmo en algunos casos arrojó falsos negativos, siendo de destacar que nunca hubieron falsos positivos, y estas diferencias pudieron ser ajustadas en base a los datos de campo. Esto último destaca la utilidad de la correlación microscópica de los organismos.

El trabajo constituye un enorme aporte al conocimiento de la calidad de agua de los cuerpos de agua del país, muchos de los cuales nunca han sido monitoreados ni a campo ni satelitalmente. Al menos el 15% de los cuerpos de agua del país alcanzaron el Nivel 2 de riesgo en los meses relevados.

El monitoreo satelital provee así, información de manera remota, a escala del ecosistema, en tiempo casi real, de manera continua y a bajos costos comparados con el muestreo de campo, lo que la hace una herramienta ideal para el monitoreo, diagnóstico y seguimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a nivel regional.

Referencias

Drozd, A., Tezanos Pinto, P., Fernández, V., Bazzalo, M., Bordet, F., & Ibañez, G. (2019). "Hyperspectral remote sensing monitoring of cyanobacteria blooms in a large South American reservoir: high- and medium-spatial resolution satellite algorithm simulation". *Marine and Freshwater Research, Special Issue*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/MF18429>

Gangi, D., Frau, D., Drozd, A. A., Bordet, F., Andrade, S., Bazzalo, M., & de Tezanos Pinto, P. (2021). "Integrating field and satellite monitoring for assessing environmental risk associated with bacteria in recreational waters of a large reservoir". *Science of the Total Environment*, xxxx, 151714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151714>
Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2023). <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

Matthews, M. W., Bernard, S., Evers-King, H., & Robertson Lain, L. (2020). "Distinguishing cyanobacteria from algae in optically complex inland waters using a hyperspectral radiative transfer inversion algorithm". *Remote Sensing of Environment*, 248(July), 111981. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111981>

Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). "Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters". *Remote Sensing of Environment*, 117, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>

Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Urrego, P., Pereira-Sandoval, M., Ruiz-Verdú, A., Delegido, J., Soria, J. M., & Moreno, J. (2020). "Remote sensing of cyanobacterial blooms in a hypertrophic lagoon (Albufera of València, Eastern Iberian Peninsula) using multitemporal Sentinel-2 images". *Science of the Total Environment*, 698, 134305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134305>

FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTAMINADOS CON FURFURAL

Echeverría, Macarena Celeste^(a), Sandoval, Evangelina^(b), Gauto, Víctor Hugo^(a), Benimeli, Claudia Susana^(b,c).

^(a)Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos (GISTAQ), Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina. macarenacecheverria@gmail.com

victor.gauto@outlook.com

^(b)Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos (PROIMI-CONICET), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. sandovalangelina30@gmail.com

^(c)Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina. cbenimeli@yahoo.com.ar

Introducción

El furfural se utiliza a gran escala en refinerías de petróleo, industrias petroquímicas, papel y cartón y está presente en sus aguas residuales en una proporción limitada de entre 100 y 1.200 mg l⁻¹ (Rashtbari y col., 2022). Este compuesto es considerado un inhibidor de los sistemas biológicos, ya que daña a los microorganismos al reducir las actividades enzimáticas y biológicas, descomponer el ADN e inhibir la síntesis de proteínas y ARN, provocando efectos tóxicos en los sistemas vivos, si es liberado al medio ambiente sin un tratamiento adecuado (Lei y col., 2022; Rashtbari y col., 2022).

Las biopelículas constituyen un modo de crecimiento que permite a los microorganismos sobrevivir, aún en ambientes hostiles, siendo sus fenotipos, fisiología y comportamiento significativamente diferentes a los de sus contrapartes plantónicas (Sonawane y col., 2022). Su mayor nivel de tolerancia a los contaminantes y al estrés ambiental les permite mayor capacidad para degradar una serie de sustancias tóxicas a través de diversas vías catabólicas, removiendo con éxito los contaminantes del suelo y de sistemas líquidos (Biswal y Malik, 2022).

La formación de biopelículas sobre soportes naturales, orgánicos y biocompatibles se utiliza ampliamente en los procesos de biorremediación (Dzionek y col., 2016). Entre estos soportes naturales, se presta especial atención al grupo de materiales vegetales lignocelulósicos. Uno de ellos es la esponja vegetal derivada de la fruta madura y seca de *Luffa aegyptiaca*. Esta esponja está compuesta por una red abierta de fibras que forman el esqueleto del fruto. Diversos autores informan el uso de esponja vegetal (*Luffa aegyptiaca*) como matriz de soporte efectiva para el desarrollo de biopelículas microbianas debido a su alto grado de porosidad, bajo peso específico, propiedades físicas estables, resistencia mecánica, no toxicidad y bajo costo (Dzionek y col., 2020).

En el presente trabajo se evaluó la capacidad de formación de biopelículas por las cepas de actinobacterias *Nocardioopsis* sp. L9 y *Streptomyces* sp. A12 y M7, en cultivos mixtos y puros, sobre esponja vegetal, y la eficiencia de dichas biopelículas para remover furfural en un efluente líquido simulado.

Materiales y Métodos

Para la preparación del soporte vegetal se cortaron cubos de esponja de aproximadamente 0,1 g. Los cubos obtenidos se sumergieron en agua hirviendo durante 30 min, se lavaron minuciosamente con agua destilada, se secaron en horno a 70°C y se almacenaron en desecador. Posteriormente se esterilizaron en autoclave (121 °C; 1,2 atm).

Se realizaron precultivos plantónicos individuales de las actinobacterias *Nocardioopsis* sp. L9 y *Streptomyces* sp. A12 y

M7, a 30°C durante 72h, con agitación de 300 rpm, en medio TSB, con un sistema compuesto por un resorte de acero inoxidable en el interior de los matraces Erlenmeyer para evitar la formación de flóculos, característicos del crecimiento de algunos géneros de actinobacterias. Posteriormente se realizaron suspensiones bacterianas de las cepas puras y en consorcio en medio TSB fresco para alcanzar una D.O_{540 nm}=1, para lo cual se utilizaron 240 µL de precultivo y 1 ml de TSB. Para determinar la influencia del furfural sobre la formación de biofilm, las suspensiones bacterianas se prepararon en ausencia (SF) y en presencia (CF) de 800 mg l⁻¹ de furfural.

El desarrollo de biopelículas se realizó en Erlenmeyers de 250 ml, que contenían aproximadamente 0,5 g de esponja (5 cubos) y 60 ml de la suspensión bacteriana. Los erlenmeyers se incubaron a 30 °C con agitación suave (100rpm). Después de 96 h de incubación, los cubos de esponja colonizados se enjuagaron con solución de NaCl (0,9 %) para eliminar los microorganismos no unidos.

Para verificar la calidad del biofilm formado sobre el soporte, se evaluó su estado fisiológico mediante la determinación de su capacidad para hidrolizar diacetato de fluoresceína (FDA) por esterases inespecíficas producidas por células bacterianas vivas (actividad enzimática total). La medición se realizó añadiendo 1 cubo de esponja colonizado a 8 ml de tampón de fosfato (g l⁻¹: 8 NaCl; 0,2 KCl; 1,5 Na₂HPO₄; 0,2 K₂HPO₄; pH 7,4), se incubó durante 15 min en agitador orbital (130 rpm, 30°C). Posteriormente, se inyectaron de forma lenta 0,1 ml de FDA (4,8 mmol l⁻¹) directamente en el centro del soporte, se incubó en oscuridad en agitador orbital (130 rpm, 30 °C) durante 1 h. La intensidad de la fluorescencia en el líquido se midió espectrofotométricamente a 490 nm. La concentración de fluoresceína liberada se calculó sobre la base de una curva estándar. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Se utilizó esponja vegetal estéril como control abiótico.

La estructura del biofilm formado sobre esponja vegetal se observó mediante microscopio electrónico de barrido JEOL 5800LV, con digitalizador Gatan modeo 788 y equipo de secado a punto crítico Denton Vacuum; perteneciente a la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Para la fijación y preparación de las muestras se empleó la técnica descrita por (Salgado y Galindez, 2023).

Para los ensayos de remoción de furfural utilizando el biofilm desarrollado sobre esponja vegetal, se trabajó en matraces Erlenmeyer color caramelo de 150 ml, en los que se colocaron 30 ml de efluente simulado (831±23 mg l⁻¹ de furfural) y 3 cubos de esponja vegetal colonizada. Se trabajó con sistemas formados por 3 cubos colonizados, cada uno con una cepa pura de actinobacteria (M7-A12-L9) o bien, 3 cubos colonizados con el cultivo mixto de las actinobacterias (Cons), en presencia o ausencia del contaminante. Se incubó a 30°C con agitación (130 rpm). Se incluyeron controles abióticos con esponja vegetal

estéril para determinar la pérdida de furfural por adsorción a dicho soporte.

La cuantificación de furfural se realizó mediante HPLC, empleando un equipo Shimadzu CBM 20A, que cuenta con un detector UV SPD 20, se trabajó a 278 nm de longitud de onda, utilizando una columna de fase inversa C18, a 40°C de temperatura, con una velocidad de flujo de 1 ml min⁻¹, un volumen de inyección de 20 µl y una mezcla de acetonitrilo-agua (17,5:82,5) como fase móvil. Se tomaron muestras de los cultivos al inicio (T0), y a los 1, 3, 5, 7 y 10 días (T1, T3, T5, T7 y T10, respectivamente) de tratamiento.

Resultados

Al evaluar la actividad de hidrólisis de FDA, los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el blanco (esponja estéril sin colonizar) y los tratamientos con esponja colonizada por las cepas *Nocardioopsis* sp. L9 y *Streptomyces* sp. A12 y M7 puras y en consorcio, indicando que las mismas se encuentran biológicamente activas en el biofilm (Figura 1).

El análisis por microscopía electrónica de barrido, a una ampliación de 1500X, permitió observar un elevado desarrollo bacteriano adherido a la superficie de la esponja vegetal con presencia de posibles sustancias poliméricas extracelulares características de la estructura del biofilm (Figura 2). No se observaron diferencias entre las estructuras bacterianas desarrolladas en presencia y en ausencia de furfural.

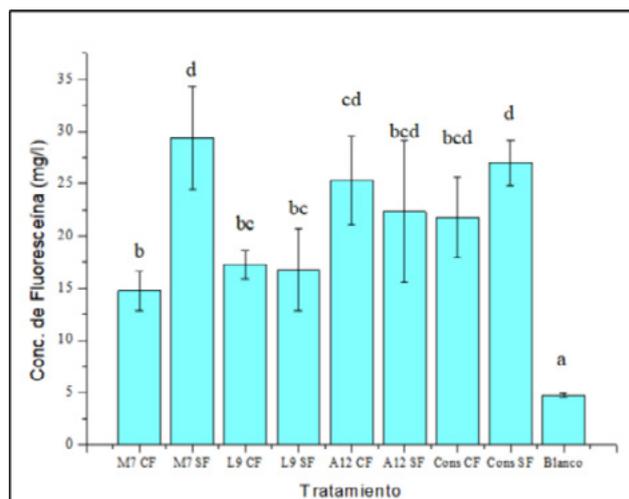


Figura 1.- Medida de la actividad enzimática FDA. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

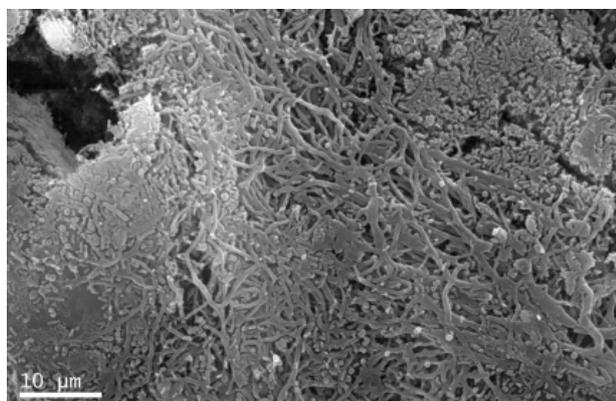


Figura 2.- Desarrollo de biofilm adherido a la superficie de esponja vegetal.

Durante el proceso de biorremediación del efluente simulado contaminado con furfural (831 ± 23 mg l⁻¹) se observaron concentraciones de furfural residual nulas al tercer día de tratamiento cuando se trabajó con biopelículas formadas en ausencia del contaminante (SF) (Figura 3).

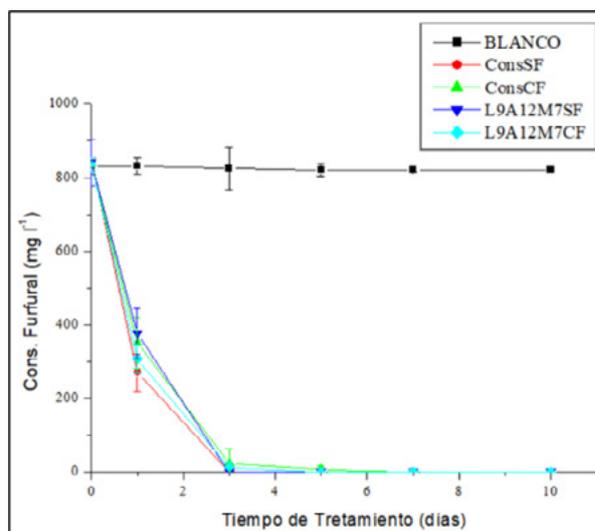


Figura 3.- Remoción de furfural durante los tratamientos con biopelículas formadas sobre esponja vegetal.

Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que el biofilm formado por el cultivo mixto de *Nocardioopsis* sp. L9 y *Streptomyces* sp. A12 y M7, sobre esponja vegetal, representa una herramienta de biorremediación prometedora para el tratamiento de efluentes que contienen furfural.

Referencias Bibliográficas

- Biswal, T., Malik, J.A. (2022). "Role of biofilms in bioremediation". In *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation* (pp. 205-225).
- Dzionek, A., Wojcieszynska, D. and Guzik, U. (2016). "Natural carriers in bioremediation: A review". *Electronic Journal of Biotechnology*, 23, 28-36.
- Dzionek, A., Wojcieszynska, D., Adamczyk, M.H., Guzik, U. (2020). "Enhanced Degradation of Naproxen by Immobilization of *Bacillus thuringiensis* B1 (2015b) on Loofah Sponge". *Molecules*, 25, 872.
- Isaac, P., Alessandrello, M.J., Macedo, A.J., Estévez, M.C. and Ferrero, M.A. (2017). "Pre-exposition to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) enhance biofilm formation and hydrocarbon removal by native multi-species consortium". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1372-1378.
- Lei, T., Liu, Y. and Yang, J. (2022). "Removal of furfural in wastewater by Al-MIL-53 prepared in various solvents". *Inorganic Chemistry Communications*, 140, 109405.
- Rashtbari, Y., Sher, F., Afshin, S., Hamzadeh, A., Ahmadi, S., Azhar, O. and Poureshgh, Y. (2022). "Green synthesis of zero-valent iron nanoparticles and loading effect on activated carbon for furfural adsorption". *Chemosphere*, 287, 132114.
- Salgado, C.R., Galíndez, M.C. (2023). "Fast and simple biological sample preparation and observation procedure for scanning electron microscopy". *Acta Microscópica*, 32(1), 13-26.
- Sonawane, J.M., Rai, A.K., Sharma, M., Tripathi, M. and Prasad, R. (2022). "Microbial biofilms: Recent advances and progress in environmental bioremediation". *Science of The Total Environment*, 153843.

CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS DE PLANTAS POTABILIZADORAS QUE UTILIZAN ÓSMOSIS INVERSA

Yanina El Kassisse¹, Lorena Marquina¹, Marisol Reale¹, Jimena Ávalos¹, Sergio Hanela¹ y Valentina Olmos²

¹Instituto Nacional del Agua. Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua
Autopista Ezeiza-Cañuelas, Tramo Jorge Newbery, km 1,62, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Cátedra de Toxicología y Química Legal
Junín 954, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

E-mail: yelkassisse@ina.gob.ar

Introducción

El arsénico (As) es uno de los contaminantes inorgánicos más tóxicos, presente fundamentalmente en agua subterránea, y detectado en una amplia escala de concentraciones en todo el mundo (RSA, 2018) y la exposición humana a este elemento se debe al consumo de aguas con elevado contenido de As y a la ingesta de alimentos preparados y/o cultivados con esas aguas (Navoni y Olmos, 2013) produciendo serias alteraciones en la salud de la población. En Argentina se estima que la población expuesta al consumo de agua con contenido de As superiores a este valor es de 4.000.000 de habitantes (Litter et al., 2010) siendo una de las mayores extensiones del mundo afectadas por esta problemática. El consumo crónico de agua con concentraciones elevadas de As inorgánico (mayores a 10 µg/L) está asociado a numerosos efectos adversos, muchos de los cuales se manifiestan sobre la piel, dando lugar a la enfermedad conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico o HACRE (Litter et al., 2020).

Su presencia en el agua subterránea compromete enormemente este valioso recurso como fuente segura de suministro de agua de bebida humana, por lo que es necesario gestionar su remoción para poder cumplir con los límites establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA, 2019).

Una de las tecnologías más utilizadas en nuestro país para remover el As del agua subterránea es la ósmosis inversa (OI). Este proceso separa el arsénico del agua tratada y lo concentra en corrientes residuales (agua de rechazo). Para ello se aplica una presión externa que invierte el flujo osmótico natural permitiendo que el agua fluya de una solución salina más concentrada a una más diluida a través de una membrana semipermeable (AWWA, 2007; RSA, 2018) obteniéndose dos clases de efluentes: el agua de permeado (agua de alimentación que pasa a través de la membrana de OI) y agua de rechazo (solución en la cual se concentran las principales sales). La OI tiene una eficiencia de remoción mayor al 90% (EPA, 2000; INTI, 2009) concentrando al As entre 2 y 10 veces en el agua de rechazo. El caudal de rechazo y su composición varían en función del caudal tratado (Fernández Acuña, 2015), de la calidad del agua cruda y del porcentaje de recuperación.

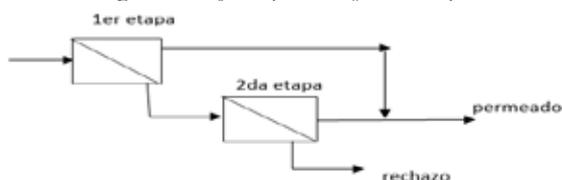


Figura 1.- Módulo de Planta de Ósmosis Inversa

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de arsénico en el agua de rechazo, en el agua cruda (agua subterránea) y agua de permeado en plantas potabilizadoras

administradas por la empresa Aguas Santafesinas que utilizan la tecnología de ósmosis inversa en las localidades de Cañada de Gómez, Firmat, Gálvez, Rafaela y Rufino.

Materiales y métodos

Para la recolección de las muestras se siguieron las metodologías establecidas en las normas IRAM 29012 y en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd edition*. Las muestras se recogieron en envases de plástico de 500 mL lavados previamente con una solución de ácido nítrico al 10% y luego enjuagados con agua destilada. Las muestras se recogieron directamente de las canillas de cada módulo de ósmosis inversa y de la canilla de alimentación. Las muestras se preservaron agregando 1 mL de ácido nítrico concentrado alcanzando un valor de pH de 2, se rotularon apropiadamente para su correcta identificación y se almacenaron en conservadoras provistas con geles refrigerantes para mantenerlas a una temperatura de 4°C hasta su llegada al laboratorio para su análisis.

La cuantificación del arsénico se efectuó según el procedimiento de EPA 7060A. Primero se realizó una digestión de las muestras de agua con el propósito de oxidar la materia orgánica y llevar al arsénico a su máximo estado de oxidación. La cuantificación se realizó mediante atomización electrotrémica utilizando el equipo de absorción atómica marca Shimadzu Modelo AA-7000. El límite de detección de esta metodología es de 2 µg/L y el de cuantificación es de 5 µg/L.

Resultados

Se recolectaron veinticuatro (24) muestras de agua en total. La cantidad de muestras por localidad se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.- Cantidad de muestras recolectadas por localidad

Localidad	Número de muestras de agua		
	Cruda	Rechazo	Permeado
Cañada de Gómez	1	3	3
Firmat	1	2	2
Gálvez	1	1	1
Rufino	1	1	1
Rafaela	2	2	2
Rufino	1	1	1

En Rafaela funcionan dos plantas potabilizadoras, una ubicada en la zona sur (Rafaela S) y otra en la zona norte (Rafaela N) de la ciudad.

En Firmat funciona una sola planta potabilizadora equipada con dos módulos de OI (M1 y M2) alimentados desde una misma fuente de agua cruda. En este caso, se tomaron muestras en los dos módulos, es por ello que se obtuvieron dos resultados diferentes para la concentración de As en el agua de rechazo y de permeado y un único valor para el agua cruda. En el caso de Cañada de Gómez en la planta potabilizadora funcionan tres módulos de OI (M1, M2 y M3).

Los resultados de As en los distintos tipos de aguas mostraron que el As fue no detectable en todas las aguas de permeado. En las aguas crudas las concentraciones de As estuvieron entre 13 y 50 µg/L y en las aguas de rechazo estuvieron entre 34 y 128 µg/L. En la tabla 2 se muestra la concentración de As en cada planta y en cada tipo de agua.

Tabla 2.- Concentración de As (µg/L) y caudales (m³/h) en los distintos tipos de aguas de las plantas potabilizadoras

Planta Potab.	Agua cruda		Agua de rechazo		Agua de permeado	
	Conc. de As [µg/L]	Caudal [m ³ /h]	Conc. de As [µg/L]	Caudal [m ³ /h]	Conc. de As [µg/L]	Caudal [m ³ /h]
Cañada de Gomez M1	27	170	70	63	ND*	107
Cañada de Gomez M2	27	100%	62	37%	ND*	63%
Cañada de Gomez M3	27		79		ND*	
Firmat M1	50	290	125	110	ND*	180
Firmat M2	50	100%	128	38%	ND*	62%
Gálvez	43	225 100%	122	75 25%	ND*	150 75%
Rafaela N.	13	Sin datos	34	Sin datos	ND*	Sin datos
Rafaela S.	22	Sin datos	49	Sin datos	ND*	Sin datos
Rufino	33	130 100%	69	70 54%	ND*	60 46%

*ND: No detectable.

Teniendo en cuenta los valores en la concentración de arsénico en estas aguas se calcularon los porcentajes de remoción y de concentrado.

El porcentaje de remoción de arsénico en todas las plantas de tratamiento fue superior al 90% y la concentración de este metaloide en el agua de rechazo fue entre 2 y 3 veces mayor con respecto a la misma en el agua cruda.

Conclusiones

La gestión adecuada de las corrientes residuales tiene mucha importancia ya que su incorrecta disposición puede generar problemas ambientales alterando la calidad del agua del cuerpo receptor y causando impactos negativos sobre la biota acuática (Corroto et al., 2012). La medición periódica de su concentración permite verificar el cumplimiento de los requerimientos normativos para el vertido o, de ser necesario, gestionarla y disponerla adecuadamente.

Históricamente, el objetivo principal de las plantas de potabilización ha sido abastecer a las poblaciones con agua que no afectara a la salud y, solamente en las últimas décadas, se ha comenzado a prestar atención al tratamiento y disposición de los residuos generados. En nuestro país aún no existe una normativa unificada respecto a los límites de arsénico en líquidos residuales que serán vertidos a cuerpo receptor y dada la característica federal de la legislación, las normativas de vertido y gestión de residuos son propias de cada provincia.

En este trabajo las concentraciones halladas en todas las aguas de rechazo mostraron su cumplimiento con el límite máximo previsto en la Resolución N°1089/82 de Líquidos Residuales de

la Dirección Provincial de Obras Sanitarias - Reglamento para el Vertimiento de Líquidos Residuales de la provincia de Santa Fe cuyo valor es de 500 µg/L.

Referencias

American Water Works Association (AWWA). (2007). Reverse Osmosis and Nanofiltration. 2^o ed. United States.

Código Alimentario Argentino. (2019). Bebidas hídricas, agua y aguas gasificadas. Capítulo XII. [en línea]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf. (Consulta: abril 2023).

Corroto, C.; Pérez Carrera, A.; Calderón, E. y Fernández Cirelli, A. (2012). "Alternativas de Remoción de Arsénico en Aguas de Rechazo de Plantas de Osmosis Inversa". 1er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Argentina, 14 y 15 de junio de 2012.

Fernández Acuña, I. (2015). "Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI QUÍMICA Centro de Investigación y Desarrollo en Química). (2009). Informe "Modelo de Intervención para el Abatimiento de Arsénico en Aguas de Consumo".

Litter, M.I.; Armienta M.A.; Villanueva Estrada, R.E.; Villaamil Lepori, E.C. y Olmos, V. (2020). "Arsenic in Latin America: Part II". *Arsenic in Drinking Water and Food*. pp: 113-182. Ed: Srivastava, S. Springer Nature Singapore.

Litter, M.; Sancha, M. e Ingallinella, M. (2010). "Tecnologías Económicas para el Abatimiento de Arsénico en Aguas". *Iberoarsen*. ISBN: 978-84-96023-74-1.

Navoni, J.A. y Olmos, V. (2013). "Situación en la Argentina. Arsénico: Contaminante natural en agua de consumo humano". *Revista Encrucijadas*, 56: 40-45.

Norma Argentina IRAM 29012-1. (2002). Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Directivas generales para el diseño de programas de muestreo.

Norma Argentina IRAM 29012-2. (1996). Calidad del medio ambiente. Calidad del agua. Muestreo. Parte 2: Directivas generales sobre técnicas.

Norma Argentina IRAM 29012-3. (1998). Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la preservación y manipulación de las muestras.

Norma Argentina IRAM 29012-5. (1998). Calidad del medio ambiente. Calidad del agua. Muestreo. Parte 5: Guía sobre muestreo de agua potable y de aguas utilizadas para el procesamiento de alimentos y bebidas.

Red de Seguridad Alimentaria (RSA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2018). "Arsénico en agua – Informe final". Grupo AD HOC Arsénico en agua. ISSN 2618-2785.

Resolución N°1089/82 de la Dirección Provincial de Obras Sanitarias - Reglamento para el Vertimiento de Líquidos Residuales. [en línea]. Disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/22767/111069/file/Resoluci%C3%B3n%20N%C2%BA%201089-82.pdf>. (Consulta: abril 2023).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd edition.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Technologies and Costs for Removal of Arsenic from Drinking Water. Washington, D.C., United States.

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BASE ANTÁRTICA CONJUNTA PETREL, ARGENTINA

Yanina El Kassisse¹, Marisol Reale¹, Nelson Díaz¹, Lorena Marquina¹, Alicia Duek¹, Guido Casanovas², Roberto Serafini³, Jorge Tarifa⁴ y Alejandro Paz⁵

¹Instituto Nacional del Agua.

²IFES SRL

³Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Química Inorgánica y Analítica

⁴Dirección General de Ingenieros e Infraestructura del Ejército Argentino

⁵Dirección General de Investigación y Desarrollo del Ejército Argentino - Oficial de enlace de I&D COCOANTAR

+54 9 11 62625273

yelkassisse@ina.gob.ar

Introducción

La República Argentina ha detentado históricamente un reclamo de soberanía sobre las islas del Atlántico Sur y un sector del Continente Antártico. Argentina es además uno de los doce países que originalmente suscribieron el Tratado Antártico firmado en Washington en 1959 y ratificado en 1961.

En el Tratado Antártico se detalla expresamente que las actividades a realizar en el continente deberán ser con fines pacíficos, y que se deberá promover la investigación científica con un espíritu de colaboración y cooperación entre las partes.

Argentina cuenta en la actualidad con un total de trece bases antárticas, entre permanentes y temporarias, bajo jurisdicción del Comando Conjunto Antártico (COCOANTAR) y la Dirección Nacional del Antártico (DNA).

Actualmente, la Base Antártica Conjunta Marambio (BAC Marambio) constituye uno de los puntos logísticos más significativos de todo el continente antártico. No obstante, dada su localización en altura y diversos factores meteorológicos, no resulta un lugar de fácil acceso. Es por ello que la ubicación a nivel del mar de la Base Antártica Conjunta Petrel (BAC Petrel) se convierte en una ventaja respecto de la BAC Marambio, por lo que el proyecto estratégico "BAC Petrel" pretende hacer de este lugar una base multimodal, que permita no sólo el acceso de embarcaciones, sino también de distintos tipos de aeronaves.

La disponibilidad de agua y su calidad son factores condicionantes para el desarrollo sostenible de un país, una región o una ciudad. El agua para consumo humano no sólo es imprescindible como agua de bebida, sino que también resulta fundamental para la higiene personal y la preparación de alimentos. Esto adquiere especial relevancia en el continente antártico, donde la disponibilidad de agua potabilizada para consumo de las dotaciones suele ser muy limitada.

El objetivo de este trabajo fue analizar la concentración de diferentes analitos en muestras de agua provenientes de la BAC Petrel, priorizando la evaluación de los procesos de potabilización para su uso como fuente de agua de bebida.

Materiales y métodos

La BAC Petrel se encuentra emplazada sobre el cabo Welchness de la Isla Dundee, la cual tiene una superficie aproximada de 380 km² y se encuentra cubierta casi en su totalidad por el glaciar Rosamaría. La morena frontal del glaciar recorre el extremo oeste de la isla en dirección Norte-Sur y separa al glaciar del cabo Welchness.

Se realizó una campaña de reconocimiento y relevamiento técnico de toda la BAC Petrel, durante febrero de 2023, donde se prestó especial atención a las fuentes actuales y potenciales de provisión de agua de consumo.

Para ello, se realizó un relevamiento de la laguna de ablación

del glaciar Rosamaría, con el objetivo de evaluar si la misma podría constituirse en una fuente de agua para abastecer los requerimientos de la nueva BAC Petrel. Es necesario destacar que por tratarse de un glaciar termoclástico el aprovechamiento del agua proveniente del normal derretimiento del glaciar no debería afectar la estabilidad del mismo.

Adicionalmente se tomó una muestra de agua de una laguna de reducidas dimensiones, emplazada sobre la morena frontal del glaciar Rosamaría y que constituye un reservorio de agua de consumo para la dotación de la base durante la invernada.

Por último, se tomaron muestras del agua de consumo en la Casa Principal, previo a la filtración y luego del proceso de filtración y potabilización al que se somete al agua de bebida.

Las muestras de agua se recogieron en envases de 1,5L, se rotularon apropiadamente para su correcta identificación y se almacenaron en heladera para mantenerlas a una temperatura de 4°C hasta la fecha de partida. Una vez ingresadas al Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables de la Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, las muestras fueron almacenadas en cámara frigorífica a 4°C hasta su análisis. La cuantificación de los parámetros se realizó teniendo en cuenta técnicas estandarizadas (Tabla 1).

Tabla 1.- Determinación efectuada con su técnica analítica utilizada y límite de cuantificación (LC).

DETERMINACIÓN	TÉCNICA ANALÍTICA	LC
pH	SM 23 rd 4500-H ⁺ -B	0,1 UpH
Conductividad	SM 23 rd 2510-B	0,1 uS/cm
Turbidez	SM 23 rd 2130-B	0,1 NTU
Nitrógeno total	TOC Shimadzu LCPN con detector de NT	0,05 mg/L
Carbono orgánico disuelto	SM 23 rd 5310-B	0,50 mg/L
Fósforo total	SM 23 rd 4500-P-B y E	0,03 mg/L
Alcalinidad	SM 23 rd 2320-B	20 mg/L
Cloruros	SM 23 rd 2340-B	4 mg/L
Dureza	SM 23 rd 4500-Cl-B	10 mg/L
Sulfatos	SM 23 rd 4500-SO ₄ ²⁻ -E	10 mg/L
Sólidos Disueltos Totales	SM 23 rd 2540-C	1 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	SM 23 rd 2540-D	1 mg/L
Calcio	EPA 3015 y SM 23 rd 3111 A y B	2,5 mg/L
Magnesio	EPA 3015 y SM 23 rd 3111 A y B	0,10 mg/L
Potasio	EPA 3015 y SM 23 rd 3111 A y B	1,0 mg/L

Las cuantificaciones de Carbono Orgánico Disuelto y de

Nitrógeno total se realizó mediante el equipo marca Shimadzu modelo TOC-L CPN

La cuantificación del Fósforo total se llevó a cabo mediante el espectrofotómetro UV-visible marca Shimadzu modelo UV-2450.

Para realizar las pesadas para las determinaciones de Sólidos Disueltos y Suspendidos totales se utilizó una balanza analítica marca Sartorius modelo CP324 S, una estufa marca Shimadzu modelo STAC N-500K y una mufla marca Shimadzu.

La cuantificación de Calcio, Sodio y Potasio se realizó mediante atomización en la llama utilizando el equipo de absorción atómica marca Shimadzu modelo AA-7000.

Resultados

Se recolectaron veinticuatro (4) muestras de agua en total. En el caso del agua que utilizan actualmente en la base se tomaron dos muestras, una antes y otra posterior al sistema de potabilización que ellos usan.

Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Resultados obtenidos en las distintas muestras

Determinación	Agua de laguna glaciar	Agua de laguna morena	Agua base pre filtrada	Agua base post filtrada
pH (UpH)	6,23	7,34	7,52	7,39
Conductividad (uS/cm)	49,8	933,0	194,6	184,6
Turbidez (NTU)	472	3	27	20
Nitrógeno total (mg/L)	0,2	0,8	0,8	0,3
Carbono orgánico disuelto (mg/L)	0,6	1,9	3,1	1,4
Fósforo total (mg/L)	0,49	0,09	0,09	0,09
Alcalinidad (mg/L)	<20	37	22	22
Cloruros (mg/L)	12	49	48	47
Dureza (mg/L)	28	166	17	17
Sulfatos (mg/L)	109	129	35	35
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	446	6	37	25
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	99	582	144	105
Calcio (mg/L)	<2,50	13,39	2,84	<2,50
Magnesio (mg/L)	6,23	33,9	3,83	3,83
Potasio (mg/L)	13,04	6,60	4,07	3,38

En el agua proveniente de la laguna del glaciar se registró un pH ligeramente ácido, la menor CE y la menor concentración de iones disueltos. No obstante, la concentración de sulfatos fue comparativamente elevada mientras que las concentraciones de Ptotal y de SST fueron las más altas (Tabla 2). Los bajos valores de CE y de iones disueltos resultan compatibles con las características esperadas en el agua de ablación, mientras que los elevados niveles de SST podrían atribuirse al proceso de exaración glaciaria, el cual genera material particulado fino no sedimentable. Esto último resulta especialmente relevante si se evalúa el aprovechamiento de esta laguna como fuente de agua

de consumo, dado que el material fino en suspensión requiere de un procedimiento especial de abatimiento en un programa de potabilización.

En la laguna de la morena se registró un pH próximo a la neutralidad, pero la CE medida fue muy elevada en relación con la laguna del glaciar y con la del agua de consumo. Las concentraciones de sulfato y de magnesio, expresadas en mg/L, fueron marcadamente superiores (4 y 8 veces respectivamente) a las registradas en el agua de consumo de la base (Tabla 2). A esto debe agregarse la observación de elevadas densidades de copépodos calanoideos (microcrustáceos) en el agua de la laguna, lo cual podría representar una limitación de uso y/o requerir de una estrategia específica de potabilización.

La filtración que se realiza en la base no afectó significativamente al pH ni a la CE del agua, lo cual resulta esperable por las características del sistema utilizado. Si bien se observó una disminución de la turbidez de aproximadamente el 25% en el agua filtrada, los valores registrados fueron marcadamente superiores al límite máximo establecido por el Código Alimentario Argentino (3 NTU). Los SST y los SDT disminuyeron con la filtración aproximadamente el 30% y en el caso del COD la disminución fue superior al 50% (Tabla 2). Esto sugiere una correcta operación del sistema de filtración en relación con estos parámetros.

Conclusiones

La operación de las bases argentinas en la Antártida requiere de una provisión adecuada, en cantidad y calidad, de agua para el consumo de las dotaciones.

De evaluarse la utilización del agua de la laguna de la morena, no solamente debería considerarse una estrategia para abatir los SST sino también para el control de los microcrustáceos, los cuales podrían ser vectores de organismos patógenos.

Los parámetros evaluados en la BAC Petrel sugieren que el sistema de tratamiento utilizado se encuentra operando en forma eficiente para disminuir los niveles de parámetros indicadores relevantes, como los SST, SDT y COD. No obstante, el sistema resulta ineficiente en el control de la Turbidez. Resultaría necesario un estudio más exhaustivo y que incluyese análisis microbiológicos.

Referencias

Silva Busso, A. (2009). "Aguas superficiales y subterráneas en el área norte de la Península Antártica". En A. Silva Busso (Ed.), *Contribución al conocimiento de los recursos hídricos en la Península Antártica*. pp. 45-83. Vázquez Mazzini Editores.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd edition

EVALUACIÓN DE DESARROLLOS URBANOS DE BAJO IMPACTO EN OBERÁ MISIONES

Fernandez J. J. ⁽¹⁾⁽²⁾, Rodríguez D. T. ⁽²⁾, Riccardi G. A. ⁽³⁾

(1) Laboratorio de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Argentina.

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

(3) Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura y Consejo de Investigaciones, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Argentina.

E-mail: josejfernandez.24@gmail.com, +54-376-4331678; Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.

Introducción

En áreas urbanas se ha abordado durante mucho tiempo el problema de controlar el exceso de agua superficial mediante la construcción de obras de drenaje, con el objetivo de eliminar eficientemente el agua de lluvia de las zonas urbanas. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que las soluciones más efectivas y convenientes se logran al comprender de manera integral los procesos asociados al flujo de excedentes hídricos.

Bajo este nuevo enfoque, se comenzó a practicar la retención temporal de los excedentes hídricos superficiales para controlar los caudales máximos en nuevas áreas urbanizadas. La regulación de caudales en cuencas urbanas se convirtió en una práctica común en países desarrollados desde principios de la década de 1970, y su implementación se incluyó en los planes de desarrollo de drenaje urbano. Posteriormente, se emprendieron actividades para caracterizar, cuantificar y mitigar los impactos de la urbanización en la calidad del agua de los cuerpos receptores (Ramos Verneiri, 2013).

Los Desarrollos Urbanos de Bajo Impacto (DUBI's) estipulan controlar los excedentes hídricos superficiales desde su fuente, al ir dejando áreas reservadas que minimicen el impacto hidrológico hacia aguas abajo mediante diversos mecanismos. Ello se logra integrando diferentes fusiones hidrológicas, tendientes a mantener la respuesta natural de la cuenca ante el desarrollo urbanístico de regiones naturales.

Burgos (2007) realizó la comparación, mediante modelación hidrológica utilizando el ArHymo, de la respuesta hidrológica de un barrio de viviendas sociales en la zona urbana de Gran Mendoza, utilizando un desarrollo urbano convencional y un DUBI. En una superficie disponible de 8,2 ha, próxima al piedemonte y pendiente media de 5%, se propusieron dos loteos, uno del tipo convencional y un DUBI. El autor concluyó que con la aplicación del DUBI, en lugar del convencional, se lograría una disminución del 25% del presupuesto de infraestructura pública necesario, habiendo reducido la cantidad de lotes en un 13%, además de una reducción en los caudales pico superior al 40% para recurrencias de 2 y 5 años, cercano al 30% para una recurrencia de 50 años.

En la provincia de Misiones se llevan a cabo numerosos Desarrollos Urbanos Convencionales (DUC's) que siguen un patrón de cuadrículas regulares, sin tener en cuenta las características del terreno desde una perspectiva hidroambiental. Esto implica que se pasa por alto la presencia de cursos de agua más pequeños y áreas de humedales, además de no considerar medidas no estructurales para la gestión de los recursos hídricos. Aunque se han iniciado algunos desarrollos urbanos con enfoques hidroambientales en la región, hasta ahora no se han realizado evaluaciones del comportamiento de los mismos.

El objetivo de este estudio es diseñar y evaluar un DUBI y comparar su desempeño con un DUC. Esto se llevará a cabo mediante modelación hidrológica-hidráulica en una subcuenca del Arroyo Lata, ubicada en la ciudad de Oberá, en la región serrana de Misiones. Esta zona se caracteriza por tener una topografía con pendientes pronunciadas (5,2%) y un clima subtropical húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 2000 mm.

Como resultado de la modelación, se encontró que el DUBI logró reducciones del volumen de escurrimiento del agua en un rango del 9% para tormentas de diseño con una recurrencia de 50 años,

y hasta un 24% para tormentas con una recurrencia de 2 años. Además, se observaron reducciones en el caudal pico que variaron entre el 16% y el 50%, respectivamente.

Metodología

1- Lotes a Urbanizar y caracterización de los mismos.

La zona de análisis fue adoptada dentro la cuenca del *Arroyo Lata*, esta se sitúa, como puede observarse en la *Figura 1*, al Norte de la zona urbana del *Municipio de Oberá* de la *Provincia de Misiones*. Desde el punto de cierre, en la confluencia con el *Arroyo Bonito*, la superficie de la cuenca alcanza una extensión 728 ha y una pendiente media del 8,84 %, mientras que la longitud del cauce principal ronda los 4 km y su pendiente media es de 1,85 %. Dicha cuenca es una de las tres que contiene al casco urbano, sin embargo, es la que menor superficie urbana posee y por esto, en los últimos años, el crecimiento de la mancha urbana se va extendiendo sobre esta.

En cuanto a Lotes a Urbanizar, estos se ubican al norte de la cuenca, en cercanía de la divisoria de aguas. Poseen una superficie de aproximadamente 55 ha, y dentro de estos se encuentra una naciente de dicho arroyo, actualmente el uso del suelo de la misma es destinado mayormente para plantaciones de Yerba Mate, Vegetación Autóctona y suelo para pastoreo.

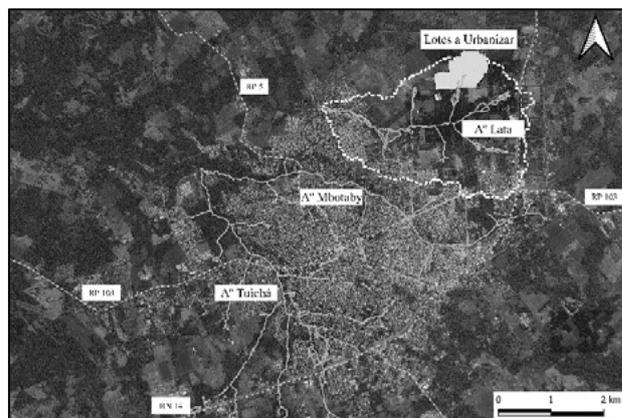


Figura 1.- Ubicación de la Cuenca dentro del Municipio de Oberá.

2- Diseño de las Propuestas

a) *Desarrollo Urbano Convencional (DUC)*: Esta Propuesta, *Figura 2 – Izquierda*, se realizó siguiendo las características de las urbanizaciones de la zona, particularmente las desarrolladas por el Instituto Provincial de Desarrollo Habitacional de la Provincia de Misiones (IPRODHA). Estas están constituidas por manzanas rectangulares en damero, con calles perimetrales a los lados de estas, con el objetivo de maximizar la cantidad de lotes por manzana. En el diseño, se adoptó un tipo de manzana de un barrio (180 viviendas) en cercanías a la zona de estudio.

b) *Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (DUBI)*: Para el diseño de la propuesta, *Figura 2 – Derecha*, se siguieron ciertos criterios: *Las calles* se plantearon siguiendo la topografía del terreno de tal manera que en lo posible la mayor longitud de estas se encuentre paralelas a curvas de nivel contiguas. A su vez, se decidió reducir la longitud de las mismas, planteando circulaciones directas a las viviendas en las manzanas (sin ser perimetrales como es habitual en una urbanización en dameros).

Se adoptó 15 m. como ancho de calles, ya que es el mínimo establecido por la normativa en vigencia, con el objetivo de reducir el área impermeable. *Los lotes*, si bien no están propuestos, las manzanas están definidas de tal manera que el fondo de los lotes sean los divisores de agua de estos. El arroyo, se conservó en su estado actual, tanto en su traza como en su canalización (a cielo abierto, entubado y/o canalización).

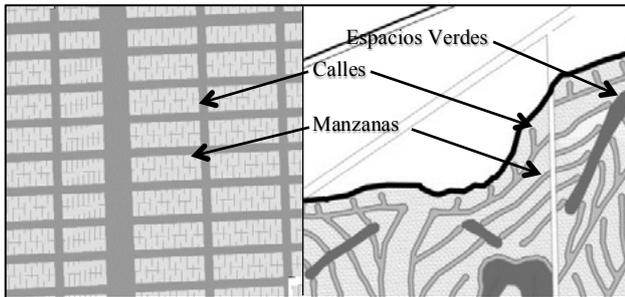


Figura 2.- Izquierda DUC a la Derecha DUBI.

3- Modelación Hidrológica – Hidráulica.

Una vez establecidas las propuestas a analizar, se procedió a realizar la modelación hidrológica-hidráulica, utilizando el software Storm Water Management Model (SWMM) en su versión 5.2, como se observa en la Figura 3. Para ello se determinó:

a) *Tormentas de Diseño*: las tormentas de diseño que se utilizaron para analizar el comportamiento de ambas urbanizaciones, fueron determinadas con las curvas Intensidad - Duración - Recurrencia (IDR) de la serie 1966-1987 de la estación del INTA Cerro Azul desarrollada por Litwin y Franco (1987). Tomando recurrencia de análisis de 2, 5, 10, 20 y 50 años y duración de la tormenta igual al tiempo de concentración T_c para ambos casos.

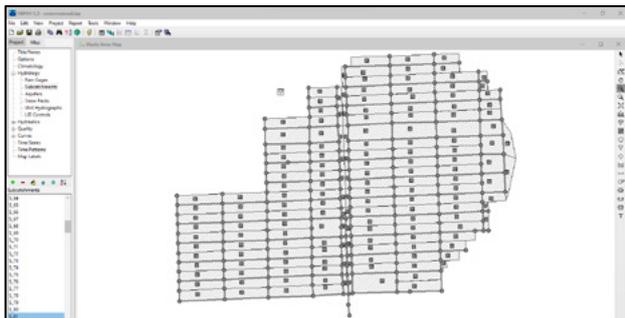


Figura 3.- Modelo en SWMM de DUC.

b) *Características de las urbanizaciones a modelar*: se determinaron las características del uso del suelo con que se evaluaría, asociándolo a un valor de Curva Numero (CN) en condiciones normales de humedad del suelo, tipo de suelo C y un uso de Suelo tipo Residencial (Chow, 1994), dando como resultado un CN para los lotes convencionales de 83 y 77 para los lotes DUBI's. En cuanto a la pendiente media de los lotes, se determinó en función Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina versión 2.1 (IGN, 2021).

Para la construcción del modelo, los *nodos* fueron cargados con sus correspondientes cotas de nivel, siendo aquellos que constituían la traza del arroyo, con un nivel 2m por debajo del expresado en las curvas de nivel. Los *cauces canalizados* fueron cargados según sus dimensiones, su geometría y la rugosidad correspondiente al tipo de material con el cual está construido. En los *cauces naturales* se procedió de la misma forma, delimitando de forma diferenciada el canal y las márgenes, asignándose a cada una la rugosidad correspondiente. Las *calles* se cargaron de igual forma que los cauces y, por último, cada *manzana* está representada por una subcuenca que descarga en el nodo más bajo de su perímetro y en los casos necesarios de ser representados por otra condición, se subdividieron las manzanas en dos o más subcuencas tributarias.

Resultados

Los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica en el punto de cierre de los respectivos escenarios se resumen en las siguientes tablas y Figura 4:

Tabla 1.- Precipitación Total.

Escenarios	T_c [min]	P [mm]				
		R=2	R=5	R=10	R=20	R=50
DUC	45,00	37	43	48	53	59
DUBI	55,00	41	52	54	60	67
Diferencia	18%	10%	16%	11%	11%	11%

Tabla 2.- Caudales Máximos.

Escenarios	Q_{max} [m ³ /s]				
	R=2	R=5	R=10	R=20	R=50
DUC	4,09	4,85	5,41	5,96	6,65
DUBI	2,71	3,67	4,35	4,98	5,72
Diferencia	51%	32%	24%	20%	16%

Tabla 3.- Precipitaciones Netas.

Escenarios	P_{neta} [mm]				
	R=2	R=5	R=10	R=20	R=50
DUC	20	24	27	29	33
DUBI	16	19	22	25	30
Diferencia	24%	22%	19%	17%	9%

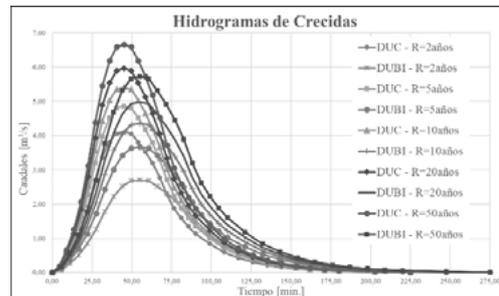


Figura 4.- Caudales de Salida en el Punto de Control.

Conclusiones

Se corrobora que, a partir de los resultados los DUBI's generan un menor impacto hidrológico en comparación a los DUC's, a su vez estos presentan mejores respuestas en eventos de menor recurrencia que en los de mayor recurrencia.

En cuanto a la metodología, la modelación realizada da una respuesta rápida y detallada del comportamiento de los escenarios analizados permitiendo que, a futuro, se pueda seguir incorporando objetos de análisis, como ser las técnicas de desarrollo de bajo impacto LID (en sus siglas en ingles) que están dentro del módulo del software utilizado.

Referencias

Burgos V. (2007). "desarrollo urbano de bajo impacto hidrológico (dubi): pautas hacia una cultura hidrológica en mendoza". Xxi congreso nacional del agua, tucumán. 33p.
 Chow vt et al. (1994). Hidrología aplicada. Ediciones mcgraw-hill, colombia: 583 p.
 Litwin C. y Franco p. (1987). "estudio hidrológico e hidráulico de tributarios del río paraná en el tramo comprendido entre el río iguazú y la sección encarnación-posadas". Informe para la comisión mixta argentino-paraguaya (comip). Caba, 245p.
 Instituto Geografico Nacional (2021). Modelo digital de elevaciones de la república argentina versión 2.1
 Ramos Vernieri F. (2013). "evaluación del desempeño de un dispositivo de detención extendida de espectro completo en distintos escenarios de cuenca urbana del noroeste argentino". Tesis de maestría, fich-unl, santa fe. 179p.
 Rodríguez T. (2018) "estudio de dinámica de los excedentes hidricos superficiales en cuencas urbanas de alta pendiente y sus implicancias en los procesos erosivos. Caso de estudio región urbana de oberá misiones". Tesis doctoral. Fceiya-unr.

USO DE TERMOGRAFÍA COMO INDICADOR DEL ESTADO HÍDRICO DE PLANTAS DE CIRUELA

Florencia Noemí Ferrari¹, Daiana Giselle Mateo², Carlos Marcelo Puertas², Marcos Adrian Montoya¹

¹INTA EEA Mendoza; San Martín 3853, Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina.

²INTA EEA Junín, Mendoza, Argentina.

E-mail: ferrari.florencia@inta.gob.ar

Resumen

El estado de desarrollo de las plantas puede controlarse en tiempo real mediante imágenes multispectrales. La transpiración de las hojas es un proceso biológico que se correlaciona con la temperatura de las mismas. La termografía permite medir la radiación infrarroja emitida por las plantas y visualizar la variación espacial de la temperatura de su superficie. De este modo, esta técnica puede utilizarse para la evaluación continua del estado fisiológico de una planta, e indirectamente detectar el impacto de condiciones de crecimiento en su rendimiento, como por ejemplo el estrés salino o hídrico. El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Junín del INTA, Mendoza. Se trata de un cultivo de *Prunus domestica* var. D'agen implantado en el año 2013 con un diseño experimental de parcelas divididas (5 parcelas) con tres tratamientos de riego con diferente nivel de salinidad (CE agua: 2; 3,5 y 5,5 dS/m). Con los niveles de salinidad se buscó estresar a las plantas y lograr mayor variabilidad en las mediciones. Desde noviembre de 2022 hasta marzo de 2023 se realizaron determinaciones mensuales de potencial hídrico con cámara de presión y se tomaron fotografías térmicas de la canopia de los árboles. Una vez obtenidas las fotografías, se determinó la temperatura máxima, mínima y media de la canopia mediante el uso del software Flir Tools. Y finalmente, se realizó la regresión lineal entre los valores de potencial hídrico y temperatura media de canopia, obteniendo valores estadísticamente significativos ($p < 0,0001$; $R^2 0,80$). La determinación de temperatura de canopia, tomada en grandes extensiones, podría ser utilizada para la toma de decisión en el manejo del riego en tiempo real y optimizar el uso del agua.

Introducción

Una de las formas convencionales para evaluar el estado hídrico de las plantas es mediante el uso de una cámara de presión (Acevedo-Opazo et al. 2008; Girona et al. 2006). Se trata de un método lento y limitado en el número de muestras diarias a evaluar, ya que la medición se realiza sobre hojas individuales (Scholander et al. 1964). Por ello, es difícil utilizar esta metodología para detectar la variación espacial del estado hídrico de un cultivo. Otra metodología, que sí puede ser utilizada para el mapeo de la variación espacial del estado hídrico de cultivos, es el cálculo de índices de espectrales tales como NDVI y OSAVI, a partir de imágenes satelitales. Pero estos índices sólo reflejan el resultado del efecto del estado hídrico de los cultivos acumulado en el tiempo, tal como una respuesta a largo plazo (Baluja et al. 2012); pero no así, la variación espacial del estado hídrico actual de un cultivo. La transpiración de las hojas es un proceso biológico que se correlaciona con la temperatura de las mismas. Cuando una planta transpira, la temperatura foliar disminuye; pero cuando los estomas se cierran, por ejemplo por falta de agua, la temperatura foliar aumenta (Costa et al. 2010). Por lo tanto, la determinación de la temperatura de canopia es una metodología adecuada para conocer el estado hídrico de cultivos (Jackson et al. 1981; Jones et al. 2002; Costa et al. 2010). La termografía de canopia permite medir la radiación infrarroja emitida por las plantas y visualizar la variación espacial de la

temperatura de su superficie. La temperatura de canopia ha sido significativamente relacionada con el potencial hídrico y con la conductancia estomática (Baluja et al. 2012; Grant et al. 2007; Jones et al. 2002; Möller et al. 2007). Esta metodología puede utilizarse para la evaluación continua del estado fisiológico de una planta, e indirectamente detectar el impacto de condiciones de crecimiento en su rendimiento, como por ejemplo el estrés salino o hídrico. Si la cámara térmica es montada en un dron (Poblete et al. 2017), avión o satélite, o bien se toman las fotografías térmicas desde campo (montando la cámara en un cuatriciclo o tractor), se podría monitorear el estado hídrico de los cultivos en tiempo real, y con ello, tomar decisiones de riego a corto plazo (Costa et al. 2010; Jones et al. 1999).

Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria Junín del INTA, Mendoza. Se trata de un cultivo de ciruelo (*Prunus domestica*) var. D'agen implantado en el año 2013 con un diseño experimental de parcelas divididas (5 parcelas) con tres tratamientos de riego con diferente nivel de salinidad (CE agua: 2; 3,5 y 5,5 dS/m). En este caso, con la implementación de los niveles de salinidad se buscó estresar a las plantas y generar mayor variabilidad en las mediciones de potencial hídrico a lo largo de la temporada 2022-2023. Se realizaron determinaciones mensuales de potencial hídrico de tallo desde noviembre 2022 hasta marzo 2023. Para ello se taparon con aluminio 2 hojas de cada árbol, al menos 1 hora antes de la medición. Las determinaciones se realizaron con una cámara de presión (Biocontrol, Argentina). Al mismo tiempo que se midió potencial hídrico en cada árbol, se tomaron fotografías de su canopia con una cámara térmica (FLIR Vue Pro) ubicada sobre un trípode a 1,5 m de altura y a 2 m de distancia de la copa del árbol. Se utilizó un panel blanco de madera, de 2,5 m de alto por 1,5 m ancho ubicado detrás de cada árbol al momento de la toma de fotografías. De esta manera, se pudo separar fácilmente la temperatura del árbol respecto del fondo (Figura 1).

Resultados y conclusión

Una vez obtenidas todas las fotografías, mediante el uso del software Flir Tools, se determinó la temperatura máxima y mínima de la canopia utilizando un filtro de intervalo (Figura 1). Para ello, fue necesario filtrar todos los píxeles que no formaban parte del árbol. El uso del panel, facilitó esta tarea. Una vez que se obtuvieron los valores máximos y mínimos de cada planta se determinó la temperatura media sólo de la canopia mediante el uso de una planilla Excel desarrollada especialmente para este trabajo. Finalmente, se realizó la regresión lineal entre los valores de potencial hídrico (MPa) y temperatura media de canopia (°C), obteniendo valores estadísticamente significativos ($p < 0,0001$; $R^2 0,80$) (Figura 2). La ecuación de regresión obtenida fue la siguiente:

$$P = 0,2258 \times Tm + 4,620 \quad [1]$$

Donde: P = potencial (bar), y Tm = temperatura media (°C). En la

Tabla 1 se pueden observar los coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

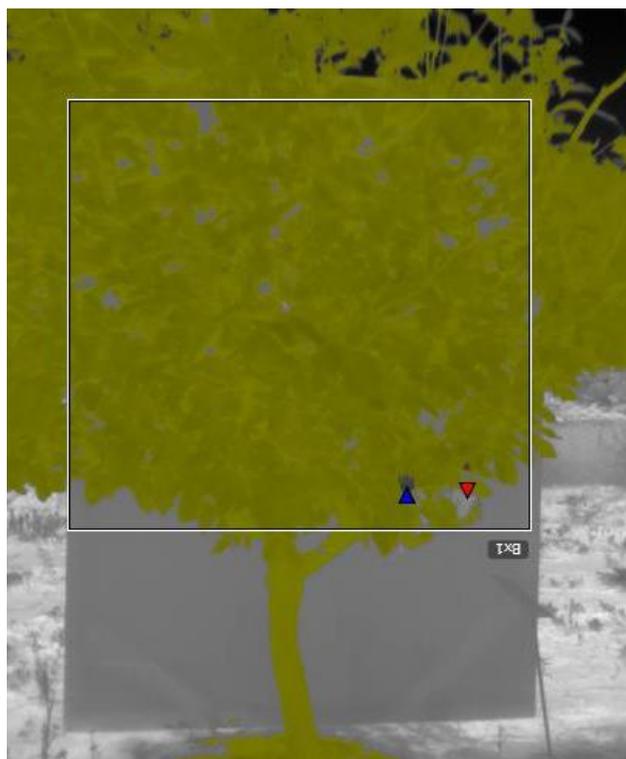


Figura 1.- Fotografía térmica de un árbol de ciruelo, con panel blanco detrás del árbol, luego de la aplicación del filtro correspondiente para determinar temperatura máxima y mínima, y box de selección marcado para determinar la temperatura media de la canopia.

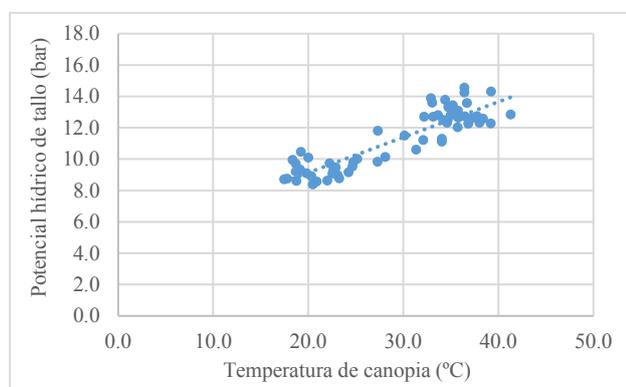


Figura 2.- Regresión lineal entre temperatura media de canopia (°C) y potencial hídrico (bar).

Tabla 1.- Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
Const	4,620	0,44	3,74	5,5	10,52	<0,0001
Tmed	0,2258	0,01	0,2	0,25	15,49	<0,0001

La variación de la temperatura explicó la el 80% de los datos recolectados de potencial hídrico. La intención del equipo de trabajo es repetir la investigación en una nueva temporada de crecimiento, hasta lograr obtener un modelo robusto para la estimación del potencial hídrico de tallo de Ciruelo D’Agen con la temperatura media de canopia. Complementariamente, se siguen investigando diferentes correlaciones entre las variables medidas.

Si la cámara térmica fuera montada en un drone, la determinación de temperatura de canopia se podría realizar en grandes extensiones en poco tiempo, y estos datos podrían ser utilizados para la toma de decisión en el manejo del riego en tiempo real y optimizar así el uso del agua de los cultivos.

Referencias

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Ojeda, H., Ortega-Farias, S., and Guillaume, S. (2008). “Is it possible to assess the spatial variability of vine water status?” *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(4), p. 203-219.
- Baluja, J., Diago, M. P., Balda, P., Zorer, R., Meggio, F., Morales, F., and Tardaguila, J. (2012). “Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV)”, *Irrigation Science*, 30(6), p. 511-522.
- Costa, J. M., Grant, O. M., and Chaves, M. M. (2010). *Use of Thermal Imaging in Viticulture: Current Application and Future Prospects*. S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco, and S. Grando, Dordrecht: Springer Netherlands (pp. 135-150).
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., and Marsal, J. (2006). “The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards”, *Irrigation Science*, 24(2), p. 115-127.
- Grant, O. M., Ochagavía, H., Baluja, J., Diago, M. P., and Tardaguila, J. (2016). “Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine (*Vitis Vinifera* L.)”, *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(1), p. 43-54.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., and Pinter Jr, P. J. (1981). “Canopy temperature as a crop water stress indicator”, *Water Resources Research*, 17(4), p. 1133-1138.
- Jones, H. G. (1999). “Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 95(3), p. 139-149.
- Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., Sousa, C. D., Chaves, M. M., and Grant, O. M. (2002). “Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine”, *Journal of Experimental Botany*, 53(378), p. 2249-2260.
- Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., and Cohen, S. (2007). “Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine”, *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 827-838.
- Poblete, T., Ortega-Farias, S., Moreno, M. A., and Bardeen, M. (2017). “Artificial neural network to predict vine water status spatial variability using multispectral information obtained from an unmanned aerial vehicle (UAV)”, *Sensors*, 17(11), p. 2488-2504.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Hemmingsen, E. A., and Bradstreet, E. D. (1964). “Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 52(1), 119.

PROPUESTA DE PROTOCOLO DE RECUENTO *MICROCYSTIS SP.*

Ferreira, Araceli¹; Romero, Florencia E¹; Rodriguez, María I.²; Juaneda Allende, Micaela¹; Ruiz, Marcia A²; Rodriguez, Andrés¹

¹Laboratorio de Hidráulica, FCEfyN, UNC

² Instituto Nacional del Agua
aracee.f@gmail.com

Introducción

Las floraciones algales nocivas (FAN) son un fenómeno natural debido al desarrollo masivo de microalgas y caracterizado por la dominancia de una o dos especies en detrimento de las demás. A nivel mundial, este fenómeno es cada vez más frecuente y se ve favorecido por los procesos de eutrofización (Klapper, 1991 y Wetzel, 2001; Chorus y Welker, 2021). La ocurrencia de las FAN es una problemática que requiere de un seguimiento continuo, ya que deterioran la calidad del agua con impactos negativos en el ambiente, en la salud humana y en los procesos de potabilización, cuando en cuerpo afectado es una fuente de provisión de agua para consumo. En la provincia de Córdoba el embalse San Roque, es una de las principales fuentes de agua para una población de más de 1 millón de habitantes y en la actualidad posee un grado avanzado de eutrofización (Daga, 2020). Los frecuentes eventos de FAN son producidos principalmente por cianobacterias de los géneros *Dolichospermum sp.* y *Microcystis sp.* El género *Microcystis* es de particular interés por su capacidad de producir microcistina, una hepatotoxina que puede liberarse al medio. La presencia en el agua de esta toxina puede afectar a los consumidores ocasionando problemas gastrointestinales y a largo plazo promover cáncer hepático y de colon.

Por estas razones, el monitoreo periódico de cuerpos de agua sujetos a FAN es de una alta prioridad. Una de las principales variables biológicas asociada a las FAN, es el recuento de fitoplancton. Si bien existen metodologías que permiten estimar su abundancia, este trabajo está exclusivamente enfocado en el recuento de *Microcystis sp.* Este género se presenta en colonias irregulares, tridimensionales y de células muy pequeñas (Giannuzzi, 2009), lo cual dificulta su recuento y le suma un mayor grado de incertidumbre. El presente trabajo tiene por objeto proponer un protocolo de recuento confiable y específico para el género *Microcystis sp.* desarrollado a partir de muestras provenientes del embalse San Roque.

Metodología

Para la presente propuesta metodológica se contemplaron numerosas referencias técnicas de recuento de fitoplancton (Merilout et al, 2017; Karlson et al, 2010; entre otros).

Se recolectaron 28 muestras de agua del embalse San Roque durante los periodos de floración de *Microcystis sp* ocurridos de noviembre del año 2021 a julio del 2022. Las muestras se tomaron superficialmente en las áreas de ingreso a la garganta, presa y desembocadura del arroyo Los Chorrillos. Para mantener vivo el fitoplancton, las mismas se preservaron en laboratorio bajo condiciones de luz y temperatura ambiente.

Para realizar mediciones de la superficie de colonias y recuento celular (cél/mL) se utilizaron la cámara de recuento de Fuchs Rosenthal, microscopio óptico Leica ICC50 W provisto de cámara y software libre Image J (versión 1.50) Con los datos obtenidos de densidad celular se realizó un histograma de distribución, se calcularon sus parámetros estadísticos e intervalo de confianza para su valor medio.

Desarrollo y descripción del procedimiento

Dado el carácter colonial de *Microcystis*, este protocolo establece una unidad estándar de recuento con un número definido de células, que permite su expresión final en cél/mL.

Para obtener el valor estandarizado se analizaron imágenes (a escala) de 51 colonias, obtenidas mediante microscopía óptica, en las que se seleccionaron y midieron áreas cualitativamente más densas, representativas de las colonias tridimensionales. El recuento celular se realizó usando el software Image J (Figura 1). El valor medio de densidad celular obtenido fue 0,0183 cél/ μm^2 con un DS=0,0075. La distribución en función del test de Shapiro Wilks, se asumió normal estimándose un intervalo de confianza del 95% para la media $0,016 < u < 0,020$ (Figura 2). Por cuestiones de practicidad se propone asociar la unidad de recuento a la superficie correspondiente a $\frac{1}{4}$ de la celda de la cámara de Fuchs Rosenthal (Figura 3).

1. Para obtener la densidad en $\frac{1}{4}$ de celda (D_1) se multiplicó su superficie por el valor medio de densidad celular:

$$D_1 = 15625 \mu\text{m}^2 \times 0.0183 \text{ cél}/\mu\text{m}^2 = 286.212 \text{ cél} \quad [1]$$

2. Dado el carácter tridimensional de la colonia y para obtener la densidad de la colonia de tres dimensiones (D_2) se multiplicó D_1 por el número mínimo de estratos observado y por el factor teórico de empaquetamiento para formas esféricas (0.68).

$$D_2 = 286.212 \text{ cél} \times 3 \times 0.68 = 583.873 \text{ cél} \quad [2]$$

Este valor corresponde a la densidad de células promedio estimado para un $\frac{1}{4}$ de celda de la cámara de Fuchs Rosenthal y se utilizará como unidad estándar de recuento (US).

La fórmula [3] corresponde al cálculo final que expresa el recuento en cél/mL (SM 10200, 1995), o en cél/L según corresponda.

$$\text{Cél}/\text{mL} = (\text{US} \times 583.873 / \text{A} \times \text{D} \times \text{F}) \times (1000 / \text{K}) \quad [3]$$

Donde:

US: unidad estándar de recuento

A: área del campo (mm^2)

D: profundidad del campo (mm)

F: n° de campos contados

K: factor de concentración=Vol.muestra/Vol.concentrado).

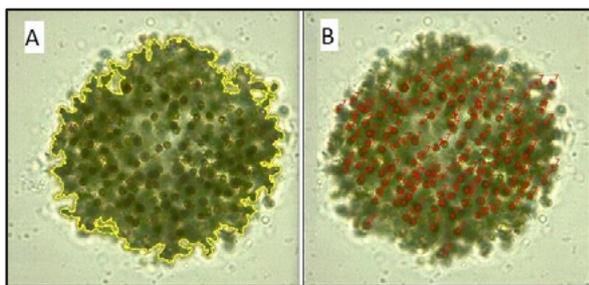


Figura 1.- (A) Recorte del área de mayor densidad celular en la colonia. (B) Recuento de células del área definida.

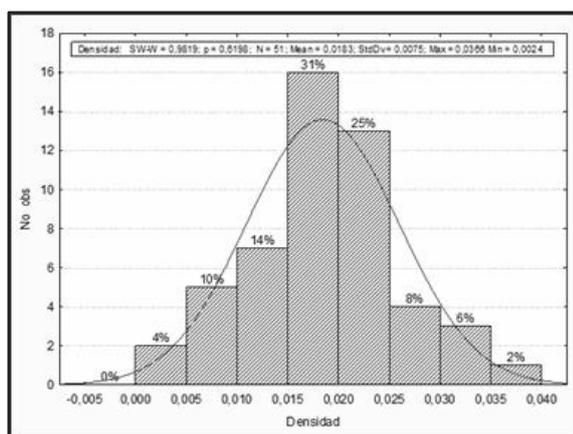


Figura 2.- Histograma de la variable densidad celular $0.0183 \text{cél}/\mu\text{m}^2$ (Shapiro Wilks $p=0,6198$. Valor medio= $0.018,3$ DS= 0.0075)

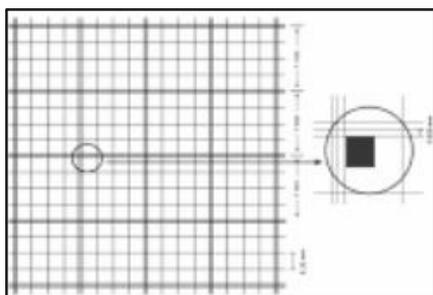


Figura 3. Cuadrícula de la cámara de recuento Fuchs Rosenthal con 16 campos y cada uno de ellos con 16 celdas. Se señala el área que representa $\frac{1}{4}$ de la celda equivalente a $15625 \mu\text{m}^2$.

Cálculo de biovolumen

Estimar el fitoplancton en unidades de volumen por volumen, resulta más ventajoso ya que permite el análisis y la comparación de taxones individuales o de las especies en una comunidad sobre la base de la biomasa (SM 10200, 1995).

En las colonias analizadas para el cálculo de la unidad de recuento, se midió el diámetro de 50 células al azar en cada una de las colonias. Se obtuvo un valor medio y DS del diámetro celular. Para obtener el valor de su biovolumen, la forma de la célula de *Microcystis sp* se asimila a la de una esfera (Hillebrand et. al, 1999).

Se obtuvo un promedio de diámetro celular de $5.33 \mu\text{m}$ y DS 0.6 . El biovolumen calculado para cada célula fue de $79.47 \mu\text{m}^3$. El

biovolumen para la unidad estándar de recuento $\frac{1}{4}$ de celda fue $46401.78 \mu\text{m}^3$.

El valor obtenido de biovolumen no varió notablemente según la bibliografía consultada (SM 10200, 1995; Alcántara, et.al., 2018; Palacio Gómez, et.al., 2019; Hillebrand, 1999).

Consideraciones finales

La metodología propuesta es factible de aplicar a ensayos con cultivos *Microcystis*, donde se requiere una mayor exactitud en el seguimiento de sus variaciones de abundancia.

Los resultados obtenidos se consideraron un aporte importante en para el monitoreo y la cuantificación de especies coloniales de fitoplancton de interés sanitaria como son las cianobacterias coloniales en especial de *Microcystis sp*.

Referencias

Alcántara, I; Piccini, C; Segura, AM; Deus, S; González, C; Martínez de la Escalera, G y Kruk, C. (2018). "Improved biovolume estimation of *Microcystis aeruginosa* colonies: A statistical approach". Journal of Microbiological Methods, 151, p20-27.

APHA/AWWA/WPCF (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Ed. American Public Health Association. Washington D.C

Chorus, I. Welker, M. (2021). *Toxic cyanobacteria in Water*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH.

Giannuzzi, L. (2009). *Cianobacterias y cianotoxinas. Identificación, Toxicología, Monitoreo y Evaluación de Riesgo*. Moglia S.R.L. Buenos Aires.

Hillebrand, H; Dürselen, C.-D; Kirschtel, D; Pollinger, U y Zohary, T. (1999). Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. Journal of Phycology 35, p403-424.

Karlson, B; Cusack, C; y Bresnan, E. (2010). *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. UNESCO.Intergovernmental Oceanographic Commission.

Klapper, H. (1991) *Control of Eutrophication in Inland Waters*, Ellis Horwood. Series Water and Wastewater Technology, NY.

Merilouto, J., Spoo, L. & Codd, GA. (2017). *Handbook of cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis*. John Wiley & Sons, Ltd.

Palacio Gómez, K; Hernández Atilano, E; Peñuela Mesa, G; Aguirre Ramírez, N y Vélez Macías, F. (2019). "Características morfológicas de las cianobacterias y fitoplancton dominante en embalses de Antioquia: un enfoque basado en el biovolumen". Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(2).

Rico, E y El Anjoumi, A. (2013). "Evaluación del biovolumen fitoplanctónico en lagos y humedales interiores de la Comunidad Autónoma del País Vasco y determinación de condiciones de referencia". Informe de la Fundación Universidad Autónoma de Madrid-Agencia Vasca del Agua. 43 pp.

Rasband, W. (1987). [Image J] Disponible en National Institutes of Health: <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>

Rodríguez, MI. Busso, F. Bustamante, MA. Ruibal Conti, AL. Ruiz, M. y Angelaccio, CM. (2005). "Floraciones de algas en el Embalse San Roque (Córdoba)". XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Mendoza.

Wetzel, R. (2001) *Limnology, Lake and River Ecosystems*, 3rd edition. Academic Press, USA

PRIMER FLORACIÓN DE CYANOBACTERIA EN EL RÍO BERMEJO (ARGENTINA) POSIBLES CAUSAS Y CONSECUENCIAS

Forastier Marina E¹⁻², Raffault Nancy³

1- Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL-CONICET-UNNE) Ruta 5 km 2,5. Corrientes Capital-Argentina
2-Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura (FaCENA-UNNE), Av. Libertad 5300. Corrientes Capital-Argentina
3- Administración Provincial del Agua (APA) Ruta Avellaneda, km 12,5. Resistencia, Chaco. Argentina.
marinaforastier@gmail.com; mforastier@exa.unne.edu.ar

Introducción

El río Bermejo tiene una longitud de 1.450 km y drena una cuenca de 135.000 km². Sus fuentes se ubican en la Cordillera de los Andes orientales, en Bolivia y Argentina, y en la Puna Argentina (Iriondo & Paira 2007). La Cuenca Alta presenta altitudes entre 300 y 5000 m y temperaturas extremas entre -15° y 46°C. Los procesos orográficos locales determinan intensas precipitaciones estivales (600-1000 mm anuales). En la Cuenca Baja, el río discurre por la llanura chaco-pampeana a lo largo de 800 km, sin recibir afluentes hasta desembocar en el río Paraguay (Zalocar et al. 2014).

El fitoplancton del río Bermejo, en la década del 70' estaba constituido principalmente por Bacillariophyceae y Chlorophyceae, el taxa Cyanobacteria se desarrollaba durante periodos de aguas bajas y altas temperaturas. Las especies citadas más relevantes son *Raphidiopsis raciborskii*, *Dolichospermum* sp. y *Anabaenopsis arnoldii* (Zalocar et al. 2014). El taxa Cyanobacteria se caracteriza por ser organismos procariontes potenciales productores de cianotoxinas y formadores de floraciones algales, la cual afecta la salud de los organismos que utilizan el cuerpo de agua, por este motivo su importancia ecológica, económica y sanitaria.

Durante finales del mes de noviembre y parte del mes de diciembre del año 2022, el río Bermejo cambio su coloración característica marrón a verde azulada. Por este motivo el objetivo de este trabajo fue analizar la composición taxonómica y densidad de Cyanobacteria durante el evento de la floración.

Palabras claves: Fitoplancton; Eutrofización

Materiales y Métodos

Se analizó la composición del fitoplancton en el cauce del río Bermejo en Puerto Lavalle, (60° 7'44.09"O; 25°39'7.09"S), Chaco (Fig.1), el día 24/11/2023 y el 14/12/2023.

Para los análisis cualitativos las muestras fueron tomadas con una red de plancton (20 µm), una de ellas fue fijada in situ con formaldehído al 4 %, y la otra fue transportada refrigerada hasta el laboratorio para su observación al microscopio óptico.

Para el estudio cualitativo las muestras se obtuvieron superficialmente con botellas de 500 ml, fueron fijadas con solución de Lugol acético y transportadas al laboratorio para su posterior observación. Los análisis cuantitativos se realizaron en microscopio invertido Zeiss (Utermöhl, 1958; Lund et al 1958) con una magnificación de 400X, utilizando cámaras de sedimentación de 2 ml. Para los estudios taxonómicos se utilizó un microscopio Zeiss de luz. Para la determinación taxonómica se siguió el criterio de Komárek (2013).

Se determinaron in situ (14-12-22) la temperatura ambiente (°C) y del agua (°C), conductividad eléctrica (µS.cm⁻¹), turbidez, pH (U), ORP, oxígeno disuelto (mg.L) y Sólidos Disueltos Totales(mg.L), registrándose además las coordenadas de las estaciones de muestreo por medio de un Sistema de Posicionamiento Georeferencial (GPS) y condiciones climatológicas del día de muestreo. Los parámetros de campo, se realizaron con el equipo multiparamétrico marca HORIBA U50.

Los valores alturas hidrométricas fueron tomados del Sistema Nacional de Información Hídrica.

Se tomaron y enviaron muestras de agua al Laboratorio de Aguas de la Administración Provincial del Agua (APA), Chaco, para realizar análisis de cianotoxinas.

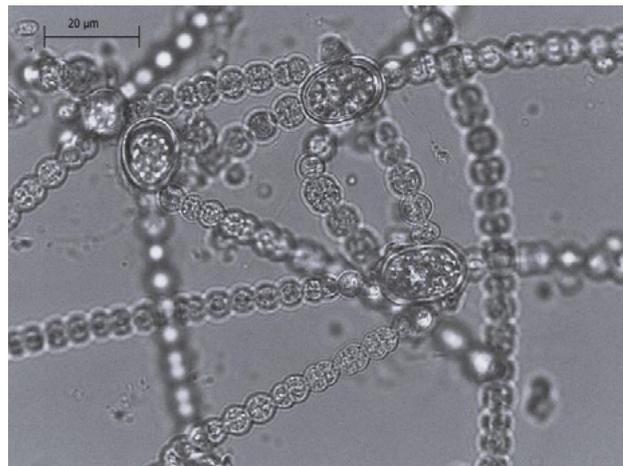


Figura 1.- Cyanobacteria: *Dolichospermum planctonicum* en el río Bermejo (Chaco- Argentina).

Resultados

El fitoplancton del río Bermejo en el sitio de muestreo estuvo constituido exclusivamente por organismos pertenecientes al taxa Cyanobacteria, *Dolichospermum planctonicum* (Fig.1), fue la cianobacteria (Fig.2) dominante, con una densidad que oscilo entre 224090 cél.ml⁻¹ (24/11/22) y 107625 cél.ml⁻¹ (14/12/22); seguida por *Raphidiopsis raciborskii* con una densidad de 250 Ind.ml⁻¹, ambas especies en sus filamentos presentaban desarrollo de heterocitos y acinetos.

Esta floración de cianobacterias estuvo caracterizada por condiciones ambientales extremas debido a la alta temperatura ambiental (30°C) y del agua (29, 7°C), pH valores de 9 unidades, y baja turbidez del agua (Tabla 1).

Teniendo en cuenta la información suministrada por el Sistema Nacional de Información Hídrica, la altura hidrométrica (El Colorado, 100 km aguas abajo del sitio de muestreo), fue de 1.46 m (24-11-22) y de 1,16 m (14-12-22).

Los análisis de cianotoxinas fueron negativos para presencia de microcistina y saxitoxinas en este sitio de muestreo.

Tabla 1.- Características Físicas del río Bermejo Chaco.

Río Bermejo- Puerto Lavalle	14/12/2022
Temperatura ambiente[°C]	30
Temperatura del agua [°C]	29,48
Turbidez [NTU]	98,2
pH [UpH]	9,01
Conductividad eléctrica [µS/cm]	752
Oxígeno disuelto [Mg/l]	7,92

Sólidos Disueltos Totales (SDT) [Mg/l]	482
---	-----

Discusión

Nuestros resultados demuestran el primer registro de floración de cianobacterias, en el río Bermejo (Argentina). Esta floración estuvo caracterizada por las especies *D. planctonicum* y *R. raciborskii*. Especies formadoras de floraciones en cuerpos de agua con características eutróficas y potenciales productoras de Cianotoxinas.

El río Bermejo, por sus características hidrológicas y sedimentológicas era poco probable pensar en la ocurrencia de floraciones algales; ya que posee características particulares en la hidrología y composición fitoplanctónica; con respecto a la hidrología, posee un patrón de aguas bajas que ocurre entre Mayo y Diciembre, con valores de mínimos de descarga de $40 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$, y un periodo de aguas altas entre los meses de Enero a Abril con una valor de descarga de $2000 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$. Este régimen hidrológico sigue los patrones de precipitación (Zalocar et al., 2014). El periodo lluvioso entre los meses de noviembre a abril, los cuales concentran el 85 % del total de la precipitación anual, mientras que la época de estiaje (Mayo a Octubre) posee una precipitación inferior al 15% del total anual, siendo el comportamiento típico de los ríos de regiones tropicales. Los índices de erosión de la cuenca y de transporte de sedimentos del río Bermejo se ubican entre los más altos del mundo.

Sin embargo, en los últimos años, los patrones y valores hidrológicos comenzaron a cambiar, desde el año 2000, el mayor estiaje se presentó durante el año 2013, sin embargo los años 2021 y 2022 se encuentran en el tercer y segundo puesto respectivamente, respecto de los mínimos absolutos, pero con el agravante fue que durante el año 2022 los niveles hidrométricos mantuvieron su tendencia bajante durante todo el mes de noviembre (COREBE, 2022). La altura hidrométrica del año 2022 fue 2 metros inferior comparada con las alturas hidrométricas el año 2021, para la misma fecha y sitio de muestreo.

El año 2022 comenzó con condiciones extremadamente cálidas, con un mes de enero que se destacó por registrar una de las peores olas de calor que haya afectado al país en su historia, sin embargo el año 2022 fue el más frío dentro de la última década (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional Argentino), teniendo en cuenta la cuenca del río Bermejo durante los meses de Noviembre y diciembre de 2022 las temperaturas altas oscilando entre 42 y 32 °C.

Debido a un gran periodo de estiaje, los bajos niveles hidrométricos, la baja turbidez del agua de 98,2 NTU, y las altas temperaturas, favorecieron al aumento en densidad de cianobacterias que ya eran parte del fitoplancton natural del río Bermejo.

Moraña 2013, destaca que existen variaciones en las características físicas y químicas y abundancia del fitoplancton a lo largo del ciclo hidrológico. Teniendo en cuenta que la proporción de diatomeas y cianobacterias aumentan durante el periodo de bajo caudal (Moraña, 2013; Zalocar et al., 2013), pero durante el verano del año 2022, las condiciones favorecieron exclusivamente a Cyanobacteria.

La dinámica hidrosedimentológica de los ríos sudamericanos afectan directamente a la composición del fitoplancton (Moraña, 2013, Zalocar et al., 2014), por este motivo, la alta concentración de sólidos suspendidos reduce marcadamente la transparencia del agua, creando condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo del fitoplancton (Zalocar, et al; 2013; O'Farrell et

al., 2019). El Bloom de *Dolichospermum* coincidió con un periodo de estiaje severo, como consecuencia fueron bajos los valores de turbidez, favoreciendo la transparencia del agua y aumento de la densidad algal.

Este río es de suma importancia para las poblaciones que desarrollan sus vidas en las riberas, ya que es utilizado como fuente de agua potable; aproximadamente veinte localidades de la provincia del Chaco, es utilizada para recreación y tiene importancia económica, ya que es utilizada para los pobladores que se dedican a la pesca.

El cambio de coloración (de marrón a verde azulada) alertó a toda la comunidad ribereña de las provincias del Chaco y Formosa, los cuales transmitieron su preocupación a las entidades gubernamentales, municipales y provinciales relacionadas con la gestión del agua en el río Bermejo. Como consecuencias estas instituciones adoptaron un protocolo de acción, donde se realizaron análisis fitoplancton, físicos y químicos del agua, además se realizaron análisis de cianotoxina y de acuerdo a estos resultados tomaron medidas de precaución. Según la población la floración duro aproximadamente 20 días.

Las medidas de precaución tomadas consistieron en cambiar el método de potabilización (uso de carbón activado), ante la posibilidad de presencia de cianotoxinas en el agua, distribución de cartelería e información ala población, con el fin de evitar/prohibir el uso de agua cruda y para recreación, durante la duración del evento.

Conclusión

Las condiciones ambientales e hidrológicas de la cuenca del Bermejo, en los meses de noviembre y diciembre 2022, favorecieron la floración de Cyanobacteria en el cauce del río Bermejo. Las cianobacterias responsables de la floración fueron *D. planctonicum* y *R. raciborskii*. Las poblaciones humanas que utilizan el río Bermejo como fuente de agua potable, uso recreacional y económica fueron afectadas negativamente. Sería interesante analizar de manera interdisciplinaria las posibles causas de la floración, debido a que las variables climáticas e hidrológicas afectan la calidad del agua, sin embargo en este estudio no se analizó los cambios del uso del suelo en la cuenca, entre otras variables.

Referencias

- COREBE (2022). *Comisión Regional del Río Bermejo*. Análisis hidrológico del río Bermejo. Condiciones de Estiaje periodo 2000-2022.
- Iriondo, M. H. and A. R. Paira, (2007). "Physical geography of the Basin" – In: Iriondo M. H., Paggi, J. C. & Parma, M. J. (eds.), *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*, pp. 7–31. Springer-Verlag, Berlin
- Komárek J., (2013). *Cyanoprokaryota* - 3. Teil: Heterocytous Genera. In: Büdel B, G Gärtner, L Krienitz, M Schagerl (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/3. 1130 pp.
- Lund, J.W.G., Kipling, C., Le Cren, E.D., J.W.G., (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia*, 11:143-170.
- Moraña, L. (2013). Fitoplancton de ríos y arroyos de la Alta Cuenca del Río Bermejo, Argentina. *Revista Lhawet*. Vol. II, pp.15-21.
- O'Farrell I., C. Motta, M. Forastier, W.Polla, S. Otaño, N. Meichtry, M. Devercelli, R. Lombardo. (2019). Ecological meta-analysis of the bloom-forming planktonic Cyanobacteria in Argentina. *Harmful Algae* Vol. 83, pp.1-13.
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für Theoretische and Angewandte Limnologie*. Vol:9, pp1-38.
- Zalocar de Domitrovic Y., Devercelli M. and M. E. Forastier. (2014). "Phytoplankton of the Paraguay and Bermejo rivers" *Freshwater Phytoplankton of Argentina*. *Advanc. Limnol.* Vol: 65, pp. 67–80.

REGULACIÓN DE LAS TRANSICIONES EN AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTOS DESDE EL DIÁLOGO ENTRE LA ECONOMÍA POLÍTICA Y LA ECOLÓGICA

María Karina Forciniti¹ y Pablo Alberto Varela²

¹ Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires – Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
E-mail: kforcini@campus.ungs.edu.ar

² Asociación Argentino-Uruguaya de Economía Ecológica. Argentina. E-mail: labvarela@yahoo.com

Presentación

En el contexto de la crisis ecosocial en curso, caracterizada por el agotamiento y la degradación acelerados de los ecosistemas y, paralelamente, la agudización de la concentración económica y de la pobreza en América Latina, la re-regulación integral de las actividades económicas estratégicas constituye una de las áreas de vacancia principales en materia de investigación-acción con vista a privilegiar la sostenibilidad de la vida. En particular, en un contexto de déficit y degradación en el abasto del agua, energía y alimentos en la región, surgen grandes desafíos regulatorios asociados a la preservación de los ecosistemas, la justa distribución, la extracción y el uso racional y eficiente de los recursos involucrados.

La presente ponencia pretende realizar una contribución específica en relación con dichos desafíos regulatorios desde un enfoque que articula la economía política de la regulación de las actividades estratégicas, el pensamiento económico crítico latinoamericano y la economía ecológica. En virtud de ello, se propone analizar el aporte realizado por la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) mediante su estrategia de política pública, denominada “Nexo entre agua, energía y alimentación” (en adelante el Nexo) mediante la cual la Institución promueve un tipo de transición socioecológica específica que atañe a dichas actividades económicas fundamentales para la sostenibilidad de la vida en las economías de la región (Embid y Martín, 2018). El enfoque regulatorio considera las interdependencias que los sectores del agua, energía y alimentación tienen entre sí, plantea una estrategia de intervención estatal orientada a superar la fragmentación en su gobernabilidad y gestión, a reducir las ineficiencias y los conflictos e impactos negativos en materia ambiental. De esa manera, se propone incrementar la seguridad hídrica, energética y alimentaria (Embid y Martín, 2018, p.7).

El Enfoque del Nexo de la CEPAL

CEPAL, a través del documento citado, plantea la preeminencia de la preservación y utilización racional del agua dulce como criterio prioritario en la regulación intersectorial. Recomienda para ello la jerarquización de una “Ley de aguas” separada de la “Ley de provisión de agua potable y el saneamiento”, entendiendo que el agua constituye un bien natural y social estratégico asociado a derechos humanos fundamentales como la alimentación y la salud y, por lo tanto, requiere la preservación de sus fuentes de abastecimiento y el control y tratamiento de los vertidos y descargas de modo prioritario. También, sostiene que el agua dulce constituye un bien económico o insumo de uso difundido escaso para las empresas, motivo por el cual recomienda la construcción y administración de un mercado de derechos de uso de aguas que garanticen el uso racional y la equidad en su distribución.

Desde la perspectiva intersectorial, la provisión de agua dulce posee un vínculo técnico de mutua determinación con la de energía. Ello significa que la utilización del agua resulta demandante de energía y, paralelamente, la producción de energía resulta demandante de agua en mayor o en menor medida según el tipo de fuentes que predominen en la matriz energética de cada país. Asimismo, ambas provisiones constituyen insumos centrales para la producción y el

abastecimiento de alimentos. En algunos casos, como en el de la producción de biocombustibles, los alimentos se convierten en fuente de energía. Por ello, desde el enfoque regulatorio que promueve CEPAL, resulta necesario reducir y controlar prioritariamente –según Embid y Martín (2018) – las técnicas que sobreutilizan y contaminan el agua, afectando negativamente la producción de alimentos. Por ej. la fractura hidráulica en la explotación de hidrocarburos no convencionales. La recomendación es que regulación privilegie la seguridad hídrica, energética y alimentaria de la población de modo prioritario.

Adicionalmente, el enfoque propone regular a través de un esquema de planificación complejo, multiescalar, intersectorial e intertemporal, los tres grandes sectores de actividad de modo de guiar e intervenir en el funcionamiento de los mercados de agua, energías y alimentos involucrados. La CEPAL recomienda mediante esta publicación que la planificación intersectorial esté liderada por los estados nacionales o centrales y que los comités u organismos de administración de las cuencas hídricas tengan preeminencia político administrativa en la trama institucional que implementa la planificación. Dichos comités u organismos de cuencas poseen base natural y territorial y no político administrativa. Son, por ello, interjurisdiccionales e incluso internacionales en algunos casos, y llevarían a cabo prioritariamente la planificación hidrológica - con la participación de los usuarios, empresas, sindicatos, organizaciones socioambientales- a partir de la cual se generarían la planificación territorial, energética y de la producción de alimentos.

En materia de instrumentos regulatorios, el enfoque propone la centralidad de los incentivos económicos y fiscales tales como tarifas, cánones de uso y vertido, subsidios, tasas, etc. que deberían orientar la asignación de recursos hacia las prioridades de política de modo flexible priorizando la eficiencia y la sostenibilidad en los tres sectores. Se destaca la búsqueda de internalización de los costos y pasivos ambientales por parte de las empresas mediante impuestos o cánones verdes y la aplicación de preceptos de economía circular, entre otros mecanismos asociados a las políticas promovidas por la economía ambiental de raigambre neoclásica. La recomendación en materia energética consiste en impulsar el tránsito hacia las energías limpias y renovables, particularmente la fotovoltaica, la eólica, la mareomotriz y la termosolar. La triple transición que impulsa y recomienda la CEPAL a través de la política del Nexo involucra, en primer lugar, la introducción de una innovación relevante: la planificación hidrológica, energética y alimentaria en la región a nivel central en términos políticos. En segundo lugar, la introducción de nuevos mercados como el de derechos de uso del agua y el de tecnologías limpias y renovables en energía así como el perfeccionamiento del funcionamiento de los existentes mediante la internalización de las externalidades negativas a través de los sistemas de precios. Sin lugar a dudas, el mercado en el que el texto admite mayor intervención es el de aguas incluyendo el control de los vertidos y, paralelamente, es el mercado de alimentos en el que menor injerencia estatal y pública se plantea a modo de recomendación. En suma, se trata de una planificación orientada a proteger fundamentalmente el agua y administrarla con mayor racionalidad profundizando los

mecanismos de mercado en la región, demandantes de elevadas inversiones en infraestructura, generalmente, dependientes del capital extranjero y/o de préstamos de los organismos internacionales.

Tal como sostiene Peniche Camps “*la racionalidad del esquema se fundamenta en la hipótesis de que, (...) en un sistema sin regulación los nodos no funcionan como reguladores de la explotación de los recursos y, por consiguiente, la direccionalidad de los flujos de agua y energía para la producción de alimentos se establece en detrimento de los acervos naturales*” (Peniche Camps, 2021; p.6).

Aportes críticos desde el pensamiento crítico latinoamericano y la economía ecológica

La planificación de los tres componentes del nexo debería llegar a unas matrices de uso de agua, suelos, recursos genéticos, generación de energía y producción de alimentos más sostenibles, resilientes, equitativas y eficientes desde el punto de vista de la CEPAL. Sin embargo, dicha planificación hidrológica, energética y agroalimentaria no incorpora el carácter finito y limitado de la tierra y el agua dulce (Pengue, 2022, p.187) así como tampoco la imposibilidad de sustituir totalmente a los hidrocarburos en la matriz energética futura, elementos que conducirían a la necesidad de incorporar restricciones ambientales y criterios de suficiencia en el consumo a la planificación del Nexo, las cuales no son reconocidas por la Institución. Tampoco la capacidad limitada de los ecosistemas de la región de funcionar como sumideros de efluentes y residuos, elementos fundamentales desde la mirada de la economía ecológica. En otras palabras, si bien el enfoque presenta un avance al reconocer la necesidad de planificación integral por parte del Estado Nacional -es decir de la regulación de la acción del capital privado-, sin embargo, en la medida que ignora la existencia de límites planetarios (Steffen y VVAA, 2015) y el carácter entrópico de los procesos económicos, la falta de consideración de restricciones ambientales contradice la posibilidad de avanzar hacia la sustentabilidad en el sentido fuerte. En virtud de ello, el enfoque supone, implícitamente, que la sustitución del “capital natural” por el artificial harán posible la expansión indefinida de la producción desacoplada de impactos ambientales mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas (Forcinito y Varela, 2021).

Cabe realizar algunos comentarios específicos en este contexto. En primer lugar, el texto no menciona la enorme demanda energética e hídrica de la minería metalífera a cielo abierto ni su fuerte impacto en la contaminación del agua en la región a pesar del creciente peso de esta actividad. En segundo lugar, se omite reconocer la insustentabilidad de la agricultura, ganadería y otras producciones de alimentos fundamentales en la región basadas en el uso de agrotóxicos, pesticidas, fertilizantes sintéticos, antibióticos y otros componentes de las industrias químicas y farmacéuticas que son importante fuentes de contaminación del agua, los suelos y los seres vivos (Cáceres y Forcinito, 2022). En tercer lugar, no se analiza la dimensión del poder económico que detentan las firmas que actúan en los mercados energéticos y alimenticios –que conforman las cúpulas empresariales y exportadoras en muchas economías de la región- y detentan por ello un fuerte poder de cabildeo y de veto en relación con las políticas públicas. En este punto, no sería posible regular sus comportamientos sin una agresiva política anti-trust.

Finalmente, la dimensión de la justicia socioambiental no es privilegiada en la propuesta a pesar de la elevada desigualdad y conflictividad que existe en la región en relación con el acceso a estos bienes fundamentales. Se entiende, implícitamente, que las políticas focalizadas de universalización del agua y la energía mediante subsidios a la demanda podrían resultar eficaces desde su perspectiva, que jerarquiza los mecanismos de mercado en la

asignación de los bienes escasos. Sin embargo, estos mecanismos se han mostrado insuficientes y poco eficaces desde que las políticas neoliberales se encuentran en vigencia en la región.

A modo propositivo desde la economía ecológica, se considera que el enfoque propuesto por WWAP (2018) resulta superior de esta visión en la medida en que propone “Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua” que minimizan los flujos entrópicos y proponen utilizar los servicios de los ecosistemas de modo proactivo a nivel microescalar o macroescalar, en lugar de profundizar una irracional acumulación de capital en infraestructuras, procesos y productos prescindibles y menos eficientes en un contexto de vulneración de los límites planetarios que amenazan la vida. Ello, además, contribuiría a reducir la vulnerabilidad externa de las economías latinoamericanas asociadas a la estructural dependencia de las grandes inversiones de capital extranjero y del endeudamiento crónico con los organismos internacionales –como el BID, el BM y la CAF- así como con los inversores privados (protegidos y privilegiados a través de Tratados bilaterales de Inversión). Dicha dependencia estrangula a las economías de la región y somete a las sociedades a una pérdida de soberanía en materia hídrica, energética y alimentaria (Gligo y VVAA, 2020). En otras palabras, las soluciones basadas en la naturaleza aplicadas no sólo al manejo hídrico sino también energético y alimentario (agroecología) permitirían preservar los ecosistemas, la salud humana, ahorrar capital, disminuir el despilfarro y la dependencia externa, dinamizar la economía y ganar en autonomía y democracia en la definición de los horizontes comunes. Finalmente, ello podría contribuir a erradicar la extrema desigualdad distributiva y la pobreza que caracteriza la región, que se han visto profundizadas luego de los procesos de privatización de los servicios de agua, saneamiento y energía generados por las reformas neoliberales así como por el avance de la transnacionalización de la producción industrial de alimentos para la exportación.

Referencias

- Cáceres, V. y Forcinito, K.** (2022): “¿Hacia una transición hídrica justa en América Latina? Aportes para el debate”. Revista Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales Nro. 29. Transiciones socioecológicas y desafíos societales. Hacia un paisaje de alternativas. Revista del Programa de postgrado UNGS-IDES.
- Embid, A. y Martín, L.** (2018). “Lineamientos de políticas públicas para un mejor manejo de las interrelaciones del Nexo entre el agua, la energía y la alimentación”. Serie Recursos Naturales e Infraestructura, Nro 189. Oficina de CEPAL, Santiago de Chile. ONU.
- Forcinito, K. y Varela, P.** (2021). “La ineficacia de la estrategia hegemónica de desmaterización: un abordaje teórico y de la evidencia empírica entre 1990 y 2015 como base para la acción política” En Azamar Alonso, A., Silva Macher, J.C. y Zuberman, F. (comps.): *Economía ecológica latinoamericana*. Colección Miradas Latinoamericanas. Buenos Aires: CLACSO-Siglo XXI Editores.
- Gligo, N. y VVAA.** (2020). *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*, Libros de la CEPAL, N° 161 (LC/PUB.2020/11-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Pengue, W.** (2022). *Economía Ecológica, Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios ¿Quién se Come a Quién?* Colección Economía Ecológica, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Peniche Camps, S.** (2021): “El nexo agua, energía y alimentación: apuntes desde la perspectiva de la economía ecológica en el caso mexicano”, en Saberes Volumen 13 nro 1, p. 57 a 72.
- Steffen W y VVAA.** (2015): “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet”. *Science*, vol.347, nro.6223, p.736-746.
- WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua** (2018): Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. UNESCO.

SALINIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CRESTAS DE PLAYA UBICADAS EN LA FRANJA COSTERA LITORAL ATLÁNTICA BONAERENSE

Galliari J.^{1,2}, Santucci L.^{1,2}, Nuñez F.²; Leal M.², Melendi E.^{1,2}, Álvarez, M.P.³, Carol E.^{1,2}

1. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

2. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina

3. Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (CONICET), Puerto Madryn, Argentina
jgalliari@cig.museo.unlp.edu.ar

Introducción

En ambientes costeros la presencia de geoformas positivas de alta permeabilidad da lugar a que el agua de lluvia se infiltre rápidamente, formando pequeñas lentes de agua dulce (Collins y Easley, 1999). A su vez, tanto la calidad como la cantidad de agua subterránea disponible varían de acuerdo a las características geomorfológicas asociadas al acuífero que las contiene.

En el litoral atlántico bonaerense (Argentina) las fluctuaciones del nivel del mar han contribuido a la formación de crestas de playa asociadas a la migración de espigas arenosas (Parker, 1979; Violante et al., 2001). Dichas geoformas constituyen depósitos arenosos de morfología positiva que alojan subterráneamente agua que es explotada para abastecimiento y que además, tienen un rol ecológico importante para el sustento de diversos ecosistemas, dentro de las zonas naturales protegidas que se ubican en el área (Galliari, 2022). El objetivo del trabajo fue caracterizar químicamente el agua subterránea alojada en depósitos de crestas de playa formadas durante la evolución cuaternaria del litoral atlántico bonaerense.

Materiales y Métodos

Se realizó un análisis geomorfológico y topográfico mediante un modelo de elevación digital (MED) junto a relevamientos de campo. Se estableció una red de monitoreo de agua subterránea que comprende freáticos y molinos de agua localizados en crestas de playas ubicadas actualmente en posiciones continentales y en crestas de playa cercanas a la costa (Fig. 1). Los freáticos se efectuaron con barreno manual y fueron entubados con caños de PVC de 2 pulgadas, con filtro continuo y prefiltro de grava silicea. Durante el muestreo se determinó en campo el pH y conductividad eléctrica del agua (indicadora de salinidad) con un equipo portátil. En laboratorio se determinó el contenido de iones mayoritarios por métodos estandarizados (APHA, 1998) y se clasificaron los distintos tipos de facies químicas en base al porcentaje iónico.

Resultados

El área estudiada presenta depósitos de crestas de playa asociados a la migración hacia el norte de las espigas litorales que se desarrollan desde Punta Médanos a Punta Rasa. Al oeste de las espigas arenosas se desarrolla un ambiente de planicie costera surcada por canales y paleocanales de marea donde se depositan mantos arenosos de escasa expresión areal (Fig. 1a). Las crestas de playa se extienden en una franja paralela a la costa, y sobre ellas se depositan, tanto al este como al oeste, cadenas medianosas correspondientes a depósitos eólicos más recientes (Fig. 1b). En las imágenes satelitales y MED las crestas de playa pueden reconocerse por la presencia de lineamientos topográficamente elevados de dirección NO y dispuestas de manera paralela separados por zonas deprimidas. Las crestas alcanzan cotas entre 2 y 6 m s.n.m. y anchos que varían desde decenas a centenas de metros.

Las crestas de playa ubicadas hacia el norte, en el ámbito de la Reserva Natural Punta Rasa, representan los depósitos más actuales que aun están conectados con los ciclos mareales.

Presentan topografías de aproximadamente 2 o 3 m s.n.m. con bajos inundables anchos e interconectados, los cuales están surcados por canales de marea activos que los comunican con el mar y con el estuario exterior del Río de la Plata (Fig. 1b y c). Por otro lado, las crestas de playa ubicadas hacia el sur y en sectores más continentales, cercanos a la localidad de Mar del Tuyú, se disponen de manera continua y sus alturas máximas llegan a los 4 m s.n.m. No obstante, éstas son más angostas y más cercanas entre sí, mientras que, los bajos intercretales se comportan como bajos inundables en periodos lluviosos (Fig. 1d).

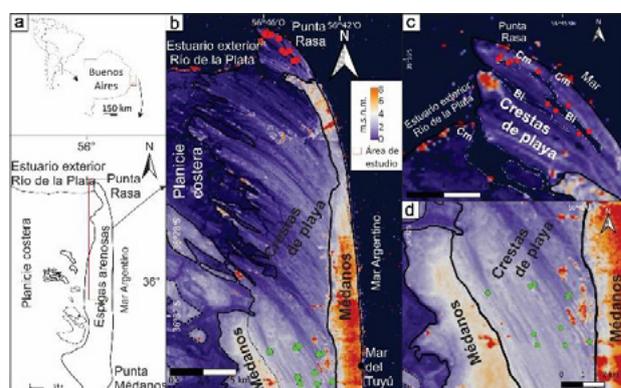


Figura 1.- a- Ubicación del área de estudio; b- Modelo de Elevación Digital; c- Red de monitoreo en crestas de playa cercanas a la línea de costa (en círculos rojos); d- Red de monitoreo en crestas de playa actualmente continentales (en círculos verdes). Cm: Canal de marea; Bi: Bajos intermareales.

El análisis químico de las muestras de agua subterránea en cada uno de estos ambientes evidencia que existen variaciones en el contenido salino y en los porcentajes de iones mayoritarios (Fig. 2). En términos generales, en los triángulos inferiores del diagrama de Piper-Hill se observa que dentro de los cationes disueltos en el agua dominan las facies sódicas, mientras que en los aniones existe mayor variación dominando facies bicarbonatadas a cloruradas (Fig. 2).

En relación a las facies hidroquímicas, en el ambiente de crestas de playa ubicados actualmente en sectores más continentales el agua subterránea es principalmente de tipo bicarbonatada sódica tendientes a cloruradas sódicas, con valores promedios de conductividad del agua de 2415 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que varían entre 418 y 5550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH entre 7,2 y 7,8.

En las crestas de playa cercanas a la costa, el agua es de tipo clorurada sódica y en menor medida bicarbonatada sódica, registrándose solo una muestra con facies bicarbonatada cálcica. En esta unidad la conductividad eléctrica promedio es mayor (6589 $\mu\text{S}/\text{cm}$) con un rango que va de 591 y 19820 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y pH que varían de 6,4 y 8,9.

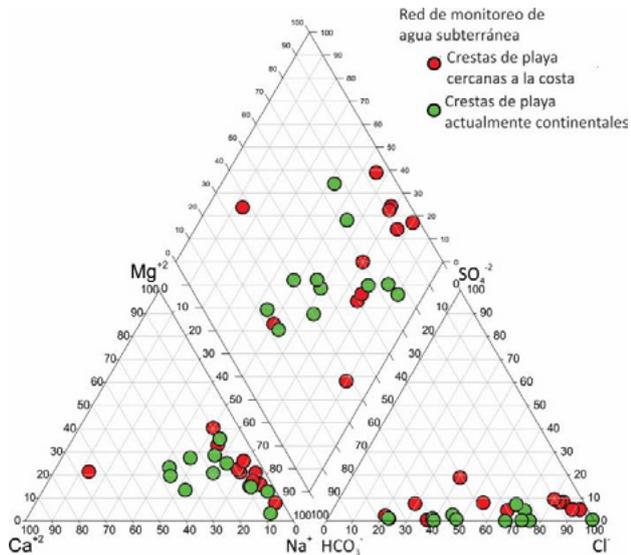


Figura 2.- Diagrama de Piper-Hill.

Discusión y Conclusión

Las crestas de playa son geoformas positivas, arenosas de elevada permeabilidad que favorecen la rápida infiltración del agua de lluvia (Kennett-Smith et al., 1994; Stuyfzand y van der Schans, 2018). La recarga del acuífero freático ocurre en periodos de exceso hídrico (Galliari, 2022) dando lugar a la formación de lentes de agua de baja salinidad (Carretero et al., 2013; Röper y Massmann, 2013).

Sin embargo, los resultados obtenidos evidencian variaciones espaciales principalmente en las salinidades del agua subterránea alojada en los depósitos de crestas de playa a lo largo de la franja costera bonaerense. Estas variaciones están asociadas a la evolución cuaternaria de la espiga arenosa. Hacia el sector norte (Punta Rasa), las crestas de playa son de menor topografía y se encuentran ubicadas en ambientes conectados con los flujos mareales actuales. Si bien la recarga del agua subterránea se daría en periodos de excesos hídricos, las crestas pueden a su vez ser parcialmente inundadas en pleamares extraordinarias recibiendo así aportes de sales desde el flujo mareal condicionando de esta manera la salinidad del agua subterránea y las facies hidroquímicas que presentan.

Por otro lado, en los ambientes de crestas de playa ubicadas en posiciones continentales, tanto las crestas como los bajos están desvinculados de los ciclos mareales actuales cuyas bajas salinidades responden a las variables del balance hídrico local. La recarga del agua subterránea en las crestas es producto de la rápida infiltración del agua de lluvia durante los periodos de exceso hídrico y los bajos entre crestas funcionan como sitios de descarga local, recibiendo también el aporte directo de agua de lluvia.

Los resultados presentados en este trabajo aportarán información que contribuya a optimizar el manejo y la prospección del recurso hídrico subterráneo de buena calidad en dichas áreas costeras.

Referencias

- APHA (American Public Health Association) (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Carretero, S.; Dapeña, C.; Kruse, E. (2013). "Hydrogeochemical and isotopic characterization of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer on the northeastern coast of the province of Buenos Aires, Argentina." *Isotopes in environmental and health studies*. 49.3: 399-419.

Collins, W. and Easley, D. (1999). "Fresh-water lens formation in an unconfined barrier- island aquifer". *J. Am. Water Resour. Assoc.*, pp. 1-22.

Galliari, M. J. (2022). "Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero mediano: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales". Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata.

Kennett-Smith, A., Cook, P. G., Walker, G. R. (1994). "Factors affecting groundwater recharge following clearing in the south western Murray Basin." *Journal of Hydrology*, 154(1-4), 85-105.

Parker, G. (1979). "Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, provincia de Buenos Aires". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, pp. 167-183.

Röper, T., Greskowiak, J., Freund, H., Massmann, G. (2013). "Freshwater lens formation below juvenile dunes on a barrier island (Spiekeroog, Northwest Germany)". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 121, 40-50.

Stuyfzand, P. J., & van der Schans, M. L. (2018). "Effects of intake interruptions on dune infiltration systems in the Netherlands, their quantification and mitigation." *Science of The Total Environment*, 630, 757-773.

Violante, R., Parker, G. y Cavalotto, J. (2001). "Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, pp.51-66.

ODS 6.6.1: EXPERIENCIAS DE COOPERACIÓN PARA LA CAPACITACIÓN DE GESTORES

Fernanda J. Gaspari^{1,2}, Marcos Cipponeri^{1,2} y Alejandra V. Volpedo^{1,3*}

¹ Arg Cap-Net. ²Universidad Nacional de La Plata. ³Universidad de Buenos Aires, Argentina.
E-mail: gasparifernanda@gmail.com, mcipponeri@ing.unlp.edu.ar, avolpedo@gmail.com

Introducción

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, que asimismo es transversal a los otros, es el ODS6 “AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO”. El mismo manifiesta la importancia de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas. Argentina posee muchos desafíos para contribuir a su concreción antes de 2030.

En este sentido se organizó y desarrolló el curso de capacitación “Integrando datos para mejorar la protección y restauración de ecosistemas acuáticos” dirigido a gestores y académicos. Este curso se realizó en cooperación entre la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg Cap-Net), el Foro Argentino del Agua (FADA, GWP Argentina) y la Dirección Nacional de Gestión Ambiental del Agua y los Ecosistemas Acuáticos (MAyDS). Asimismo, participaron docentes de las universidades nacionales de San Martín (USAM), La Plata (UNLP), Buenos Aires (UBA) y Litoral (UNL) y del Departamento Provincial de Aguas de Río Negro.

El objetivo fue incrementar la conciencia y la capacidad de los tomadores de decisiones, administradores y profesionales, en la protección de los recursos hídricos.

En este trabajo se discuten las lecciones aprendidas de gestores, docentes y estudiantes en el marco de un curso dictado de manera cooperativa.

Materiales y Métodos

El curso dictado fue planificado considerando los siguientes objetivos:

- Las características, funcionamiento y valor de los ecosistemas de aguas continentales.
- Enfoques para proteger y restaurar ecosistemas de aguas continentales.
- Familiarización con técnicas y plataformas para la recolección, acceso, análisis y visualización de datos de ecosistemas de aguas continentales y su contribución a la toma de decisiones en diferentes niveles.
- Capacidad para aplicar e integrar diversas fuentes de datos para la gestión de ecosistemas de aguas continentales.

Los destinatarios del curso fueron principalmente gestores de diferentes jurisdicciones nacionales y provinciales que desempeñan un papel trascendente en la protección y restauración de los ecosistemas de aguas continentales en sus respectivas regiones, y académicos.

El dictado se implementó bajo la Plataforma Moodle, con modalidad a distancia, utilizando la plataforma virtual de Cap-Net, donde los participantes tuvieron la oportunidad de autogestionar el curso, según su disponibilidad de tiempo, con la condición de participar en los espacios sincrónicos.

Se desarrolló en seis semanas, en las cuales se alternaron actividades asincrónicas y sincrónicas bajo la modalidad de talleres. Además, se contó con una semana pre-curso, antes del inicio de las actividades, destinada a la familiarización con el manejo en el Aula Virtual.

Para cada uno de los módulos (4) los docentes elaboraron un video introductorio explicativo y un conjunto de clases cortas grabadas exponiendo temas específicos. Por otro lado, los

participantes tuvieron disponible material de lecturas obligatorias y complementarias seleccionadas por los docentes por cada módulo, conformando el Manual Guía del curso.

Se habilitaron foros de discusión para los dos talleres integradores y una serie de cuestionarios de autoevaluación, de opción múltiple, como cierre de cada módulo.

La participación en los talleres fue obligatoria, lo mismo que la resolución de cuestionarios de autoevaluación semanales.

Cada módulo estuvo integrado por las siguientes temáticas:

- 1: Estructura, funciones y valor de los ecosistemas de aguas continentales.
- 2: Protección y restauración de ecosistemas de aguas continentales.
- 3: Gestión de datos para la toma de decisiones.
- 4: Explorador de Ecosistemas de Agua Dulce (Freshwater Ecosystem Explorer)

Los módulos 1 y 2 se focalizaron en la sensibilización sobre la importancia de los ecosistemas acuáticos continentales a través de sus servicios ecosistémicos, en la comprensión de los procesos que pueden emplearse para identificar aquellos ecosistemas prioritarios que necesitan ser protegidos y/o restaurados y el desarrollo de los correspondientes planes de acción.

El módulo 3 exploró diferentes alternativas en el uso de datos para la toma de decisiones analizando las fuentes de datos y las herramientas prácticas disponibles para la protección y restauración de dichos ecosistemas.

El módulo 4 proporcionó orientación sobre el uso y la aplicación de la Plataforma Exploradora de Ecosistemas de Agua Dulce del ODS 6.6.1 <https://www.sdg661.app/> recientemente desarrollada por PNUMA, por el Dr. Stuart Crane, quien es coordinador y creador de la plataforma exploradora. La misma es de referencia mundial para el seguimiento geoespacial y temporal de la meta 6.6.1 de los ODS.

Asimismo, se realizó un foro-taller integrador luego del desarrollo de los Módulos I y II y otro luego de la implementación de los Módulos III y IV. Dichos encuentros sincrónicos tuvieron como objetivo internalizar, vincular y articular conocimientos sobre los temas desarrollados en los diferentes módulos. En el segundo encuentro además participó el Dr Crane y presentó las utilidades de la [sdg661.app](https://www.sdg661.app/).

El plantel docente estuvo conformado por profesores de cuatro maestrías que se dictan en el país. sobre gestión de los recursos hídricos y del ambiente, que se implementan en el ámbito de las Universidades Nacionales, por miembros de ArgCapNet, y docentes de otras Universidades Nacionales y de Organizaciones dedicadas a la gestión de los recursos hídricos y el ambiente. Las mismas son: la Maestría en Gestión del Agua de la UBA; la Maestría en Ecohidrología y la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas ambas de la UNLP, y la Maestría en Gestión Sostenible del Agua-UNL.

Al finalizar el curso, los organizadores realizaron una encuesta final a todos los participantes que culminaron el curso, la cual brindó la opinión sobre el desarrollo, los contenidos, los docentes y de las actividades desarrolladas en la plataforma Cap-Net. En este trabajo se presentan los principales resultados.

Resultados y Discusión

El curso contó con la presencia de gestores y académicos de las 24 provincias, todos vinculados a la temática de la gestión de cuencas y/o de los ecosistemas acuáticos, asegurando de esta forma una amplia y diversa cobertura territorial.

El gran interés que despertó el mismo, diseñado para la Argentina, fue plasmado en más de 265 postulaciones de Argentina y otros países de la región, de las cuales sólo se pudieron aceptar el 40% de las mismas (106 inscripciones aceptadas) por cuestiones organizativas, lo cual permite pensar en la posibilidad de implementar una réplica adaptada a la realidad regional. Se le prestó especial atención al balance de género entre los participantes y la distribución equitativa de representantes de todo el país.

Al finalizar el curso, del total de alumnos/as aceptados, ingresaron a la plataforma 81, aprobaron el curso 67 personas (83%), de los cuales 51 de ellos fueron mujeres (67%) y 16 hombres (33%).

Las instituciones de las que provinieron los participantes que aprobaron la capacitación están asociadas en un 66,7% a actividades a nivel gubernamental, el 16,7% son académicas con funciones de investigación y/o educación, el 6,1% son entidades y/u operadores de servicios de agua, y el 4,4% son organismos de cuencas. En relación con desarrollar funciones en alguna organización no gubernamental y/o sociedad civil está evidenciada por un 3% de los participantes. También hubo un 1,5% de profesionales independientes y miembros de la comunidad y la misma cantidad con personas que trabajan en el sector privado.

Los participantes fueron originarios de: 24,2% de provincia de Buenos Aires, 13,6% de Tucumán, 10,6% de Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 6,1% de Corrientes y Córdoba, 4,5% de Chubut, Entre Ríos y Neuquén, 3% de Salta, Santa Fe, San Luis, Formosa y Santa Cruz y por último La Pampa, Misiones, Río Negro, Santiago del Estero, Catamarca, Chaco, San Juan con un 1,5% cada una.

En relación a los logros más relevantes, se dieron durante el desarrollo de los módulos 1 a 4, y la concreción de los Foro - Taller Integradores de dichos módulos, donde en la puesta en común, los participantes pudieron conectar dichos conceptos y metodologías con sus propias realidades, identificando las carencias que la implementación de las temáticas señaladas tuvieron con anterioridad a la luz de estas nuevas visiones, y las acciones que, resultantes de los conceptos incorporados, se debieran adoptar para propiciar y alcanzar una mejora efectiva en la protección y restauración de los ecosistemas continentales (Gaspari y Cipponeri, 2022).

En una encuesta final de curso el 89% de los alumnos opinaron que fue una experiencia buena a excelente y el 88% que fue muy beneficioso para sus objetivos de aprendizaje (Gaspari y Cipponeri, 2022).

Los participantes manifestaron la necesidad de realizar un Foro colaborativo para elaborar una declaración pública. En este marco, el Foro colaborativo tuvo como objetivo el intercambio de ideas a fin de darle forma a dicha declaración, siendo los aportes de los participantes/usuarios en las temáticas principales, las siguientes:

- Necesidad de una Ley de presupuestos mínimos de los recursos hídricos.
- Verdadera participación ciudadana.
- Oportunidades identificadas para mejorar la gestión y protección de los ecosistemas de agua continentales.
- Por una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) Sostenible.
- El valor de la Educación sobre el agua –ambiente y sociedad.
- Acciones para la gestión sustentable del agua.
- Libre acceso a la información.

Conclusiones

Los coordinadores del curso y el equipo docente manifestaron lo positivo de la experiencia ya que la misma fue enriquecedora por los debates generados y las producciones de los participantes en los talleres.

Es de destacar otro punto positivo fue la mejora significativa en la red de relaciones interpersonales entre profesionales de distintas instituciones que están vinculadas a la gestión de dichos ecosistemas, lo cual facilitará, seguramente, la concreción de nuevos proyectos vinculados a la temática y la mejora de los existentes por la incorporación de nuevos actores.

En síntesis, este tipo de capacitaciones puede replicarse con un alcance regional que exceda a nuestro país para la integración de instituciones y profesionales en el manejo y gestión de ecosistemas acuáticos de agua dulce.

Referencias

Gaspari, F. y M. Cipponeri. 2022. Formación de gestores de ecosistemas acuáticos continentales. 139-148. En: VII Jornadas Interdisciplinarias Ciclo del Agua en Agroecosistemas: trabajos completos Eds A. Perez Carrera, A. Fernández Cirelli y A.Volpedo. FCV-UBA. 168 pp

Plataforma Exploradora de Ecosistemas de Agua Dulce del ODS 6.6.1 <https://www.sdg661.app/>

GESTIÓN AMBIENTAL DE EFLUENTES CLOACALES APLICANDO EL CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

Edgardo Ghellinaza⁽¹⁾, Miriam López⁽²⁾, José Flores⁽³⁾, Gastón Paez⁽⁴⁾

(1) Docente investigador FRM UTN, Argentina, eghellinaza@aysam.com.ar

(2) Docente investigador FRM UTN, Argentina, miriamcecilia.lopez@yahoo.com.ar

(3) Docente investigador FRM UTN, Argentina, jose.flores@doncentes.frm.utn.edu.ar

(4) Becario FRM UTN, Argentina, gastonpaez7@gmail.com

Introducción

La escasez de agua es un problema tanto natural como provocado por el ser humano. Aunque en nuestro planeta no falta agua dulce, su distribución no es uniforme y mucha se desperdicia, está contaminada o se gestiona de manera no sostenible.

El tratamiento de las aguas residuales lucha contra este problema convirtiendo las aguas residuales en un efluente que puede reutilizarse. Complementariamente tiene un doble valor, ya que además de los beneficios medioambientales y para la salud, puede ofrecer beneficios económicos al reutilizarse en distintos ámbitos de uso. Sus productos derivados como los nutrientes, en los líquidos tratados y en los barros estabilizados, pueden aplicarse a la agricultura aumentando la producción de diversos cultivos.

La recuperación de energía y recursos a partir de las aguas residuales es una tendencia prometedora en el uso del agua, la economía circular avanza, dado que los efluentes cloacales dejan de considerarse un residuo.

Este reuso, luego de un adecuado sistema de tratamiento es clave en zonas áridas del oeste del país, ya que se consigue un valioso ahorro de agua necesario para riego, además de aportar nutrientes a los suelos cultivados, contribuyendo a la sustentabilidad del sistema.

Para que esto suceda, es necesario que las aguas residuales tratadas y sus barros, adecuen sus calidades a los requisitos necesarios para el reuso, asegurando la sostenibilidad del tratamiento y un empleo responsable de los usuarios.

El tratamiento mediante lagunas de estabilización está muy difundido en América Latina por su bajo costo y su posibilidad de ser aprovechado en reuso agrícola. Es muy eficiente en la remoción de carga orgánica y fundamentalmente agentes patógenos, especialmente los resistentes a tratamientos convencionales “Yañez Cossio, 1979 y 1993”.

Complementariamente al tratamiento mediante lagunas de estabilización para reuso agrícola, los barros sedimentados en los fondos de lagunas deben ser removidos periódicamente. Estos barros son de gran utilidad por ser ricos en nutrientes y minerales.

Para su aprovechamiento, se está desarrollando un proyecto de investigación para estabilizar barros de fondos de lagunas con vistas a su reuso como fertilizantes o mejoradores de suelos en emprendimientos agrícolas.

Es necesario que tanto las aguas residuales tratadas y los barros o lodos que se acumulan durante el proceso de tratamiento, adecuen su calidad a los requisitos necesarios según la normativa vigente en el país para la disposición final o reuso de los mismos, asegurando la sostenibilidad del tratamiento y un uso responsable de los usuarios.

El objetivo del proyecto de investigación en desarrollo es la determinación de una metodología capaz de estabilizar, deshidratar e inertizar los lodos sedimentados en lagunas facultativas y su disposición final como mejorador de suelos.

Antecedentes

Es muy poca la información con la que se cuenta localmente sobre el tema de experiencias en la inertización y estabilización de barros cloacales en la región. A nivel nacional y regional se cuenta con antecedentes bibliográficos del área de la Ingeniería Sanitaria sobre procesos de tratamiento que se han desarrollado en otros países.

Se pueden citar algunos autores que se ha referido sobre el tema “Metcalf & Eddy, 2015”; “Yañez Cossio, 1979”; “Oakley, 2022”; “Rolim Mendonça, 2000”.

Como se observa de lo expuesto anteriormente, todas las referencias bibliográficas son de aplicaciones a casos particulares que no pueden extrapolarse en forma directa a nuestra región geográfica. Es por eso que los resultados que se obtengan de la presente investigación serán las primeras aplicadas a plantas de tratamiento de lagunas de estabilización para la Provincia de Mendoza y la Región Cuyo.

Metodología

La investigación se desarrolla en el Establecimiento Depurador Rivadavia, de la provincia de Mendoza. El establecimiento está operado por Agua y Saneamiento Mendoza (AySAM). El sistema de tratamiento está conformado por 4 series de lagunas primarias aireadas, secundarias y terciarias facultativas. El establecimiento se ubica en latitud de 33°11'53" S y longitud de 68°24'08" W.



- 1- Cámara de llegada, cámara de rejillas, estación de bombeo, sala de tableros, sala de cloración, sala de sopladores
- 2- Lagunas aireadas
- 3- Lagunas facultativas secundarias (contiene los barros que son nuestro objeto de estudio)
- 4- Lagunas terciarias
- 5- Nueva laguna facultativa secundaria
- 6- Nueva laguna facultativa terciaria
- 7- Cámara de contacto
- 8- Playa de secado de barros

Figura 1.- Vista del Establecimiento Depurador Rivadavia

Análisis y Resultados

El objetivo del análisis es verificar el estado de los lodos sedimentados en lagunas facultativas existentes (3). Se están obteniendo muestras para la caracterización de nutrientes e identificación de presencia de elementos tóxicos y microorganismos patógenos.

Para ello, se utiliza como referencia la “Norma Técnica para el

manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales” (2018), según Res. 410/2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. En ella se establecen los criterios para el manejo, tratamiento, utilización, disposición o eliminación de los barros y biosólidos resultantes de las diferentes operaciones unitarias que realicen las plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales industriales), a efectos de asegurar una gestión sustentable de estos materiales.

Se muestran a continuación, en Tabla 1, los parámetros obtenidos de dos muestras de lodos de fondos de lagunas de Establecimiento Depurador Campo Espejo obtenidos el 14/02/2022. Los puntos de extracción de ambas muestras son distintos sectores de la laguna primaria de la serie 8.

Tabla 1.-Muestras Campo Espejo.

Determinación	Unidades	Muestra N° 1 Inicio Laguna	Muestra N° 2 Lateral norte Laguna
Aspecto del barro		Fresco, arenoso	F resco
Humedad	%	32,4	81,4
Sólidos totales	%	67,6	18,6
Sólidos fijos	%	94,3	65,2
Sólidos volátiles	%	5,7	34,8
Escherichia coli	NMP/g MS	2,3E+04	4,6E+06
Salmonella sp	NMP/4g MS	1,5E+05	2,4E+05
Arsénico (As)	mg/kg MS	<75	<75
Cadmio (Cd)	mg/kg MS	<40	<40
Zinc (Zn)	mg/kg MS	<4.000	<4.000
Cobre (Cu)	mg/kg MS	<1.750	<1.750
Cromo total (Cr)	mg/kg MS	<1.500	<1.500
Mercurio (Hg)	mg/kg MS	<25	<25
Níquel (Ni)	mg/kg MS	<400	<400
Plomo (Pb)	mg/kg MS	<1.200	<1.200

Comparando estos valores con las tablas del Anexo II de la norma, se puede observar que los niveles de contaminación ya son bajos, según se observa en Tabla 2.

Tabla 2.-Valores de referencia – Anexo II.

Parámetro	Unidades	Valor de referencia	Tabla
Coliformes fecales	NMP/g MS	<1000	N° 3 (Biosólido clase A)
Salmonella sp	NMP/4g MS	< 3	N° 3 (Biosólido clase A)
Arsénico (As)	mg/kg MS	75	N° 2
Cadmio (Cd)	mg/kg MS	40	N° 2
Zinc (Zn)	mg/kg MS	4.000	N° 2
Cobre (Cu)	mg/kg MS	1.750	N° 2
Cromo total (Cr)	mg/kg MS	1.500	N° 2
Mercurio (Hg)	mg/kg MS	25	N° 2
Níquel (Ni)	mg/kg MS	400	N° 2
Plomo (Pb)	mg/kg MS	1.200	N° 2

Conclusiones

De acuerdo al avance del proyecto de investigación, se puede concluir que se constató que la metodología de recolección de datos y su procesamiento es la adecuada.

Se observa que la presencia de elementos potencialmente tóxicos es baja, cumpliendo con la normativa vigente. Sin embargo, el nivel de patógenos en biosólidos es elevada para que sean considerados dentro de la clase A.

Por ello, se evaluará la calidad de abatimiento de patógenos mediante tratamiento por compostaje, ejecutando pilas con volteo, siendo este proceso definido dentro de los que reducen fuertemente los patógenos según el Anexo III de la Norma. Los lodos se descargan en playas de secado o biodesecadores, considerados como procesos que reducen significativamente los patógenos, según el mismo Anexo III mencionado precedentemente.

Con este proyecto se definirá la metodología más adecuada con herramientas de probada validez de modo experimental que mejoren la calidad de los barros cloacales provenientes de lagunas de estabilización de acuerdo con las condiciones físicas y climáticas de la zona de tratamiento, siendo el objetivo buscado aprovechar el reuso de los barros provenientes de la depuración de efluentes de líquidos cloacales con el propósito de aprovecharlos, protegiendo y preservando la salud y el ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Arredondo, M.F., Iribarnegaray, V.L., Liberal, W.A., Tejerina, L. (2013). Evaluación de la Estabilidad de los Lodos de las Lagunas de Estabilización de la zona norte de la Ciudad de Salta. *ASADES. Vol. 1, pp.01.59-01.64, 2013. Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.*
- Comisión Nacional del Agua (2007). Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales. México.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., y Greenberg, A. E. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation.
- Feria Díaz, J. J. Martínez Acosta, L. E. (2014). Tratamiento de lodos de fondo de Lagunas Facultativas con estabilización en condiciones de laboratorio. *Revista EIA, ISSN 1794-1237 / Enero-junio 2014, Colombia.*
- Galo Durazno Orellana et al (2009). Tesis de Maestría “Modelo de gestión para el manejo del sistema de extracción, deshidratación y disposición final de lodos de lagunas de estabilización” Universidad de Azuay, Ecuador.
- Gonçalvez Ricardo et al (1998). Barros acumulados en lagunas de estabilización. Formación y características. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS N° 40.*
- Kucher H. et al (2020). Evaluación de una técnica de muestreo compuesto de GEI emitido desde una pila de compostaje de barros cloacales. *XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes, Argentina.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2018). Resolución 410/2018. “Norma técnica para el manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales”.
- Oropeza García, Norma (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, México.*
- Peralta E. et al (2002). Experiencia piloto de compostaje de barros primarios cloacales de Mar del Plata. *Gerencia de Calidad de Obras Sanitarias Mar del Plata (OSSE).*
- Yáñez Cossio, Fabián (1979). Proceso de lodos activados y aireación prolongada. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). OPS.*
- Yáñez Cossio, Fabián (1993). Lagunas de estabilización. Teoría, diseño, evaluación y mantenimiento.

CO-PRODUCCIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA MITIGAR EL IMPACTO DE LOS EFLUENTES EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL ARROYO SAN FRANCISCO: EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTROS

Gomez B. M.⁽¹⁾, Larrandart S.⁽¹⁾, Saveika C.⁽¹⁾, Quinteros M.⁽¹⁾, Pérez Hernández F.⁽¹⁾, Diaz N. S.⁽¹⁾, Sinistro R.⁽²⁾ y Graziano M.⁽²⁾

(1) Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina.

(2) Laboratorio de Limnología, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

E-mail: bmgomez.ina@gmail.com

Introducción

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se valoran cada vez más en los proyectos urbanos sostenibles para mejorar el bienestar humano y la biodiversidad. En particular, aplicadas en infraestructuras azules/verdes o en diseños sensibles al agua pueden responder a la pérdida de hábitats y a la degradación de los cursos de agua. Los biofiltros, o humedales verticales construidos, son un tipo de SbN comúnmente utilizado en la gestión de aguas superficiales en cuencas urbanas. El objetivo de este trabajo radicó en la co-producción, junto a trabajadores de una cooperativa social del Frente de Organizaciones en Lucha-FOL-, de biofiltros para la mitigación de los efluentes domésticos que ingresan al arroyo por medio de la red doméstico-pluvial.

Materiales y métodos

Área de estudio

El arroyo San Francisco pertenece a la cuenca Sarandí-Santo Domingo ubicada al sur de la ciudad de Buenos Aires. Este cuerpo de agua presenta alteraciones ecohidrológicas y claras evidencias de contaminación a lo largo de su curso con altos niveles de contaminación orgánica y microbiológica (Saraceno et al., 2021). La ciudad de Claypole presenta algunas características sociodemográficas preocupantes dada la falta de cobertura cloacal y de provisión de agua potable. Dada la falta de infraestructura, los efluentes domésticos son descargados a través de la red de drenaje pluvial, que consiste en zanjas abiertas que recorren todo el barrio y descargan en el arroyo cada 100 metros. Los efluentes domésticos liberados a través de esta red son principalmente aguas grises (de bañeras, duchas, lavamanos, lavadoras y fregaderos de cocina) (Gomez et al. 2023). El trabajo se realizó en un tramo de 1 km del arroyo San Francisco.

Para mitigar el ingreso de contaminantes por medio de estas descargas doméstico-pluviales se construyeron biofiltros cuya estructura consistió en una maceta de tela geotextil de 400 µm donde la composición de las capas se disponía de la siguiente manera (de arriba abajo): arena, grava fina, LECA (arcilla expandida), pometina y grava gruesa. El sistema de aireación estaba conformado por tubos de PVC perforados de 10 mm de diámetro. La macrófita empleada fue *Typha latifolia*, comúnmente utilizada en humedales construidos y ampliamente distribuida en la Provincia de Buenos Aires. En diciembre de 2021 se instalaron 7 biofiltros en conjunto con las cuadrillas de trabajo del FOL. Durante 1 año se evaluó la supervivencia de los mismos ante las crecidas, así como también se realizaron muestreos estacionales (verano 7/1/22; otoño 9/5/22; primavera 11/10/22 y verano 8/03/23). Para evaluar la eficiencia de remoción se colectaron muestras al ingreso (IN) del biofiltro y al egreso (OUT). Se tomaron 5 L de muestra los cuales fueron fraccionados en sus envases correspondientes. *In situ* se realizó

la determinación de: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), empleando un multiparámetro (HACH, HQ 4300) y Turbidez, empleando un turbidímetro (HACH, 2100P). Mientras que en el laboratorio se analizó: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), carbono Orgánico Disuelto (COD), serie nitrogenada (Nitrógeno Inorgánico Disuelto -NID- [amonio + nitrato + nitrito]) y Nitrógeno Total por Kjeldahl (-NTK-) y serie fosforada (Fósforo Total -PT- y Fósforo Reactivo Soluble -PRS-). Cabe destacar que en la primera campaña de muestreo no se analizaron todos los parámetros y que tampoco se realizó un muestreo en la estación de invierno.

Resultados

Se realizaron dos talleres con los trabajadores de la organización social sobre el armado de la estructura de los biofiltros y durante tres jornadas consecutivas en diciembre 2021 (13, 15 y 27 de diciembre 2021) se instalaron un total de 7 biofiltros (**Figura 1**) a la salida de descargas doméstico-pluviales. El armado de la estructura de los biofiltros la realizaron los trabajadores de la organización social y en conjunto se ensamblaron 6 biofiltros. El séptimo biofiltro lo armaron completamente solos en una descarga de su centro cultural ("Galpón Cultural").

Los 7 biofiltros instalados estuvieron operativos con ingreso de efluente permanente excepto uno, donde una fractura en el caño de desagüe evitó que el efluente ingrese al biofiltro. De los 6 biofiltros restantes, uno estuvo operativo durante 5 meses hasta que una crecida del arroyo los destruyó por completo, mientras que los 5 restantes sobrevivieron durante 1 año a las crecidas y al lavado permanente desde las descargas. La concentración de los efluentes que ingresaron en los biofiltros fueron variables (min-max): DQO (12 - 145 mgO₂/L), DBO₅ (33 - 1628 mgO₂/L), DOC (14 - 260 mgC/L), NTK (0.6 - 64.0 mgN/L), NID (1.6 - 42.7 mgN/L), PT (0.1 - 4.6 mg P-PO₄³⁻/L) y SRP (0.03 - 1.8 mg P-PO₄³⁻/L).

Las mayores remociones se observaron en las estaciones cálidas tanto para la materia orgánica; la serie nitrogenada y fosforada (**Figura 2**). La remoción de materia orgánica se evaluó en función de tres parámetros: la fracción total como DQO; la fracción biodegradable como DBO₅ y la fracción soluble como COD. Se observaron remociones entre el 8-84% de DBO₅, 2-76% de DQO y 13-92% de COD. En cuanto a compuestos nitrogenados, se observaron mayores remociones cuando estos estaban asociados al material orgánico particulado (NTK 3-59%) más que disuelto en su forma inorgánica (NID 2-39%). En cuanto al fósforo, solo se observaron remociones en la fracción soluble inorgánica (PRS) en la primavera (6-26%). En cambio, cuando el P estuvo asociado al material orgánico y particulado (determinado como PT), se observaron remociones en todas las estaciones (5-86%). La turbidez evidenció una disminución entre el 2-80%.



Figura 1.- a) Armado del biofiltro a la salida de desagüe doméstico-pluvial. b) Biofiltro finalizado. c) Trabajadores de la organización social que participaron de la construcción de los biofiltros.

Discusión

En este trabajo se presentó una experiencia de co-producción en un barrio sin infraestructura sanitaria cuya consecuencia impacta negativamente en la calidad del agua del arroyo San Francisco y el hábitat de los vecinos. El 57 % de los biofiltros instalados permanecieron activos luego de un año a pesar de las fluctuaciones tanto de caudal como de concentraciones de los diferentes parámetros evaluados. Los biofiltros demostraron ser un paliativo eficiente para el tratamiento de las aguas domésticas-pluviales en especial sobre la materia orgánica y compuestos nitrogenados, En cuanto al P, demostró un efecto modesto, actuando mayoritariamente cuando este está asociado al material particulado u orgánico.

Otros autores han destacado este punto en otros tipos de humedales construidos también (Stefanakis et al. 2014; Dotro et al. 2017). Se esperaba que al emplear un medio reactivo, como es la LECA, se fuera a observar una mayor remoción de este elemento. Sin embargo, es probable que un efecto de saturación del medio haya ocurrido, anulando el efecto deseado.

Conclusiones

Los biofiltros resultaron ser una alternativa económica, de bajo mantenimiento y fácil de implementar como un primer acercamiento de SbN en un barrio sin infraestructura sanitaria. En este sentido, los trabajadores de la organización lograron apropiarse de la tecnología e implementarla en su territorio. Cabe destacar que si bien los principios holísticos subyacentes a las SbN pueden crear oportunidades de inclusión social en un contexto de informalidad, experiencias de este tipo son fundamentales para comprender la dinámica en el territorio, donde la desigualdad social se encuentra fuertemente entrelazada con la degradación ambiental.

Referencias

Gomez, B. M., Diaz, N. S., Saraceno, M., Sinistro, R., & Graziano, M. (2023). Co-production of just nature-based solutions to mitigate the impact of domestic effluents on stream water quality in an informal urbanization in Latin America: Diagnosis and a pilot study. Earth ArXiv. Preprint.

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Sperling, M. (2017). *Treatment wetlands* (p. 172). IWA publishing

Saraceno, M., Gómez Lugo, S., Ortiz, N., Gómez, B. M., Sabio y García, C. A., Frankel, N., & Graziano, M. (2021). Unraveling the ecological processes modulating the population structure of *Escherichia coli* in a highly polluted urban stream network. Scientific reports, 11(1), 1-14.

Stefanakis, A., Akrotos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical flow constructed wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. Newnes.

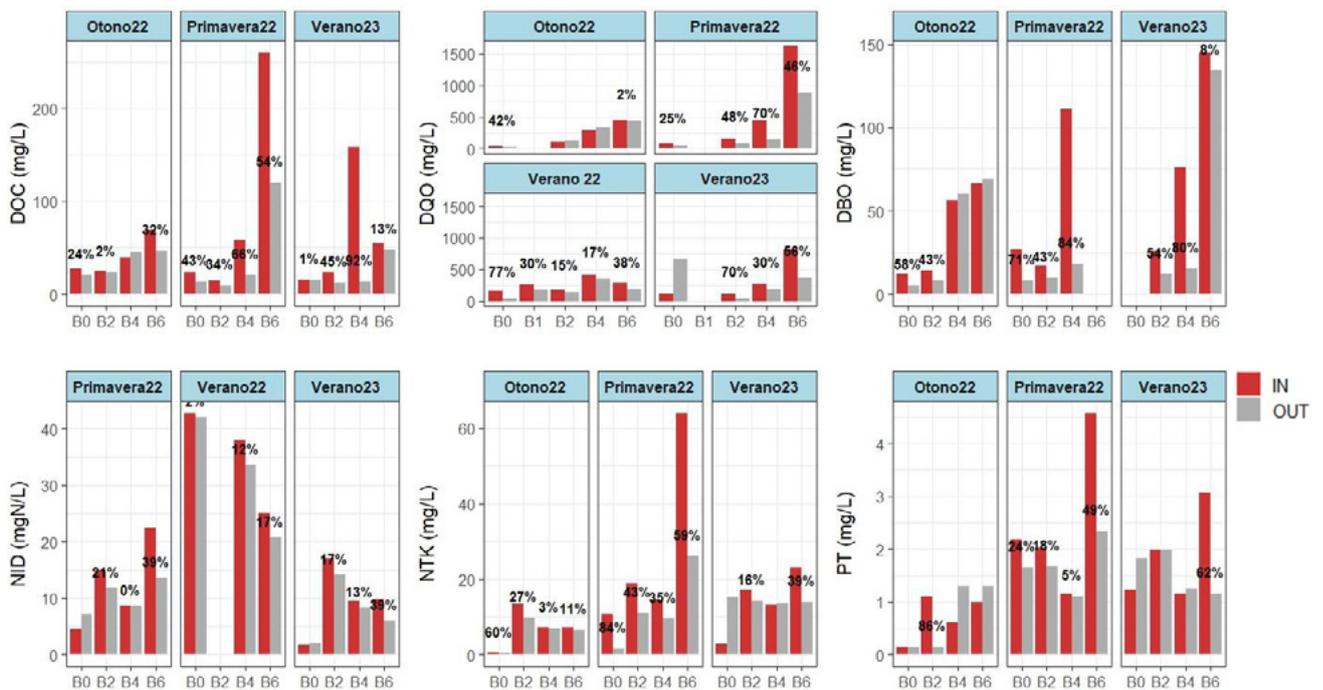


Figura 2.- Porcentajes de remoción entre el efluente de ingreso al biofiltro (IN, rojo) y el efluente de salida del biofiltro (OUT, gris).

DETERMINACIÓN SIMULTÁNEA POR CROMATOGRAFÍA GASEOSA ACOPLADA A MASAS DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS, HORMONAS Y DISRUPTORES ENDOCRINOS EN EFLUENTES DOMÉSTICO-PLUVIALES

Gomez, B. M.⁽¹⁾, Perez Hernandez F.⁽¹⁾ y Graziano M.⁽²⁾

(1) Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina.

(2) Laboratorio de Limnología, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

E-mail: bmgomez.ina@gmail.com

Introducción

Los contaminantes emergentes representan un gran número de sustancias químicas utilizadas en la vida cotidiana incluidos los medicamentos, los productos cosméticos y de higiene personal. Dado que pueden llegar a generar un efecto en la biota y/o en la salud humana a concentraciones muy bajas, se han dedicado grandes esfuerzos al desarrollo de nuevas técnicas analíticas que permitan su detección. Existen diversas técnicas para su determinación, entre ellas la cromatografía gaseosa acoplada a masas (CG-MS). El reto de la CG-MS para analizar estos compuestos radica en la baja volatilidad de los analitos y la presencia de grupos funcionales polares con hidrógenos activos, como -OH, aminas y amidas, que requieren el uso de derivatización para reducir la polaridad y aumentar su volatilidad.

El objetivo de este trabajo consistió en el desarrollo de un método analítico que permitiese la determinación simultánea de nueve principios activos y productos de cuidado personal (ácido clofibrico, ibuprofeno, paracetamol, naproxeno, ketoprofeno, diclofenac, carbamazepina, acetilsalicílico y gemfibrozil), dos compuestos disruptores endocrinos (nonilfenol y bisfenol A) y un compuesto estrogénico (estrógeno) en efluentes domiciliarios.

Materiales y métodos

Muestreo y procesamiento de las muestras

Para poner a prueba la metodología de extracción empleando un efluente, se tomaron dos muestras de agua provenientes de desagües doméstico-pluviales en el barrio Mariano Moreno, Claypole (Almirante Brown, Buenos Aires), cuya composición hemos caracterizado previamente (Gomez et al. 2023). Se colectó 1 L de muestra de dos descargas separadas 300 m entre sí. Las muestras fueron transportadas a 4°C hasta el laboratorio en botellas de plástico y luego preservadas en freezer a -18°C hasta su medición. Descongelada la muestra, se centrifugó durante 15 min a 4000 rpm. El sobrenadante fue filtrado empleando una membrana de fibra de vidrio (*free blender*) de 0.7 µm de poro.

Procedimiento de extracción y clean-up

Se emplearon cartuchos de SPE C18 (500 mg) los cuales fueron previamente acondicionados con 3 x 2 ml de acetato de etilo, 3 x 2 ml de metanol y 3 x 2 ml de agua ultrapura y por último, 4 ml de agua ultrapura acidificada (pH 2.5) a un flujo de 0.5 ml min⁻¹ sin aplicar vacío. Una vez acondicionado el cartucho, se procedió a pasar 100 ml de muestra (acondicionada a pH 2.5) empleando vacío mediante una estación de 12 posiciones a un flujo de 0.5 ml min⁻¹. Posteriormente, se realizó un enjuague con 2 ml de agua ultrapura (pH 2.5) y se dejó secar al vacío el cartucho durante 60 min. Los analitos fueron eluidos con 3 x 2 ml de etil acetato por gravedad en un tubo cónico de vidrio de 15 ml. Finalmente, el

eluato fue evaporado a sequedad empleando un baño a 37°C y una corriente suave de N₂. Se re-disolvió con 900 µl de acetato de etilo y homogeneizó durante 1 min empleando un vortex. Se transfirió a un vial de CG y se le adicionó 100µl de N-metil-N-(tert-butildimetilsilil) trifluoroacetamida (MTBSTFA). El vial se colocó en estufa a 70°C por 60 min para favorecer la derivatización previa al análisis por CG-MS (Figura 1). Para validación y optimización del método de extracción se empleará como estándar aditivo BPA-d16¹.

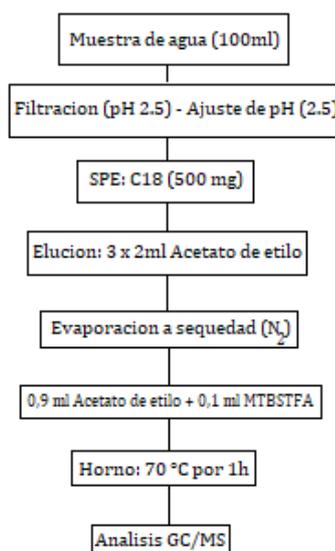


Figura 1.- Diagrama de flujo de la extracción y clean-up de las muestras.

Análisis por cromatografía gaseosa con espectrometría de masas

Las sustancias químicas presentes en las muestras preparadas se determinaron utilizando un GC Agilent 6890N conectado a un MSD 5975C, equipado con un muestreador automático de líquidos Agilent 7683B. La columna utilizada fue la HP-5MS (30 m x 0.25 mm de diámetro interno x 0,25 m de espesor de película) empleando helio (pureza > 99,999%) como gas carrier a un caudal constante de 1,2 mLmin⁻¹. La temperatura del inyector fue de 250°C. La temperatura del horno CG se programó de 70°C (mantenida durante 1 min) a 120°C a 20 °C/min, se elevó a 250°C a 10 °C/min y después a 280°C a 5 °C/min y se mantuvo durante 3 min. Se inyectó 1µl de muestra en modo *splitless*. El tiempo total de análisis fue de 25 min.

El detector de masa fue operado con una energía de ionización de 70 eV en modo SIM y con un tiempo de retardo del disolvente de 11 min. Las temperaturas de la interfaz CG-MS, la fuente de iones y la cuádruple se fijaron en 280, 230 y 150°C, respectivamente. Los tiempos de retención de cada compuesto se determinaron inyectando compuestos estándar individuales. La cuantificación se realizó mediante regresión lineal (R²>0,995).

¹ En estas muestras no fue empleado dado que la entrega del reactivo se encuentra pendiente.

Los iones primarios y secundarios utilizados para la identificación y cuantificación así como los tiempos de retención obtenidos se encuentran en la **Tabla 1**.

Tabla 1.- Compuestos analizados por CG MS con sus respectivos tiempos de retención e iones primarios y secundarios empleados para la identificación y cuantificación.

ID	Compuesto	Tiempos de retención (min)	Iones Primarios	Iones Secundarios
1	Ácido Acetilsalicílico	11.68	195	237 - 196
2	Ácido Clofibrico	12.28	143	273 - 271
3	Ibuprofeno	12.68	263	264 - 161
4	Nonilfenol	14.1	277	278 - 334
5	Gemfibrozilo	15.84	243	179 - 307
6	Naproxeno	17.02	287	185 - 288
7	Ketoprofeno	18.29	311	295 - 312
8	Carbamazepina	18.91	193	194 - 293
9	Diclofenac	19.36	352	214 - 409
10	BPA	20.97	441	207 - 442
11	Estrógeno	23.39	327	328 - 384

Resultados y discusión

Las condiciones cromatográficas empleadas permitieron resolver todos los compuestos analizados (**Figura 2**). A su vez, se obtuvieron curvas de calibración con $R^2 > 0.995$.

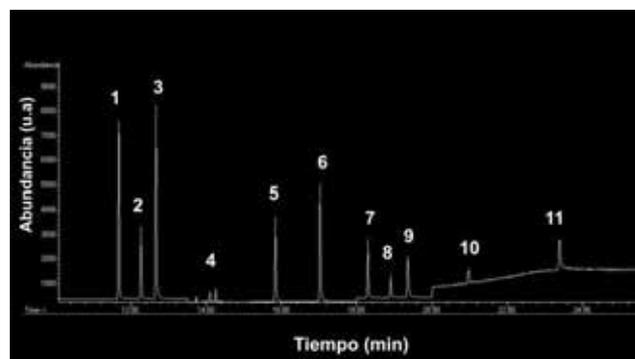


Figura 2.- Cromatograma de la corrida. Los números corresponden a los ID de los compuestos (tabla 1).

Por otro lado, el método de *clean-up* y extracción empleado permitió analizar las muestras de efluentes domésticos. En ambas muestras se halló ibuprofeno (4.71 y $4.82 \mu\text{gL}^{-1}$) y ketoprofeno (4.82 y $3.05 \mu\text{gL}^{-1}$), ambos antiinflamatorios no esteroideos (de sus siglas en inglés, AINE). El uso continuado de AINE conduce a su liberación persistente en el agua, por lo que su impacto potencial en los organismos acuáticos es una preocupación importante. El ketoprofeno es ampliamente utilizado con un consumo mundial comparable o incluso superior al del diclofenac y presenta un riesgo potencial para las especies terrestres y acuáticas en el medio ambiente (Wang et al. 2018). Praskova et al. (2013) informaron alteraciones en la función reproductora de peces expuestos a concentraciones de $3 \mu\text{gL}^{-1}$ de ketoprofeno. Por otro lado, Praskova et al. (2011) también reportaron un efecto

tóxico del ketoprofeno en embriones de zebrafish (*Danio rerio*).

Similares concentraciones a las encontradas fueron reportadas por otros autores en cuencas urbanas de la provincia de Buenos Aires. Elorriaga et al (2012) informaron concentraciones de ibuprofeno en agua superficial en un rango entre 0.4 - $13 \mu\text{gL}^{-1}$ mientras que Mastrángelo et al. (2022) encontraron este compuesto no solo en agua superficial (12.7 - $47.1 \mu\text{gL}^{-1}$) si no que también bioacumulado en organismos vivos como biofilm ($63 \text{ ng g}^{-1}\text{ps}$). En cuanto al ketoprofeno, no fue analizado en cuerpos de agua de la Argentina pero en otros estudios (Verlicchi et al. 2012; Mendoza et al. 2015) reportaron valores medios de ketoprofeno de $1.0 \mu\text{gL}^{-1}$ en efluentes crudos.

Conclusiones

El método empleado permitió el análisis de contaminantes emergentes en el orden de las trazas. Aunque no se analizaron efluentes cloacales y se contó con una muestra limitada de descargas, se encontraron concentraciones alarmantes de AINE en las dos muestras analizadas, lo que indica una entrada directa de estos compuestos a un cuerpo de agua superficial urbano. Dada la complejidad asociada al tratamiento de estos compuestos y su impacto en la biota, es crucial intensificar los esfuerzos de monitoreo para determinar las concentraciones en el ambiente y evaluar alternativas de tratamiento.

En este sentido, el desarrollo de esta técnica nos permitirá evaluar la presencia de los contaminantes en aguas superficiales y efluentes domésticos, al mismo tiempo que evaluar la eficiencia de remoción de los mismos mediante el uso de humedales construidos.

Referencias

- Elorriaga, Y., Marino, D.J., Carriquiriborde, P. et al. (2013). "Human Pharmaceuticals in Wastewaters from Urbanized Areas of Argentina". *Bull Environ Contam Toxicol* 90, 397-400. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0919-x>
- Gomez, B. M., Diaz, N. S., Saraceno, M., Sinistro, R., & Graziano, M. (2023). Co-production of just nature-based solutions to mitigate the impact of domestic effluents on stream water quality in an informal urbanization in Latin America: Diagnosis and a pilot study. *Earth ArXiv*. Preprint.
- Mastrángelo, M. M., Valdés, M. E., Eissa, B., Ossana, N. A., Barceló, D., Sabater, S., ... & Giorgi, A. D. N. (2022). "Occurrence and accumulation of pharmaceutical products in water and biota of urban lowland rivers". *Science of the Total Environment*, 828, 154303.
- Mendoza, A., Acena, J., Pérez, S. López de Alda, M., Barceló, D., Gil, A., Valcárcel, Y., (2015). "Pharmaceuticals and iodinated contrast media in a hospital wastewater: a case study to analyse their presence and characterise their environmental risk and hazard". *Environ. Res.* 140, 225e241.
- Praskova, E., St ep anov a, S., Chromcov a, L., Plhalova, L., Voslarova, E., Pistekov a, V., Prokes, M., Svobodova, Z., (2013). "The effects of subchronic exposure to ketoprofen on early developmental stages of common carp". *Acta. Veterinaria Brno* 82, 343e347.
- Praskova, E., Voslarova, E., Siroka, Z., Macova, S., Plhalova, L., Bedanova, I., Marsalek, P., Pistekova, V., Svobodova, Z., (2011). "Comparison of acute toxicity of ketoprofen to juvenile and embryonic stages of *Danio rerio*". *Neuro. Endocrinol. Lett.* 32 (Suppl. 1), 117e120.
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., Galletti, A., Petrovic, M., Barcelo, D., (2012). "Hospital effluent: investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment". *Sci. Total Environ.* 430, 109e118.
- Wang, J., Zhao, S. Q., Zhang, M. Y., & He, B. S. (2018). "Targeted eco-pharmacovigilance for ketoprofen in the environment: Need, strategy and challenge". *Chemosphere*, 194, 450-462.

RESPUESTA HIDROQUÍMICA A LA CONSTRUCCIÓN DE AZUDES SOBRE EL SISTEMA RÍO DESAGUADERO, PROVINCIA DE MENDOZA

Gomez, M.L.¹, D'Ambrosio, D.S.², Debandi, H.¹, Albelo, P.Y¹., Diaz, M.F¹ y G., Hoke³

¹ IADIZA- CCT- CONICET, Mendoza, Argentina.

E-mail: lgomez@mendoza-conicet.gov.ar, hdebandi@mendoza-conicet.gov.ar, albelopaulay@gmail.com, florenciadiazsalvador@gmail.com

² IANIGLA- CCT- CONICET, Mendoza, Argentina.

E-mail: sdambrosio@mendoza-conicet.gov.ar

³ Department of Earth Sciences, Syracuse University, Syracuse, NY 13244, USA.

Email: gdhoke@syr.edu

El Río Desaguadero pertenece al sistema hídrico Desaguadero-Salado y ha sido fuertemente modificado por la instalación de diques en las partes altas de la cuenca en las provincias de Mendoza y San Juan. En Mendoza. El río Desaguadero presenta un caudal promedio de $7 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ con una precipitación media es de $200 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ sumado a la alta evapotranspiración en un clima árido, se presentan balances hidrológicos deficitarios (Gomez et al., 2014).

Durante el 2014 se construyeron 2 azudes (Figura 1), el Azud Norte a 20 Km de la Ruta Nacional N°7 y el Azud Sur a tan solo a 4 km de la Ruta Nacional N° 7. La creación de estos azudes, realizados por el Gobierno de San Luis y apoyados por el Gobierno de Mendoza, tenía como objetivo aumentar el nivel de agua, producir desbordes y así ocupar zonas actualmente secas y que antiguamente eran lagunas (Aquabook, 2016).

El objetivo del trabajo es analizar la respuesta hidroquímica del Río Desaguadero frente a estas intervenciones, tanto del agua superficial como del agua subterránea. Para poder llevar a cabo este objetivo se realizaron muestreos hidroquímicos estacionales en 6 puntos de aguas superficial, a lo largo del cauce del río incluyendo las lagunas asociadas a los azudes, y 4 sitios de agua subterránea, en pozos de puestos aledaños (Figura 1 y 2). Se analizaron parámetros físico-químicos incluyendo estudios isotópicos que permitan identificar las fuentes de agua que sostienen las lagunas. Además, se realizó el análisis de imágenes satelitales para ver la evolución del sistema desde la creación de los azudes (Figura 3).

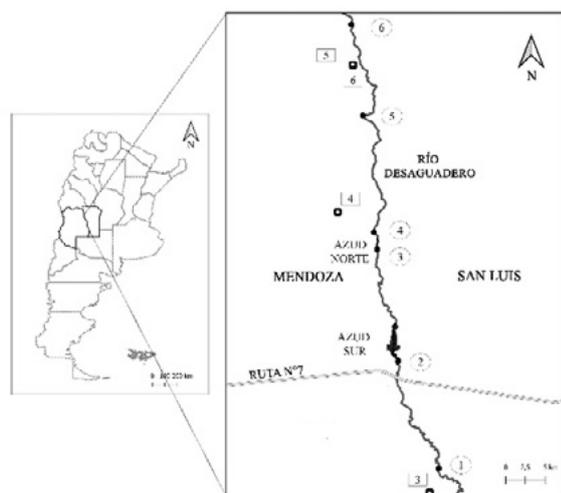


Figura 1.- Área de Estudio, en círculos los muestreos de agua superficial y en cuadrados los de agua subterránea.



Figura 2.-De arriba hacia abajo, Río Desaguadero antes de los azudes, Azud Norte y Azud Sur.



Figura 3.-Derecha: imagen satelital de la sección del Río Desaguadero durante el 2017. Izquierda: Cambios anuales durante el mes de agosto en la sección del Río Desaguadero donde se encuentra el Azud Norte (A) y el Azud Sur (B).

Los resultados hidroquímicos preliminares indican que la salinidad es el factor limitante para el uso y desarrollo de la biota en la zona, encontrando valores que pueden superar los 400 g L^{-1} en el agua de los azudes. Aguas arriba de los mismos el río mantiene un caudal mínimo constante y la salinidad es menor (entre 16 y 200 g L^{-1}) respecto a la encontrada en las lagunas asociadas a los azudes (hasta 460 g L^{-1}). Estudios de Gomez et al. (2014) indican una salinidad de $7,7 \text{ g L}^{-1}$ para el río Desaguadero durante el año 2010, previo a la construcción

de los azudes. El agua subterránea en los alrededores de los azudes presentó salinidades entre 3 y 16 g L^{-1} . Futuros análisis isotópicos permitirán identificar los cambios en la salinidad a procesos de mezcla de aguas de las distintas fuentes.

Las imágenes satelitales, desde 2015 hasta 2022, muestran una constante disminución del caudal del río y del mismo modo una reducción del área inundada por los azudes (Figura 3). El evento de mayor incremento del área inundada se asociaría con dos años con elevadas precipitaciones en el llano mendocino (2014-2016). El estudio plantea además el análisis paleolimnológico a futuro que permitirá reconstruir el ambiente, esta información junto a la información actual del sistema nos permitirá inferir cómo podría ser el funcionamiento del sistema en el contexto de un cambio climático y su consecuente aridización de la zona y salinización de cauces.

Nuestras conclusiones hasta el momento permiten considerar que la creación de los azudes no solo, no logró inundar zonas aledañas para activar paleolagunas, sino que conllevó a la interrupción de un ambiente lotico natural para la formación de ambientes lagunares temporales en el cauce del río, generando ambientes antrópicos de alta salinidad asociados al alto grado de evaporación y su consecuente formación de un gran salitral con dominio de los iones sodio y sulfatos.

Referencias

- Aquabook**, 2016. Departamento General de Irrigación & Dirección General de Escuelas. AQUALIBRO, 3° Edición. Mendoza, Argentina. <http://aquabook.agua.gob.ar/>.
- Gomez L, Aranibar J, Wuilloud R, Rubio C, Martinez D, Monasterio R, Villagra P**. 2014. Hydrogeology and hydrogeochemical modelling in phreatic aquifer of NE Mendoza, Argentina. *J Iber Geol* 40(3): 521–538 <http://hdl.handle.net/11336/37388>.

DETECCIÓN DE RESIDUOS ACUÁTICOS MEDIANTE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Florencia González, Lucia Romay, Giuliano Cersosimo y Jorge Pellegrini

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, Buenos Aires, Argentina
florenciagonzalez1989.ag@gmail.com

Introducción

A nivel global, la acumulación de residuos en cuerpos acuáticos resulta una preocupación creciente debido a su impacto negativo en la calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y la vida humana (Li et al., 2016). Los desechos involucrados suelen ser de origen orgánico e inorgánico y, a su vez, provienen mayoritariamente de diversas fuentes, como la industria y los hogares, agravados por el crecimiento poblacional desmesurado.

Para abordar esta problemática, se requiere la implementación de políticas y prácticas efectivas de gestión de residuos que conlleve un arduo trabajo y un período prolongado de tiempo (Derraik, 2002). Es por ello que surge la necesidad de inspeccionar los suelos marinos mediante un mecanismo asequible, confiable y de veloz implementación, para cuya culminación la inteligencia artificial resulta una alternativa novedosa.

Objetivos

La finalidad de este trabajo es la creación de una herramienta que permita determinar y diferenciar la presencia de animales y objetos en cuerpos acuáticos.

Metodología

El programa fue desarrollado en la plataforma de Google Colaboratory, una herramienta basada en la nube que posibilita la ejecución de Python, el lenguaje de programación utilizado. En el proceso se emplearon diversas librerías científicas como cv2, numpy, matplotlib, pandas y sklearn. Esta última, una destacada biblioteca gratuita para el análisis de datos en Python, desempeñó un papel fundamental en el proyecto.

El set de datos está compuesto por 1000 imágenes de suelos marinos contaminados con desechos, provenientes de la actividad humana o ante la presencia de diversas especies acuáticas, proporcionadas por Joint Emissivity Database Initiative (J-EDI), una iniciativa de la NASA.

En la figura 1 se pueden ver 4 imágenes de este set. Cada imagen tiene asociada una categoría dependiendo de lo que se encuentre apreciable en ella, es decir, un animal o un objeto.

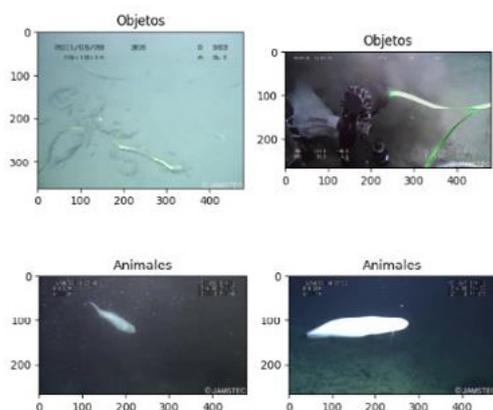


Figura 1.- Imágenes con animales u objetos del conjunto de datos.

Cada imagen presenta una diferente resolución, por lo tanto, se procedió a un escalado de 196x196 píxeles.

Durante el procesamiento de imágenes se lleva a cabo una etapa inicial para convertirlas a un solo canal. Esto se realiza debido a que las imágenes están formadas por tres canales (RGB), lo que equivale a 115248 píxeles, cada uno con una intensidad de color.

Aun con la conversión realizada, se requiere otro método para reducir la dimensionalidad de la imagen. Para abordar esta problemática se emplea un histograma de gradientes orientados (HGO) (Dalal et al., 2005). HGO es un método donde se divide la imagen en cuadrantes, para los cuales se obtiene un vector con dirección y sentido para cada uno de ellos. De esa manera, no se trabaja con el total de píxeles sino con una cantidad baja de atributos sin comprometer las características principales de la imagen.

Para la creación del modelo los datos se dividen en dos conjuntos. La primera parte de ellos se usa exclusivamente para la creación del modelo y se denomina datos de entrenamiento. Mientras tanto, la segunda parte se emplea para validar el desempeño del modelo con datos que no se utilizaron para su creación. La separación de datos es 70% de entrenamiento y 30% de validación.

El modelo de machine learning empleado es el Random Forest, un algoritmo de aprendizaje automático que se utiliza en problemas de clasificación y regresión (Cutler et al., 2007). Este se basa en la creación de múltiples árboles de decisión, cada uno construido a partir de un subconjunto de características. En la etapa de entrenamiento, el algoritmo construye un gran número de árboles de decisión, cada uno basado en un subconjunto aleatorio de características y datos de entrenamiento (Mohri et al., 2018). Durante la predicción, los datos son sometidos a través de cada árbol de decisión y se genera una predicción individual para cada uno de ellos. La predicción final se calcula agregando todas las predicciones realizadas por los árboles de decisión de manera individual.

El uso de múltiples árboles de decisión reduce el riesgo de sobreajuste y aumenta la precisión de las predicciones. Además, el proceso de selección aleatoria de características y datos de entrenamiento reduce la varianza y mejora el rendimiento del modelo (Joshi et al., 2017).

La técnica usada para determinar los hiperparámetros del modelo y para evitar que haya sesgo durante el entrenamiento es la búsqueda de grilla con validación cruzada. La búsqueda de grilla es un método para realizar la optimización de los hiperparámetros encontrando la mejor combinación de estos (Bergstra et al., 2012). Por otra parte, la validación cruzada se utiliza para definir el puntaje del conjunto de entrenamiento (Kohavi, 1995). Este método consiste en dividir este conjunto n veces y tomar un subconjunto para validación y el resto para entrenamiento, repitiendo esa elección de validación para cada subconjunto. El puntaje final es el promedio de los resultados particulares.

Además, se utiliza la matriz de confusión para evaluar el desempeño del modelo, conformada por 4 variables: verdadero positivo, falso positivo, falso negativo y verdadero negativo. Es relevante destacar que en este problema de clasificación un resultado positivo indica que nos encontramos frente a la

presencia de un residuo y el resultado negativo señala una presencia animal en la imagen.

También se utiliza la métrica de precisión que mide la probabilidad de que la predicción de la clase positiva sea correcta (mientras más alto sea el valor, el modelo más evita clasificar un desecho de forma incorrecta) y la sensibilidad, que define la proporción de clases positivas detectadas correctamente. Esta última indica qué tan bueno es el modelo para reconocer la clase positiva.

A su vez, se emplea un heat map (mapa de calor) para evaluar el desempeño de la optimización (Xu et al., 2015). Este es una herramienta visual que se utiliza para representar datos en una matriz mediante el uso de colores para indicar la magnitud de la proporción de imágenes bien clasificadas. Como ejes de dicho mapa se encuentran los denominados "n estimators" (número de estimadores) y los criterios, hiperparámetros del problema (Xu et al., 2015). Los primeros hacen referencia al número de árboles de decisión que constituyen el modelo. Los criterios son los métodos utilizados para evaluar la calidad de una división en cada nodo del árbol de decisión. Los dos criterios más usuales son el "gini" y la "entropía".

El gini mide la probabilidad de que un elemento seleccionado aleatoriamente sea etiquetado incorrectamente al elegir al azar una etiqueta de la muestra según la distribución de clases en el nodo; de esta forma, es descrita como una medida de la homogeneidad de las etiquetas en un nodo. La entropía mide la incertidumbre de la muestra en un nodo y se utiliza para minimizar la ganancia de información en el proceso de partición del árbol.

Resultados

La grilla empleada consiste en un conjunto de número de estimadores de 200, 400, 600, 800 y 1000. Además, incluye el criterio de gini y entropía.

El valor de los estimadores obtenido (800) se encuentran dentro de un margen reducido, hecho que implica se alcanzó un óptimo del sistema y, por lo tanto, disminuye el sesgo en la optimización.

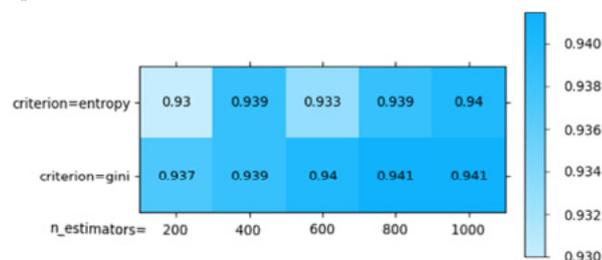


Figura 2.- Heat map.

Como el criterio gini posee los valores más elevados, estamos ante la presencia de un problema de clasificación relativamente homogéneo debido a que la cantidad de etiquetas posibles es pequeña. Cuanto mayor es el índice de gini, mayor es la desigualdad entre las variables en consideración.

La matriz de confusión que evalúa el desempeño del modelo se puede apreciar a continuación, en la figura 3.

Modelo	0	1	All
Real			
0	143	7	150
1	4	146	150
All	147	153	300

Figura 3.- Matriz de confusión del problema.

En el contexto del problema, un falso positivo significa que en

una imagen se han detectado erróneamente residuos en una imagen donde no están presentes. Esto trae como consecuencia un aumento de inspecciones secundarias y, por ende, un aumento del esfuerzo colectivo para llevar a cabo la misma. Es por eso que este tipo de errores es importante reducirlo para minimizar el uso de recursos tanto humanos como naturales e industriales. Sin embargo, lo más importante son los falsos negativos, ya que indican que no hay detección de desechos cuando estos están presentes. De esta forma, se ignoran los vestigios allí encontrados que deterioran y contaminan el cuerpo acuático, o su suelo, en donde se registraron. Una precisión de 0,95 y una sensibilidad de 0,97 indican desempeños favorables teniendo en cuenta el criterio establecido anteriormente.

Conclusiones

Se aplicó técnicas de inteligencia artificial para crear un modelo capaz de detectar residuos acuáticos a partir de imágenes. Los resultados obtenidos a través de las métricas evaluadas indican un desempeño satisfactorio de la herramienta desarrollada.

Para futuras investigaciones se considerará la ampliación del conjunto de datos utilizado, incorporando imágenes de diferentes fuentes y escenarios. Esto mejoraría la capacidad de generalización del modelo y su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. Otro aspecto a explorar será la integración de tecnologías complementarias, como el procesamiento de imágenes en tiempo real o el uso de drones acuáticos, para realizar un monitoreo continuo y en tiempo real de los cuerpos de agua.

Referencias Bibliográficas

- LI, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the total environment*, 566, 333-349.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005). "Histograms of oriented gradients for human detection". *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, CVPR, Vol. 1, pp. 886-893.
- Cutler, D. R., Edwards Jr, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). "Random forests for classification in ecology". *Ecology*, 88(11), pp. 2783-2792.
- Mohri, M., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2018). *Foundations of machine learning*. MIT Press. Massachusetts, Cambridge, MA, Estados Unidos.
- Joshi, A., Monnier, C., Betke, M., & Sclaroff, S. (2017). Comparing random forest approaches to segmenting and classifying gestures. *Image and Vision Computing*, 58, 86-95.
- Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). "Random search for hyperparameter optimization". *Journal of Machine Learning Research*, Febrero 2012, pp. 281-305.
- Kohavi, R. (1995). "A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection". *International joint conference on artificial intelligence*, Febrero 1995, pp. 1137-1143.
- Xu, L., Ren, J. S., Liu, C., & Jia, J. (2014). Deep convolutional neural network for image deconvolution. *Advances in neural information processing systems*, 27.

OPTIMIZACIÓN DE LA DECOLORACIÓN DE ACID BLACK POR UNA CEPA BACTERIANA AUTÓCTONA

Grifes Paisan*, Luciana¹; Fortunato, María Susana¹; Papalia, Mariana²; Radice, Marcela²; Gallego, Alfredo¹ y Korol, Sonia Edith¹

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Cátedra de Salud Pública e Higiene Ambiental. Junín 956 4º Piso (1113) Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Cátedra de Microbiología, Laboratorio de Resistencia Bacteriana. Junín 956 8º Piso (1113) Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina

*correo electrónico: lula.gp01@gmail.com

Introducción

Los colorantes sintéticos son ampliamente utilizados en una variedad de industrias como la textil, farmacéutica, alimentaria, fotográfica, del cuero, cosmética e imprentas, por lo que pueden hallarse en sus efluentes líquidos (Ali, 2010). De esta manera pueden llegar a los ecosistemas acuáticos produciendo efectos indeseables. Uno de los principales efectos es la disminución de la actividad fotosintética de la flora acuática, debido a que el color que confieren a las aguas disminuye la penetración de la luz (Kalyani *et al.* 2012).

Los colorantes pueden ser carcinogénicos, alergénicos y producir metabolitos tóxicos a causa de su degradación parcial (Pattnaik *et al.* 2018). Además, son persistentes y se bioacumulan en el medioambiente.

Los colorantes son categorizados en tres grupos: azoicos, derivados del trifenilmetano y antraquinónicos. El *Acid Black 210* (C.I.300285) (AB) pertenece a la categoría de los azoicos y es ampliamente utilizado en la industria del cuero y textil. Si bien algunos autores reportan que AB no constituye un riesgo desde un punto de vista ecotoxicológico (Rocha *et al.* 2017), sus metabolitos, como la bencidina y la p-fenilendiamina (PPD) pueden producir tumores y alergias en humanos y animales. Una de las alternativas para la remoción de colorantes es el empleo de bacterias capaces de degradarlos (Ali, 2010). El objetivo del presente trabajo fue seleccionar una bacteria autóctona degradadora de AB, caracterizarla, identificarla y, evaluar y optimizar las condiciones para la degradación del colorante.

Materiales y métodos

Selección e identificación de la bacteria degradadora de *Acid Black 210*.

La cepa degradadora de AB fue aislada a partir de las aguas del Arroyo Medrano en su desembocadura en el Río de la Plata como fue descripto previamente (Grifes Paisan, *et al.* 2022).

La cepa autóctona aislada fue identificada por medio de espectrometría de masas MALDI-TOF y secuenciación del gen rDNA 16S. En el primer caso se empleó un espectrómetro Microflex MALDI-TOF MS (Bruker Daltonics). Los perfiles obtenidos se analizaron mediante el software Flex Control v3.0 (Bruker Daltonics). Además de los criterios para la identificación especificados por el fabricante se emplearon los propuestos por la Red Nacional de Identificación Microbiológica por Espectrometría de Masas en Argentina (Rocca, *et al.* 2020). La amplificación del gen rDNA 16S por PCR para la posterior secuenciación fue realizada mediante el empleo de primers específicos (Marchesi, *et al.* 1998). Las secuencias de los genes amplificados fueron analizadas utilizando la herramienta BLAST (Cole, *et al.* 2014).

Estudio de la cinética de degradación

La decoloración de AB se determinó mediante la medida de la

absorbancia a 625 nm.

En primer lugar, se evaluó la influencia de la aireación realizando ensayos en caldo nutritivo tanto en condiciones estáticas, en estufa de incubación, como en baño termostatzado con agitación plano rotatoria (200 rpm).

Posteriormente se realizaron ensayos a escala laboratorio bajo distintas condiciones experimentales: presencia de cosustrato (Caldo nutritivo, tripteína y extracto de levadura 5 g/L), concentración (50, 100 y 300 mg/L), temperatura (20, 28 y 35° C), pH (5, 7 y 9) y salinidad (3 y 6%).

El crecimiento bacteriano se evaluó mediante el método de recuento en placa en Agar Tripteína Soja (TSA).

Resultados y discusión

Selección e identificación de la bacteria degradadora de *Acid Black 210*.

La bacteria seleccionada fue identificada como *Shewanella putrefaciens* por espectrometría de masas MALDI-TOF. Este resultado fue concordante con el obtenido mediante la amplificación y secuenciación del gen rDNA 16S.

Estudio de la cinética de degradación

Los resultados obtenidos permitieron demostrar la decoloración de 50 mg/L de AB en condiciones estáticas mientras que no se evidenció decoloración con agitación (200 rpm).

En presencia de extracto de levadura 5 g/L se llevó a cabo la degradación de 50 mg/L de colorante en 13 horas (Fig. 1).

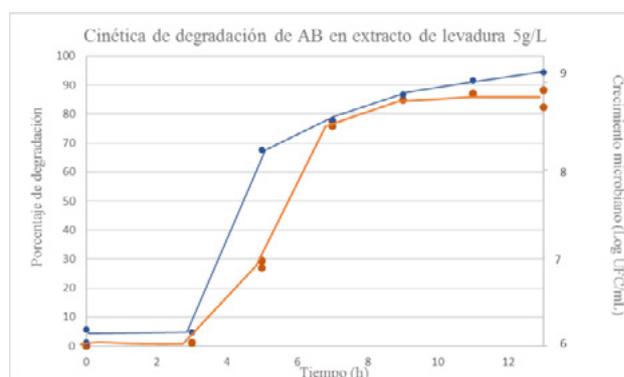


Figura 1.- Cinética de degradación (—) y crecimiento microbiano (—).

Los ensayos realizados con caldo nutritivo demostraron que la decoloración de AB se produce dentro de las 14 horas (Fig. 2), por el contrario, en presencia de tripteína no se observó decoloración.

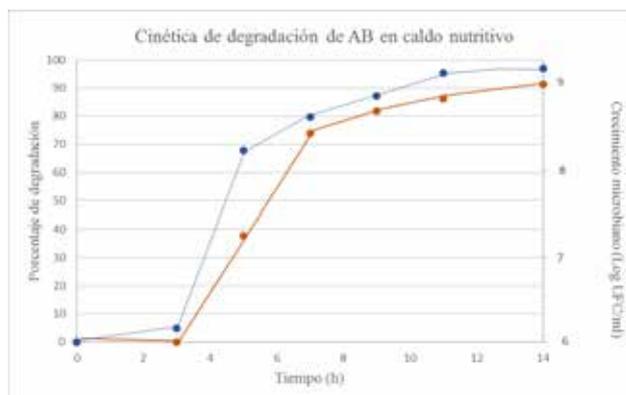


Figura 2.- Cinética de degradación (—) y crecimiento microbiano (—).

Por lo tanto se decidió trabajar utilizando como fuente adicional de carbono extracto de levadura 5% debido a su menor costo y mejores resultados obtenidos.

Mientras que la decoloración de 50 mg/l de AB tuvo lugar en 13 horas, con una eficiencia del 89%, se demostró que 100 mg/L y 300 mg/L fueron degradados en 24 y 26 horas respectivamente con una eficiencia del 90%.

Se observó que tanto a 28°C como a 35°C los resultados fueron similares, evidenciándose decoloración en 13 horas con una eficiencia del 89% y 90% respectivamente. A una temperatura de incubación de 20°C el tiempo de decoloración siguió siendo de 13 horas, pero la eficiencia disminuyó al 78%.

En el rango de pH ensayado, de 5 a 9, no hubo influencia en la decoloración. Tanto a pH 7 como a pH 9 se mantuvo el tiempo de decoloración de 50 mg/L de AB en 13 horas. Estos datos son relevantes dada la variabilidad en los valores de pH y temperatura de los efluentes textiles. Se han reportado valores de pH en el rango de 4 a 13, mientras que la temperatura puede oscilar entre 28 °C y 58 °C (Yaseen *et al.* 2019). Cabe señalar que el proceso biológico que se proponga para la depuración de este tipo de efluentes debe por lo tanto mantener una eficiencia adecuada en un amplio rango de condiciones.

La salinidad también es una variable importante a considerar, ya que de acuerdo a la literatura la salinidad de los efluentes textiles en promedio es de 0,29% (Pal, 2017). La cepa autóctona de *Shewanella putrefaciens* seleccionada alcanzó con una salinidad del 3% una decoloración del 85% en un tiempo de 13 horas. Incluso a valores tan elevados como 6% se logró una decoloración del 44% en 25 horas.

Conclusión

A diferencia de lo que ocurre en un cultivo controlado en el laboratorio, el empleo de microorganismos para la depuración de efluentes tiene lugar en condiciones en las cuales no solo la concentración del compuesto a degradar puede ser variable, sino también otras condiciones ambientales como la disponibilidad de oxígeno, el pH, la salinidad o la temperatura. La cepa autóctona seleccionada pre-expuesta a un ambiente contaminado demostró una elevada capacidad para decolorar el AB bajo diferentes condiciones del medio. Los resultados obtenidos permiten prever el potencial empleo de esta bacteria en procesos de tratamiento biológico de efluentes líquidos que contengan el colorante AB.

Referencias

- Ali, H. (2010). "Biodegradation of Synthetic Dyes—A Review". *Water, Air and Soil Pollution*, 213(4), 251-273.
- Cole, J. R., Wang, Q., Fish, J. A., Chai, B., Mc Garrell, D. M., Sun, Y., Brown, C. T., Porrás-Alfaro, A., Kuske, C. T., y Tiedje, J. M.

(2014). "Ribosomal Database Project: data and tools for high throughput rRNA analysis". *Nucleic Acids Research*. 41(Database issue): D633-D642. <https://doi.org/10.1093/nar/gkt1244>

Grifes Paisan, L., Fortunato, M. S., Gallego, A., Y Korol, S.E. (2022). *Evaluación de la Biodegradabilidad y selección de bacterias degradadoras de colorantes a partir de cursos de agua*. En "VII Jornadas Interdisciplinarias Ciclo del Agua en Agroecosistemas". Pérez Carrera, A.; Volpedo, A. V.; Fernández Cirelli, A. Eds. Alejo Leopoldo Pérez Carrera. CABA. ISBN 978-987-88-7662-7

Kalyani, D., Telke, A. A., Surwase, S. N., Jadhav, S. B., Lee, J. K., y Jadhav, J. P. (2012). "Effectual decolorization and detoxification of triphenylmethane dye malachite green (MG) by *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 2074 and its enzyme system". *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(5), 989-1001. doi:10.1007/s10098-012-0473-6.

Marchesi, J. R., Sato, T., Weightman, A. J., Martin, T. A., Fry, J. C., Hiom, S. J., Dymock, D., & Wade, W. G. (1998). "Design and evaluation of useful bacterium-specific PCR primers that amplify genes coding for bacterial 16S rRNA". *Applied and environmental microbiology*, 64(2), 795-799. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.2.795-799.1998>.

Pal, P. (2017). *Industrial Water Treatment Process Technology*. Butterworth-Heinemann Publications. Chennai, India.

Pattnaik, P., Dangayach, G. y Bhardwaj, A. (2018). "A review on the sustainability of textile industries wastewater with and without treatment methodologies". *Reviews on Environmental Health*, 33(2), 163-203. doi:10.1515/reveh-2018-0013.

Rocca, M. F., Almuzara, M., Barberis, C., Vay, C., Viñes, P., & Prieto, M. (2020). "Presentación del sitio web de la Red Nacional de Identificación Microbiológica por Espectrometría de Masas. Manual para la interpretación de resultados de MALDI-TOF MS". *Revista Argentina de microbiología*, 52(1), 83-84. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.03.001>

Rocha, O. P., Cesila, C. A., Christovam, E. M., Barros, S. B., Zanoni, M. V., & de Oliveira, D. P. (2017). *Ecotoxicological risk assessment of the "Acid Black 210" dye*. *Toxicology*, 376, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2016.04.002>

Yaseen, D.A., Scholz, M. (2019). "Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review". *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16, 1193-1226. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z>

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO BOVINO

Griffa, Carina, Boglione Rosana, Panigatti María Cecilia, Schierano María Celeste, Gutiérrez Gonzalo, Asforno Melina

Grupo GEM (Grupo de Estudios de Medio Ambiente). Facultad Regional Rafaela.
Universidad Tecnológica Nacional.
Acuña 49. Rafaela, Argentina.
E-mail: labquimicautn@gmail.com

Introducción

En Argentina, el desarrollo socioeconómico está estrechamente relacionado con la expansión de las actividades agropecuarias, especialmente la producción animal. Para lograr un óptimo desarrollo en dicha actividad, se requieren diferentes insumos, independientemente de la especie en cuestión. Entre estos, el agua es un elemento fundamental, ya que debe existir una provisión adecuada en cuanto a cantidad y calidad para satisfacer las necesidades de cada especie animal (Fernández Cirelli, et al., 2010).

El ganado puede tolerar agua de menor calidad que los humanos, pudiendo tener un impacto negativo por la presencia de ciertos compuestos químicos en niveles inadecuados. Aunque no siempre causa signos clínicos de enfermedad o la muerte, la pobre calidad del agua puede afectar la producción y la reproducción del ganado, lo que resulta en pérdidas económicas para los productores.

Durante el proceso de ordeño, los animales requieren una elevada disponibilidad de agua de bebida de buena calidad con relación a su peso corporal. Entre las especies animales, la vaca lechera de alta producción es la más susceptible a los cambios en la salinidad del agua, tolerando un 30-40% menos que las vacas de cría. Por lo tanto, es fundamental proveer a los animales en ordeño de una cantidad suficiente de agua de bebida de buena calidad para asegurar una producción de leche óptima. (Fernández Cirelli, et al., 2010).

En cuanto a la calidad del agua para animales en ordeño, los principales problemas pueden ser la salinidad y la presencia de elementos tóxicos. Éstos pueden tener un origen antrópico, como los nitratos, o un origen natural, como el arsénico y el flúor. Es importante monitorear regularmente su calidad para asegurarse de que no se presenten niveles elevados de estos elementos y evitar posibles riesgos para la salud del ganado y la producción de leche. Para evaluar el estado del recurso natural, se utiliza el Índice de Calidad del Agua (ICA), que incorpora datos de parámetros físicoquímicos en una ecuación matemática.

El objetivo de este trabajo es calcular el ICA para el agua subterránea, empleada para el consumo del ganado bovino destinado a la producción de leche, en la provincia de Santa Fe.

Materiales y métodos

Área de estudio

La principal cuenca lechera de la provincia de Santa Fe se localiza al centro oeste de la provincia, y se caracteriza por la gran cantidad de tambos y empresas lácteas. Es una de las principales zonas productora de leche del país, donde se desarrollan una gran cantidad de pequeñas y medianas industrias lácteas elaboradoras de productos derivados como el queso, que son en gran parte destinadas al consumo interno.

Para el presente estudio, se tomaron 28 muestras de agua subterránea durante 10 meses, localizadas en la cuenca lechera santafesina. Luego de su extracción, las muestras se almacenaron en botellas de polietileno (APHA, 2017), se etiquetaron y almacenaron a 4 °C hasta el análisis de laboratorio. Cada uno de los pozos muestreados, con profundidades comprendidas entre 12 y 30 metros fueron georreferenciados utilizando un GPS Garmin Nüvi 30.

Caracterización de las muestras

En las muestras se realizaron los siguientes análisis: pH (método electrométrico), Sólidos Totales (ST, evaporación y secado en estufa a 105 °C), Cloruro (Cl⁻, titulación argentométrica), Sulfato (SO₄⁼, turbidimetría), Nitrato (NO₃⁻, electrodo selectivo), Arsénico Total (As, espectrometría de absorción atómica con inyección de flujo y generación de hidruros). Para los parámetros analizados, se utilizó la metodología propuesta por Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Cálculo del ICA

Para el cálculo de ICA, se emplearon 6 parámetros, a los que se les asignó una ponderación acorde con su importancia relativa en la calidad del agua y en función de los efectos adversos sobre la salud animal, correspondiendo el menor riesgo el valor 1 y el mayor riesgo, el valor 5: pH:1, sólidos totales: 4, cloruros: 1, sulfatos: 5, nitratos: 4, arsénico: 4.

En una siguiente etapa se calculó el peso relativo (Wi) de cada parámetro de acuerdo con la ecuación del método del peso aritmético [1] (Horton, 1965, Brown et al., 1970):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad [1]$$

Wi= peso relativo

wi= peso de cada parámetro

n= número de parámetros

En el siguiente paso se estableció una escala de valoración de la calidad para cada variable (qi) [2], realizando el cociente entre la concentración resultante de cada muestra de agua y su valor máximo permitido (Si) y el resultado obtenido fue multiplicado por 100:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad [2]$$

qi = calificación de la calidad

Ci = concentración de cada parámetro químico en cada muestra de agua en mg/L

Si= límite máximo permitido en mg/L (NRC 2001)

Los límites para consumo bovino considerados fueron: 6,5 - 8,5, pH; 7000 mg/L, sólidos totales; 2000 mg Cl⁻/L, cloruros; 300 mg/L SO₄²⁻, sulfatos; 100 mg/L NO₃⁻, nitratos; 0,2 mg As /L, arsénico (NRC 2001).

Finalmente, para calcular el ICA se calculó el Sli [3]:

$$Sli = W_i \times q_i \quad [3]$$

Sli = subíndice de cada parámetro

y se sumaron los valores Sli de todas las variables en la siguiente ecuación [4]:

$$ICA = \sum Sli \quad [4]$$

ICA = índice de calidad del agua

El resultado obtenido es un número que se utiliza para clasificar la calidad del agua en cinco categorías: excelente, buena, pobre, muy pobre y no apta para consumo en cada punto de muestreo, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Clasificación según la calidad del agua

Valor de ICA	Calidad del agua
Menor de 50	Excelente
De 50 a 100	Buena
De 100 a 200	Pobre
De 200 a 300	Muy pobre
Mayor de 300	No apta para consumo

Resultados

En la Figura 1 se presentan los resultados de ICA obtenidos, que demostraron que el 11 % de las muestras analizadas se encuentra dentro de la clasificación excelente, el 29 % buena, 57 % pobre y el 4% muy pobre.

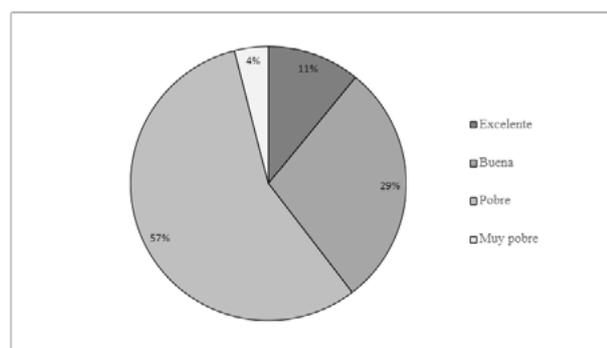


Figura 1.- Porcentajes de muestras obtenidos según la clasificación del ICA

Los altos porcentajes obtenidos en la clasificación de calidad pobre se podrían relacionar a los elevados contenidos de sulfatos, vinculados directamente con la cantidad de sales presente, y de nitratos. La respuesta ante el consumo de agua con un alto contenido de sales totales puede ser variable. Las aguas, con exceso de sales, pueden producir complicaciones fisiológicas, siendo el efecto más común la disminución del apetito (Pérez-Gómez, et al. 2019).

Dentro del organismo animal, la presencia de sulfatos produce un impacto en el equilibrio ácido-base, alterando la concentración normal de calcio y fósforo. Este desequilibrio tiene un efecto negativo en la fertilidad de los animales, lo que resulta en una disminución en el porcentaje de pariciones. Asimismo, los sulfatos tienen propiedades laxantes que alteran el proceso digestivo y reducen la absorción de nutrientes, provocando una disminución en la producción láctea. (Fernández Cirelli, et al., 2010).

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas, destinadas al consumo humano, es un problema preocupante en nuestro país y comienza a ser una problemática en el agua destinada al consumo animal. Esta contaminación estaría asociada a la falta de tratamiento de los efluentes ganaderos, como pudo observarse en el relevamiento realizado en los tambos (Fernández Cirelli, et al., 2010). La existencia de nitratos en el agua está asociada a la presencia de materia orgánica en descomposición y de fertilizantes utilizados en la agricultura (Basán Nickisch, et al., 2018). Los nitratos en el agua pueden

representar un peligro potencial serio, ya que pueden reaccionar con la hemoglobina de la sangre y reducir su capacidad de transportar oxígeno. En el caso del ganado, los rumiantes son especialmente susceptibles debido a que las bacterias presentes en su rumen tienen la capacidad de convertir el nitrato en nitrito, lo que aumenta el riesgo de intoxicación.

En cuanto a los cloruros presentes en el agua, suelen ser principalmente de sodio, magnesio, calcio y potasio. El cloruro de sodio es una sal beneficiosa que le confiere un sabor salado al agua, sin embargo, los cloruros de calcio y magnesio pueden darle al agua un sabor amargo y causar diarrea (Sager, 2000).

La presencia de arsénico en el agua subterránea utilizada para bebida humana o animal es uno de los problemas sanitarios más importantes a nivel mundial. Este elemento ampliamente distribuido en la naturaleza y de elevada toxicidad para los seres vivos, forma sales muy solubles en agua y en las aguas subterráneas de la zona en estudio su presencia es de origen natural (Bundschuh, et al., 2008).

Los valores de pH de las muestras analizadas se encuentran entre 6,8 y 7,9, rango apto para aguas de consumo bovino.

Es importante destacar que a medida que disminuye la calidad del agua que consumen los animales, se reduce progresivamente su ingesta, lo que afecta negativamente su nivel de producción, ya que existe una estrecha correlación entre la cantidad de agua que beben y la cantidad de forraje que consumen (Luque, 2000).

Conclusiones

El cálculo del ICA permitió demostrar que un alto porcentaje de las aguas subterráneas para consumo vacuno, en la cuenca lechera de Santa Fe, es de pobre calidad, pero se pueden encontrar pozos con calidad excelente y buena. El desafío consiste en lograr un tratamiento que permita alcanzar niveles aceptables de concentración de sales.

Referencias

- APHA. (2017). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition American Public Health Assoc.
- Basán Nickisch, M.; Pane J.; Sánchez L. (2018) Calidad del agua para consumo animal. INTA. Revista Voces y ecos. 42 (9). 34-36
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., & Tozer R.G. (1970). A water quality index: do we dare? Water Sewage Works 117, 339–343.
- Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter, M.I. (2008). Distribución de arsénico en la región sudamericana. Capítulo 4, 49-76. Ambientes afectados por el arsénico. Capítulo 5, 77-94. Movilidad del arsénico y procesos de transporte. Capítulo 7, 137-159. Distribución del arsénico en las regiones. Ibérica e iberoamericana. Argentina, CYTED.
- Fernández Cirelli, A., Schenone, N., Pérez Carrera, A. L., & Volpedo, A. V. (2010). Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. AUGM DOMUS, 1, 45–66.
- Horton, R. (1965). An Index Number System for Rating Water Quality. Journal of Water Pollution Control Federation. Vol. 37.
- Luque J. (2000). Calidad de agua para bebida de animales. INTA Estación Experimental Agropecuaria Chubut Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th. Ed. Washington, D.C., National Academy of Sciences. pp. 178-183
- Pérez-Gómez, L. M., Guerrero-Posada, P., & de la Caridad Suarez-Acuña, M. (2019). Calidad del agua subterránea en el municipio Jimaguayú. Revista Ingeniería Agrícola, 9(3).
- Sager R. (2000). Agua para bebida de bovinos. INTA E.E.A San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. www.produccion-animal.com.ar

INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DE RAFAELA EN EL AGUA SUBTERRÁNEA: ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Gutiérrez Gonzalo, Panigatti María Cecilia, Schierano María Celeste, Boglione Rosana,
Griffa Carina, Melidoro Javier, Jennerich Luciana

Grupo GEM (Grupo de Estudios de Medio Ambiente). Facultad Regional Rafaela.
Universidad Tecnológica Nacional.
Acuña 49, Rafaela, Argentina.
e-mail: labquimicautn@gmail.com

Introducción

En los últimos años, dentro de los métodos de disposición final y como solución al problema de la gestión de residuos generados por el crecimiento de la población, los rellenos sanitarios (RS) se han convertido en una alternativa comúnmente utilizada por los municipios. Este método consiste en la disposición de residuos orgánicos, generalmente, en grandes superficies de terreno impermeabilizadas, para que una descomposición controlada se lleve a cabo. En este proceso, se generan biogás y lixiviado como subproductos.

La producción de lixiviado se ve afectada por las precipitaciones, filtrándose a través de los residuos sólidos en descomposición y dando origen a estas corrientes líquidas caracterizadas por un gran número de sustancias (Wiszniewski et al., 2006), considerados el principal contaminante de un RS. Debido a que éstos suelen depositarse en el fondo de los RS, los mismos se impermeabilizan para evitar el ingreso de los lixiviados por escurrimientos pluviales y proteger los mantos acuíferos. El monitoreo y control de estos recursos son necesarios para garantizar la calidad del agua subterránea y controlar que no exista contaminación de estas.

En este trabajo, se estudió el RS de la ciudad de Rafaela, perteneciente a la Planta de tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Sólidos Especiales (RSE). El mismo fue inaugurado por la Municipalidad de Rafaela en 2003. Actualmente, el RS posee dos celdas, una ya finalizada con cobertura final y la otra en proceso de uso y construcción. Asimismo, la planta posee 28 pozos de monitoreo de lixiviados y 9 pozos de monitoreo de aguas subterráneas. En la Figura 1 se puede observar la disposición de los mismos.



Figura 1. – Distribución de los pozos de monitoreo de aguas subterráneas en el predio del RS de Rafaela.

El cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) es un método multiparamétrico que primeramente fue propuesto por Horton (1965) y que ha contribuido al desarrollo de éste. Relaciona tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos, mediante una serie de ecuaciones con el objetivo de evaluar el estado de un cuerpo de agua (Abbasi & Abbasi, 2012). Según Sa'ad-Noori et al., (2014), el método ICA ha sido utilizado debido a su

capacidad de expresar de forma integral la información de la calidad del agua subterránea de alguna región determinada.

En el presente trabajo, el ICA fue calculado para evaluar la calidad del agua subterránea del RS de Rafaela

El objetivo de este trabajo es el estudio de la influencia del RS de Rafaela en la calidad de las aguas subterráneas a través del cálculo del índice de calidad de agua (ICA) según los límites máximos permitidos para consumo humano en el Código Alimentario Argentino (CAA, 2019) tanto previo a la inauguración como en su posterior actividad.

Metodología

Desde el año 2003, se analizan semestralmente muestras de las aguas subterráneas del RS, extraídas de los pozos de monitoreo previamente mencionados. En cada caso, se determinaron los parámetros enunciados en Tabla 1:

Tabla 1.- Pesos relativos de los parámetros considerados para el cálculo del índice de calidad de agua subterránea según su importancia para la salud humana.

Parámetros	wi	Wi	Si
pH	1,00	0,01	7.50
Sólidos Totales (mg/l)	4,00	0,06	1500
Turbidez (NTU)	1.00	0.01	3.00
Dureza Total (mg CaCO ₃ /l)	3,00	0,04	400
Calcio (mg Ca ²⁺ /l)	3,00	0,04	50
Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	3,00	0,04	30
Cloruro (mg Cl ⁻ /l)	4,00	0,06	350
Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	4,00	0,06	400
Cromo Total (mg Cr /l)	5,00	0,07	0.05
Arsénico (mg As/l)	5,00	0,07	0.01
Cadmio (mg Cd/l)	5,00	0,07	5.00
Cinc (mg Zn/l)	5,00	0,07	1.00
Manganeso (mg Mn/l)	5,00	0,07	0.10
Mercurio (mg Hg/l)	5,00	0,07	0.001
Níquel (mg Ni/l)	5,00	0,07	0.02
Plomo (mg Pb/l)	5,00	0,07	0.05

Wi= peso relativo
wi= peso de cada parámetro
Si= subíndice de cada parámetro

Todas las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por APHA (2017).

La determinación del ICA consiste en cuatro etapas. En la primera, a cada uno de los dieciséis parámetros (Tabla 1) se les asignó una ponderación (wi) (valor entre 1 y 5) acorde con su importancia relativa en la calidad del agua para consumo humano. La ponderación máxima fue de cinco para los metales pesados, generalmente presentes en lixiviados, en función de los efectos adversos que producen en la salud humana.

En la segunda etapa se calculó el peso relativo (Wi) de cada parámetro de acuerdo con la ecuación del método del peso aritmético [1] (Brown et al., 1970) (Horton, 1965) (Tabla 1):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad [1]$$

W_i = peso relativo
 w_i = peso de cada parámetro
 n = número de parámetros

En la tercera etapa se determinó una escala de valoración de la calidad para cada parámetro (q_i). Para esto, se dividió la concentración resultante de cada muestra de agua analizada por su respectivo límite máximo permisible (S_i) de acuerdo con el Código Alimentario Argentino y el resultado fue multiplicado por 100 [2]:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} * 100 \quad [2]$$

q_i = calificación de la calidad
 C_i = concentración de cada parámetro químico en cada muestra de agua en mg/L
 S_i = límite máximo permisible en mg/L (C.A.A., 2019)

Finalmente, para calcular el ICA se determinó el SI_i usando la ecuación [3]:

$$SI_i = W_i * q_i \quad [3]$$

SI_i = subíndice de cada parámetro
 W_i = ponderación relativa
 q_i = calificación de la calidad

y se integraron los SI_i de todos los parámetros en la siguiente ecuación [4]:

$$ICA = \sum SI_i \quad [4]$$

ICA = índice de calidad del agua
 SI_i = subíndice de cada parámetro.

El resultado final es un único valor que permite clasificar el agua en cada punto de muestreo en cinco categorías, según la Tabla 2:

Tabla 2.- Clasificación según la calidad del agua.

Valor de ICA	Calidad del agua
Menor de 50	Excelente
De 50 a 100	Buena
De 100 a 200	Pobre
De 200 a 300	Muy pobre
Mayor de 300	No apta

Resultados

De las mediciones realizadas semestralmente, se eligieron los valores de los parámetros fisicoquímicos de cada pozo previo y post actividad del RS de Rafaela. Como el pozo 9 se inauguró posterior a la construcción de la celda, se desestima en la evaluación de este trabajo.

En la Tabla 3 se pueden observar los valores finales de ICA para cada pozo y su calificación según Tabla 2.

En general, la mayoría de los valores medidos en los pozos de monitoreo no tuvieron grandes variaciones. Sin embargo, se observaron aumentos en las concentraciones, tanto aguas arriba como aguas abajo. A pesar de estos incrementos, la actividad del RS no influiría en la alteración de los parámetros del agua subterránea.

La calidad química del agua subterránea en el predio del RS no es aceptable en ningún pozo monitoreado, resultando con calificación de "Pobre" la mayoría de los mismos. A lo largo del tiempo, se observa que los valores del ICA, en términos

generales, no han mejorado y tampoco han empeorado. Aunque se observa baja calidad del agua subterránea en el predio del relleno sanitario, no se evidencia importante contaminación como consecuencia de su actividad.

Tabla 3.- ICA de cada pozo previo y post inauguración RS.

POZO	FECHA	ICA	CALIDAD
1	diciembre de 2002	135.86	Pobre
	noviembre de 2016	204.98	Muy pobre
2	diciembre de 2002	107.96	Pobre
	agosto 2020	195.31	Pobre
3	diciembre de 2002	135.90	Pobre
	junio de 2021	132.82	Pobre
4	diciembre de 2002	118.51	Pobre
	agosto 2020	156.97	Pobre
5	diciembre de 2002	100.83	Pobre
	febrero de 2023	171.59	Pobre
6	diciembre de 2002	85.08	Buena
	abril de 2022	400.07	No apta
7	diciembre de 2002	106.37	Pobre
	abril de 2022	159.33	No apta
8	diciembre de 2002	145.68	Pobre
	febrero de 2023	172.92	Pobre

Según Tabla 3, los pozos 6 y 7 presentarían un deterioro en su calidad a lo largo del tiempo. Estas anomalías, pueden deberse a un caso particular de un cierto parámetro de gran peso en la ecuación que incide sobre el resultado final del ICA.

Conclusión

Mediante la utilización del método de ICA se demostró que la calidad de agua de los pozos de monitoreo del predio de RS de Rafaela, con fines de consumo humano no es aceptable en ningún pozo monitoreado. También, en términos generales, se puede observar que la actividad del RS no implicó degradación de la calidad del agua subterránea.

La baja calidad demostrada a través de los ICA, se puede justificar con las características naturales de la zona en estudio. Realizar un monitoreo semestral de los pozos de agua subterránea permitirá obtener una alerta temprana que permitirá utilizar medidas correctivas y/o paliativas ante su deterioro.

Referencias bibliográficas

- Código Alimentario Argentino. (2019).** "Artículo 982 - (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2019)".
- Abbasi & Abbasi (2012).** *Water Quality Indices. Elsevier 384 pp Hardback ISBN 978-0-444-54304-2. eBook ISBN 978-0-444-54305-9. Environ Earth Sci 71:4625–4628 DOI 10.1007/s12665-014-3141-9*
- R.G. (1970).** *A water quality index: do we dare? Water Sewage Works 117, 339–343.*
- Horton, R. (1965).** "An Index Number System for Rating Water Quality," *Journal of Water Pollution Control Federation. Vol. 37.*
- Sadat-Noori et al. (2014).** *Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. Environmental Earth Sciences 71(9).*
- APHA. (2017).** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9-56. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.*
- Wiszniewski, et al. (2006).** *Landfill leachate treatment methods, a review. Environ. Chem. Lett. 4, 51-61.*

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE SOBRE LAS HUELLAS HIDROLÓGICAS

Henríquez-Dole, Lenin^{1,2}, Gironás, Jorge^{1,3,4} y Meza, Francisco^{3,5}

¹Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago - Chile. lehenriquez@uc.cl

²Plataforma Interdisciplinaria para la Sostenibilidad de los Ecosistemas (EcoAgsus), Luján de Cuyo, Mendoza - Argentina

³Centro Interdisciplinario de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago - Chile.

⁴Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago - Chile. jgironas@puc.cl

⁵Departamento de Ecosistemas y Medioambiente, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago - Chile. fmeza@uc.cl

Introducción

Las huellas hidrológicas son una serie de indicadores que definen el régimen hídrico. Los cambios en el uso de suelo alteran el régimen hídrico, y su alteración se puede identificar a través de las huellas hidrológicas; sin embargo, usualmente la descripción del cambio de uso de suelo se hace sólo a través de su magnitud. Este estudio propone evaluar las métricas del paisaje de los diferentes usos de suelo como indicadores que conectan todas las propiedades del cambio de uso de suelo con las huellas hidrológicas. Imágenes Landsat del centro de Chile entre 1990 y 2017 fueron clasificadas en 5 usos de suelo para obtener una serie anual de 116 métricas del paisaje. A través de regresiones LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator), se obtuvieron relaciones entre las métricas del paisaje y 36 huellas hidrológicas en dos cuencas hidrológicas. Los resultados demuestran que sólo 74 de las métricas del paisaje ayudan a explicar la variabilidad de las huellas hidrológicas, y que en conjunto las métricas de Forma influyen más en el régimen hídrico sin importar la configuración del territorio; sin embargo, las métricas de agregación cobran más relevancia a medida los usos urbano y agrícola aumentan. Individualmente, los índices SPLIT e IJI de la vegetación y la agricultura, así como el de forma SHAPE MN del suelo urbano son las métricas más influyentes. A futuro, se espera que debido al cambio de uso de suelo el caudal promedio de los meses de octubre y septiembre disminuyan (8.5% al 2030 y 10.1% al 2050), y que el vaciado de la cuenca sea más rápido (promedio 20%). Los resultados indican la importancia de incluir otras características al momento de evaluar el cambio de uso de suelo en el régimen hídrico, conectando la planificación territorial con la hidrología y el cambio climático.

Metodología

Un conjunto de mapas de uso de la tierra y datos fluviométricos son la base para el análisis. El procedimiento comienza con la selección de imágenes satelitales de la región de estudio. Estas imágenes deben crear una serie temporal anual y categorizarse en mapas de uso del suelo para obtener métricas anuales del paisaje, que luego se comparan con las firmas hidrológicas: Indicadores de Alteración Hidrológica, que son obtenidos de los registros de caudal del río. La comparación se realiza a través del análisis de Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO), y la influencia sobre la hidrología se estima en función de la fuerza y la universalidad de las métricas del paisaje. A mayor influencia, mayor impacto sobre la hidrología de la región que debe tener una métrica de paisaje. Los efectos de los escenarios futuros de uso de la tierra sobre la hidrología en el área de estudio se evalúan con base en regresiones LASSO y la influencia encontrada con datos históricos (Figura 1).

Materiales y métodos

Para este estudio se seleccionaron dos cuencas dentro de la cuenca del río Maipo en la zona central de Chile: 1) Los Almendros, y 2) Rinconada de Maipo (RM) (Figura 2). Estas dos cuencas presentan una configuración paisajística diferente en el territorio. RM cubre 4.004 Km², mientras que Los Almendros es de 637 Km². La cuenca de RM es donde se

encuentra la mayor parte de la actividad humana, en oposición con Los Almendros, donde la actividad humana es insignificante. La actividad humana es considerada como el principal precursor del cambio de uso del suelo; por lo tanto, históricamente RM ha experimentado más cambios de uso de suelo que Los Almendros y se espera que continúe en la misma situación en el futuro (Henríquez-Dole et al., 2018).

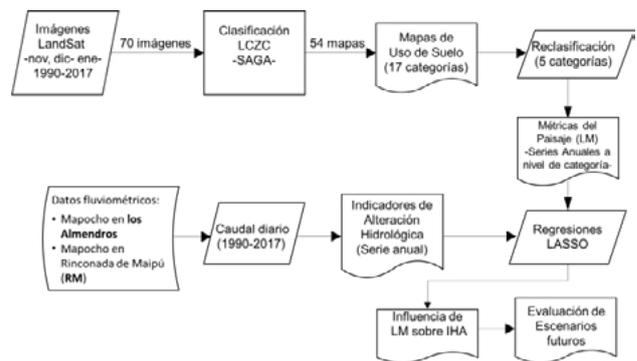


Figura 1.- Esquema metodológico

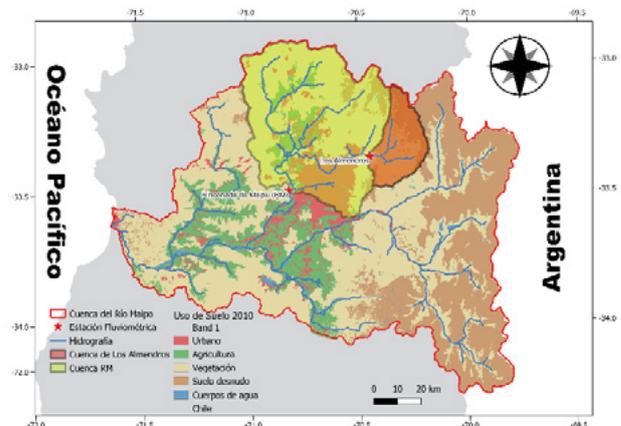


Figura 2.- Área de Estudio

Recolectamos 70 escenas satelitales LandSat libres de nubes de finales de primavera y verano entre 1990 y 2017 de la colección Earthdata de la NASA. Además, se utilizaron como imágenes de referencia dos imágenes clasificadas de 1999 y 2010 (Henríquez-Dole et al., 2018). El algoritmo Local Climate Zone Classification (LCZC) se utilizó como esquema de clasificación del uso del suelo. Finalmente, el esquema LCZC de 17 tipos de uso de suelo se reclasificó para lograr 5 categorías de uso de suelo: urbano, agricultura, vegetación, suelo desnudo y cuerpos de agua.

Para el análisis futuro se usaron los escenarios futuros de uso de suelo desarrollados para la región de estudio (Henríquez-Dole et al., 2018). Estos escenarios exploran diferentes configuraciones de paisaje en 2030 y 2050 debido a dos factores impulsores principales (crecimiento de la población y expansión urbana) expresados en Demanda Urbana Baja (LUD) o Demanda Urbana Alta (HUD), y bajo diferentes políticas (Business As

Usual-BAU- y Estrategia Ordenamiento Territorial -PROT-).

Para evaluar los cambios en los patrones de uso de suelo a lo largo del tiempo, se calcularon las métricas del paisaje (LM) para cada mapa de uso de la tierra usando FRAGSTATS v4.2 (K. McGarigal et al., 2015). Para asegurar que no haya colinealidad y que las LM sean independientes, se realizó un análisis de correlación entre todas las LM disponibles a nivel de clase (categoría de uso del suelo). Se seleccionaron aquellas métricas con pobre o nula correlación -correlación de Pearson ($r^2 < 0,3$ - entre ellas. Se seleccionó un total de 29 LM por uso de suelo para el análisis, dejando un total de 116 LM por mapa anual de uso del suelo.

Se eligieron las firmas hidrológicas del marco ELOHA (Límites ecológicos de alteración hidrológica) para la evaluación del cambio en el régimen hidrológico. Este marco propone un set de Indicadores de Alteración Hidrológica (IHA) categorizados en 6 grupos; además, también se incluyeron una serie de indicadores de los componentes del caudal ecológico totalizando 36 indicadores anuales dentro de este análisis.

Se utilizaron regresiones Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) para explorar la relación entre LM como variables predictoras de IHA. La regresión LASSO utiliza una técnica de regularización para obtener predicciones más precisas mediante la selección automática de variables (reducción) significativas para el modelo estadístico. Este tipo de regresión se utiliza para modelos con altos niveles de multicolinealidad, o cuando existe la necesidad de automatizar la selección de variables o la eliminación de parámetros.

Tres métricas adicionales se usaron para evaluar los resultados de las regresiones LASSO: fuerza, universalidad e influencia. La primera mide la magnitud promedio de una LM donde está presente; la segunda mide el número de veces que una LM está presente en todas las regresiones LASSO; y finalmente, la tercera, combina las mediciones anteriores en una sola para dar una magnitud de cuánta influencia tiene una LM sobre el IHA.

Resultados

En Los Almendros los grupos IHA 1, 2 y 5 tuvieron regresiones con los valores más altos, mientras que en RM todos los grupos IHA tienen al menos una respuesta satisfactoria, excepto el IHA 3. Solo aquellos IHA con desviación explicada $> 60\%$ fueron seleccionados para el análisis de los escenarios futuros.

La medición de la influencia del LM sobre el IHA mostró que solo 74 de los 116 LM evaluadas eran relevantes para la hidrología, y que las métricas de forma tienen una mayor influencia sin importar la configuración del paisaje (Figura 3). Se destaca que las LM agrícolas y las LM urbanas influyen especialmente en los grupos IHA 1, 2 y 5 (caudales medios, caudales extremos y tasas de subida/bajada); mientras que las LM de vegetación y suelo desnudo son relevantes dependiendo de su superficie en la cuenca (la superficie de vegetación es mayor que el suelo desnudo en RM, y viceversa en Los Almendros). Estos resultados implican que no todas las LM tienen influencia en la hidrología de una región, y que las métricas de forma, seguidas de las métricas de agregación necesitan más atención en el análisis hidrológico; pero aún se necesita más investigación para seleccionar definitivamente las LM con mayor influencia sin importar el territorio.

El tamaño de forma media urbana (SHP_MN) y el índice SPLIT para agricultura (Agro_SPLIT) aparecen en ambas cuencas como de las métricas más influyentes. El tamaño del área media de los parches urbanos tiene influencia en 4 de los 6 grupos IHA, pero mayor en IHA 1 y 2 (caudales medios y extremos). Mientras tanto, la desagregación agrícola (SPLIT) tiene más influencia en los mismos grupos IAH 1 y 2. Las áreas urbanas y agrícolas son donde los humanos realizan la mayoría de sus

actividades y donde la planificación tiene un impacto crucial. Prestar atención al tamaño de las nuevas urbanizaciones, y el tamaño y la forma en que se distribuyen los campos agrícolas en el paisaje parecen ser dos aspectos importantes para considerar en la futura planificación del uso del suelo si se quiere minimizar la alteración del régimen hidrológico. La relación entre la vegetación y el suelo desnudo con IHA parece estar más relacionada con la variabilidad del tamaño y la distribución de sus suelos, LM relacionadas usualmente con la fragmentación del hábitat, por lo que los ecosistemas como unidad también deben considerarse en la planificación del uso de la tierra.

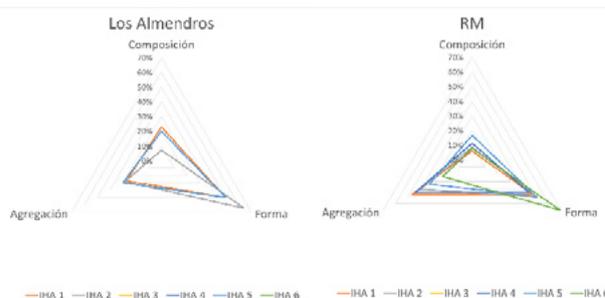


Figura 3.- Influencia de las Métricas del Paisaje sobre los grupos de Indicadores de Alteración Hidrológica

Los escenarios futuros de uso de suelo al 2050 que incorporan la planificación del uso de la tierra (PROT) reducen el efecto del cambio de uso de suelo sobre el régimen hidrológico. En Los Almendros todos los IHA del grupo 1 tienen menos reducción en PROT que los escenarios BAU, lo cual es más evidente cuando el caudal es mayor. Lo mismo ocurre con los IHA 2 y 5. En RM el ordenamiento territorial parece no ser tan efectivo como en Los Almendros. En muchos casos es similar, como en los caudales medios de abril donde BAU propone una reducción entre 8-12%, mientras que PROT propone una reducción entre el 8-9%. Pero, en la tasa de aumento del caudal máximo, BAU propone un aumento entre 5-29%, y PROT está entre 23-29%.

Conclusión

La aplicación de esta metodología ha demostrado que los LM con mayor influencia pueden identificarse en cualquier territorio, simplificando el análisis futuro de la configuración del paisaje y centrándose solo en aquellos relevantes para la gestión de los recursos hídricos. Aquí solo 74 métricas de paisaje (de 116) fueron relevantes. Seleccionar solo aquellos LM significativas para la hidrología abre una nueva ventana de investigación donde el paisaje se acopla con el agua, para escenarios históricos y futuros y, por lo tanto, vincula la geografía y la hidrología, donde los indicadores ecológicos se pueden vincular fácilmente. Esta es una nueva oportunidad para nuevas investigaciones interdisciplinarias en áreas temáticas históricamente separadas.

Referencias

- Boongaling, C. G. K., Faustino-Eslava, D. V., & Lansigan, F. P. (2018). Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land Use Policy*, 72, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.042>
- Henríquez-Dole, L., Usón, T. J., Vicuña, S., Henríquez, C., Gironás, J., & Meza, F. (2018). Integrating strategic land use planning in the construction of future land use scenarios and its performance: The Maipo River Basin, Chile. *Land Use Policy*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.045>
- McGarigal, K. S., Cushman, S., Neel, M., & Ene, E. (2015). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps.
- McMillan, H. K. (2021). A review of hydrologic signatures and their applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(1), e1499. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1499>

ANÁLISIS DE LA POTENCIALIDAD DE CONTAMINACIÓN POR FOSFORO EN ACUÍFEROS DE AMBIENTES HALO-HIDROMÓRFICOS

Heredia, Olga S.¹, Tarditti, Andrés J.¹ y Martínez Soto Agustín N.¹

¹ Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 44533. CABA, Argentina.
E-mail: heredia@agro.uba.ar

Introducción

El fósforo (P) es un elemento escaso, el cual resulta necesario para la nutrición de las plantas, pero su exceso genera problemas de contaminación (CAT, 2001). Este nutriente existe en pequeñas cantidades totales en la corteza terrestre (entre 0,02 y 0,15 %), siendo en los ecosistemas un elemento limitante debido a su baja disponibilidad. Se encuentra en muy baja concentración en la solución del suelo (0,1 ppm a 0,3 ppm), y debe ser repuesto varias veces al día por las fuentes de reserva lábil (orgánicas e inorgánicas) para cubrir la demanda de las plantas. Estas lo absorben como $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} y en menor proporción en formas orgánicas (Mengel y Kirkby, 1987).

El P fue considerado un ion poco móvil en el suelo hasta que los estudios de adsorción-desorción realizados en las últimas décadas refutaron este concepto. Por la influencia que tiene este elemento en los procesos de eutrofización de acuíferos es que este empezó a ser estudiado con mayor énfasis en nuestro país (Heredia y Fernandez Cirelli, 2008). Por otro lado, existe una estrecha relación entre los procesos de transporte y acumulación de fósforo del suelo y la calidad del agua.

Los bajos halo-hidromórficos pueden generar “hotspots” de contaminación de acuíferos (Hall et al., 2023), desencadenando procesos de eutrofización (EPA, 1986). Por lo que analizar cuanto P_{sol} se está moviendo en el perfil es fundamental para conocer si este puede ser una recarga para el acuífero y contaminarlo. Por lo que, con el objetivo de analizar la potencialidad de contaminación de P en acuíferos, se analizaron distintas fracciones de P en perfiles de suelos halo-hidromórficos y P_{sol} en acuífero libre

Materiales y métodos

En las llanuras imperfectamente drenadas del sudeste de la provincia de Córdoba se seleccionaron dos áreas (E2 y E3) de las 3 planteadas por Tarditti et al. (2023) siguiendo la pendiente regional. Su ubicación se haya descrita en Vanier et al. (2022). Se identificó el sector de menor cota y se lo dividió en ambientes según el comportamiento superficial y vegetación dominante en Cynodon (C), Distichlis (D) y Salino (S) (6 sitios). Se tomaron muestras de suelo en perfil hasta llegar al acuífero libre (variable según la ubicación) y se les determinó pH, Conductividad eléctrica (CE_{es}), P extractable-Bray 1 (P_{ext}) y en el extracto 1:2,5 P soluble (P_{sol}), determinado por Murphy y Riley. Se calculó la relación P_{sol}/P_{ext} para conocer cuánto del P_{sol} forma parte del P_{ext} . En los mismos sitios en piezómetros preestablecidos, se tomaron muestras de agua del acuífero y se les determinó P.

Resultados y discusión

En ambas áreas de estudio son ligeramente a fuertemente salinos y alcalinos a fuertemente alcalinos (Fig. 1). Los valores más bajos de CE_{es} se dieron en C y D de E2 y en C de E3 con valores medios de 1,55, 2,55 y 1,82 $dS.m^{-1}$ respectivamente. En todos estos, la CE_{es} aumento en profundidad. Los ambientes S de E2 y E3, junto con D de esta última área fueron los más salinos con un valor máximo de 99,8 $dS.m^{-1}$.

En la Figura 2 se muestran los valores de distribución de P_{ext} y P_{sol} en perfil, que demuestran los altos valores de P_{sol} . Estos potencialmente podrían llegar al acuífero partiendo de valores bajos a medios de P_{ext} . En E2 los valores de P_{ext} tuvieron una

mediana de 9,2 ppm, y un P_{sol} que vario de 0,5 a 2,1 ppm. En E2, en C el P_{ext} fue de 12,1 ppm de mediana, variando de 2,8 a 25,1 ppm. En E3 el valor de la mediana del P_{ext} fue de 13,0 ppm. Aquí D fue el que presento mayor valor con 18,5 ppm, variando de 12 a 23 ppm. La fracción soluble tuvo un comportamiento similar, presentando E3 mayores concentraciones medias que E2 (2,22 y 1,51 ppm respectivamente), variando según ambientes.

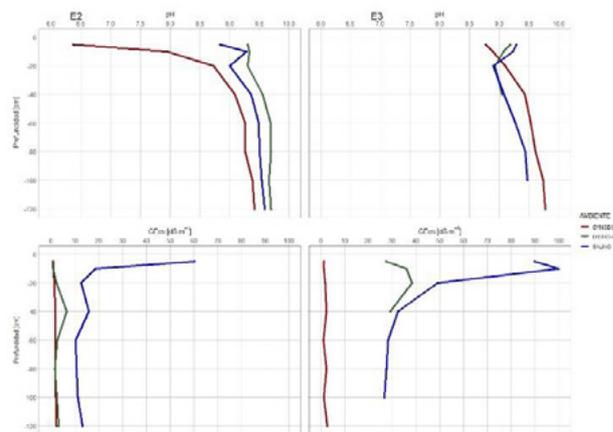


Figura 1.- Distribución en perfil de pH (arriba) y CE_{es} (abajo), y en las áreas E2 y E3. Rojo, Verde y Azul identifican a los ambientes Cynodon, Distichlis y Salino, respectivamente.

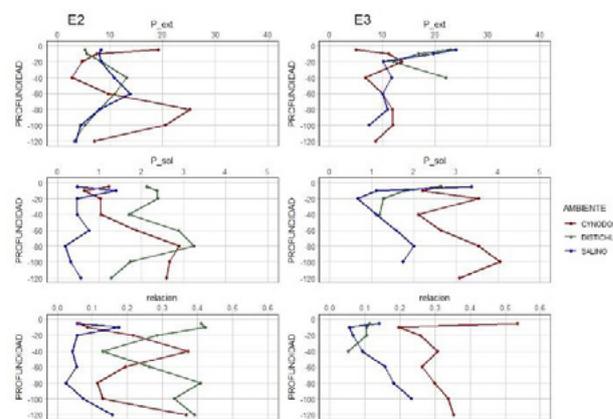


Figura 2.- Distribución en perfil de fracciones P_{ext} y P_{sol} , y relación entre ellas en las áreas E2 y E3. Los colores identifican ambientes (Fig.1)

Distichlis fue el ambiente con mayor P_{sol} en E2 con 2,21 ppm y en E3 fue Cynodon con 2,98 ppm. Los valores y la distribución del P_{sol} en los perfiles alcalinos no coinciden con los encontrados por Heredia (2005) en suelos de pradera en Buenos Aires que coinciden con la bibliografía internacional.

La relación entre P_{sol}/P_{ext} no difirió mucho entre áreas y ambientes, dando una idea que más allá de la cantidad de P_{ext} , el P_{sol} en E2 es importante y en C el valor de P_{sol} puede llegar hasta 4ppm muy cerca de la napa. En aquellos ambientes donde la relación P_{sol}/P_{ext} es alta, la cantidad de P que podría llegar al acuífero libre sería mayor.

Los valores medios de P soluble en la napa fueron en E2 de 0,17 a 0,34 ppm y en E3 de 0,27 a 0,73, valores muy altos, superiores a los aconsejados por la EPA. En ambos sitios fue D la que presentó los mayores valores, sugiriendo ser el punto de descarga areal y local.

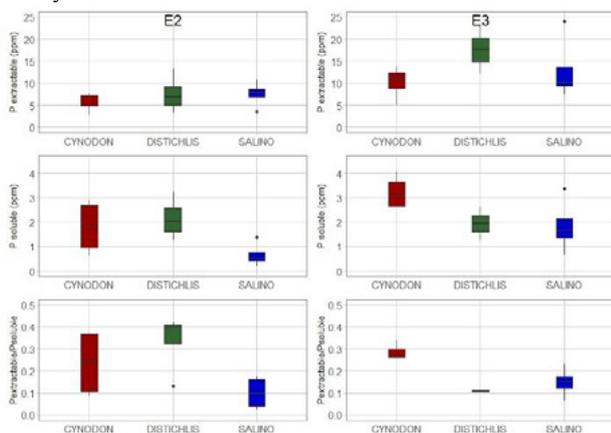


Figura 3.- Boxplot de concentraciones de fracciones P_{ext} y P_{sol} , y relación entre ellas en las áreas E2 y E3. Los colores indican ambientes (ver Fig. 2).

Conclusión

Los valores de P en solución y en napa son elevados. Monitorear los ambientes de bajo sería fundamental para gestionarlos y evitar la contaminación de los acuíferos. Es importante el monitoreo para conocer la dinámica de los elementos estudiados tanto en el suelo, como el enriquecimiento que puede producirse en el agua subterránea, generando su deterioro

Referencias

- CAT-UC162. Managing phosphorus for agricultural and the environment. The Pennsylvania State University 16pp
- EPA. 1986. Quality Criteria for Water: Office of Water Regulations and Standards, Criteria and Standards Division. EPA, 440/5-86-001. Washington, D.C., USA.
- Mengel K. and E. A. Kirkvy. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Switzerland. 687p
- Hall SJ., Tenesaca CG., Lawrence NC., Green DLS., Helmers J., Crumptonn WG., Heaton EA., VanLoocke A. 2023. Poorly drained depressions can be hotspots of nutrient leaching from agricultural soils. Journal of Environmental Quality.
- Heredia O.S. 2005. Relación entre los procesos de la zona no saturada y la composición del agua subterránea. Tesis doctoral. Fac. Cs. Veterinarias.UBA.333pp.
- Heredia O.S., Fernández Cirelli, A. 2008. Groundwater chemical pollution risk. Assessment through a soil attenuation index. Environmental Geology 53: 1345-1351
- Tarditti, A J, Heredia, OS y Casas, C. El acuífero libre del Sudeste de la provincia de Córdoba ¿Es apto para explotaciones agropecuarias?. Aceptado en CONAGUA 2023.
- Vanier, M, P. Del Fueyo, A. Tarditti 1, O. S. Heredia. 2022. Comportamiento germinativo de especies fitorremediadoras de ambientes edáficos salinos. Ciencia dl suelo 40 (1junio): 92-101. ISSN 1850-2067 Versión electrónica.

ACCESO AL AGUA Y URBANIZACIÓN POPULAR: HACIA NUEVAS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE REDES DE AGUA.

Ispizua Jeremías Juan

Doctor en Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones en Desarrollo Urbano, Tecnología y Vivienda, FAUD/UNMDP – CONICET.
Argentino
E-mail: Jereispizua@gmail.com

Resumen extendido

La urbanización popular es parte de la acción pública de los grupos sociales despojados de infraestructura y vivienda, que acceden a ellos a través de estrategias de gestión colectivas o individuales que incluyen alianzas entre actores, creación de instrumentos jurídicos y normativos y distintos niveles de articulación y conflicto con los organismos estatales y la sociedad civil. Así, estos sectores construyen y califican sus problemas y elaboran respuestas, en general, por fuera de los mecanismos denominados “formales” e “institucionales”.

Desde un enfoque sistémico, se habla de “procesos de urbanización popular” haciendo referencia a que estas prácticas se despliegan en distintas y diversas trayectorias socio-históricamente situadas, pero que responden a una forma de funcionamiento de las ciudades del sur global, que genera dinámicas de exclusión social y condiciones de despojo a gran parte de la población.

La urbanización popular se desarrolla así en un proceso continuo que va desde un extremo o momento “0”, de urbanización inversa, donde primero se habita el territorio y después se comienza a construir infraestructura, a un momento de infraestructura que alcanza o aparenta las condiciones de prestación y servicio establecida por la normativa de cada localidad. Esta aparente progresividad no es para nada lineal sino que se da en un derrotero más bien difuso y rizomático (Ispizua, 2023).

Tomando como referencia los datos del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación (2021), sólo el 13.7% de la población de los más de 5687 barrios populares accede al agua a través de la red formal. El resto, lo hace mediante procesos de urbanización popular.

Los distintos tipos de gobierno, según su orientación (Pirez, 2013) desarrollan planes y programas de infraestructura focalizados en estos sectores, que buscan dar respuestas a los distintos compromisos asumidos en el plano nacional e internacional. Gran parte de estos compromisos parten -o se enmarcan- en los acuerdos de la Agenda para el Desarrollo Sostenible suscrita en 2015 por 194 países. De sus 17 objetivos (ODS, ONU), el ODS 6 plantea “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y saneamiento para todos” para el año 2030. Estas metas han tenido su correspondencia operativa en los distintos Planes Nacionales de Agua y Saneamiento (PNAyS) de nuestro país y en informes de la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS, 2021;2023). Sin embargo, se observa que, conforme avanza la década, las expectativas de cumplir las metas de los ODS se asumen inalcanzables. Si en 2017 se propuso llegar al 100% para 2030 (PNA, 2017), los últimos objetivos disponibles (DNAPyS, 2023) plantean la meta de 2030 alcanzando el 98% del servicio urbano y el 65% de los barrios populares.

En los párrafos anteriores se describe entonces, por un lado, como los sectores populares articulan estrategias para construir infraestructura por fuera de los mecanismos formales e institucionales establecidos y, por otro, como los programas y estrategias a niveles nacionales e internacionales plantean dotar con infraestructura a estos sectores. Esta articulación entre las demandas locales y barriales de generación o mejora de

infraestructuras y los programas nacionales, desde la década de los 90’ ha recaído en un actor considerado como ámbito privilegiado de gobernanza y de proximidad con la sociedad: los gobiernos locales. Sin embargo, el proceso de reforma administrativa comenzado a finales de la década de los 70’ con la descentralización y municipalización, y consolidado durante los 90’ con el período de privatización y desmembramiento del aparato estatal, ha generado modelos de gestión local caracterizados por fuertes limitaciones políticas, insuficiente capacidad institucional instalada y escaso nivel de articulación promovidas desde lo local (Gargantini, 2005).

En este registro de análisis, el desafío aparece no solo como la necesidad de articular las demandas locales con los programas nacionales, sino principalmente en desarrollar capacidades institucionales que puedan interpretar a la urbanización popular y sus actores como parte de las respuestas concretas y posibles a la falta de redes de agua que la población empobrecida despliega, y en cómo se vinculan estas estrategias con los ámbitos institucionales y legales de los gobiernos locales para generar nuevas formas de gestión interinstitucional. En ese sentido, la hipótesis de este trabajo señala que la falta de estrategias de gobernanza que amplíen sus bases para la toma de decisiones y la falta de sistematización de experiencias alternativas de acceso al agua por fuera de los mecanismos tradicionales son los principales obstáculos que dificultan el cumplimiento de las metas propuestas por los Objetivos del Desarrollo Sostenible para el año 2030.

De aquí se desprenden las 3 dimensiones se abordan en este trabajo.

1. La dimensión de la urbanización popular, a partir de entender la infraestructura construida y estrategias posibles que, desde los sectores populares, navegan y abren intersticios institucionales y legales.
2. La dimensión política que subyace a la idea de “gestión hídrica”. Para eso, en este trabajo se retoman aspectos del concepto de ciclo y de contrato hidrosocial (Turton y Roland, 2002; (Swyngedouw, 2004), señalando el rol que tienen las relaciones sociales, institucionales y políticas en la circulación de las redes de agua y en quienes acceden al servicio y quienes no, desplazando la noción de ciclo hidrológico definido por las ciencias naturales y tomado en muchas ocasiones como única dimensión a para garantizar una gestión hídrica sustentable.
3. Por último, la dimensión de la sustentabilidad, entendida a partir de la participación de los grupos sociales en la toma de decisiones, por fuera de prácticas reguladas que anticipan un inicio y un final de la participación, y que en general están dadas en la etapa de implementación, (excluyendo el diseño, la planificación, el control y la administración).

Este trabajo se aborda desde la perspectiva teórico metodológica del enfoque socio-técnico, que permite pensar la gestión de redes (institucionales, barriales, sociales, políticas), sus articulaciones y componentes como procesos interactivos que permiten crear condiciones de desarrollo a la población destinataria, en general población en situación de “exclusión” social, que se “incluye” a partir del desarrollo de tecnologías y sistemas de componentes de hábitat y vivienda.

Referencias Bibliográficas

Gargantini, D. M. (2005). Gestión local del hábitat. Experiencias en municipios intermedios.

Gargantini, D. M., & Pedrotti, C. I. (2018). Capacidades institucionales del gobierno municipal en el diseño y gestión de políticas habitacionales. *Economía Sociedad y Territorio*, xviii, 319–357. (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Córdoba.

Ispizua, J. (2023). Acceso a infraestructura de agua: políticas públicas y gestión en procesos de urbanización popular. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Quilmes.

Pírez, P. (2013). Perspectivas Latinoamericanas para el estudio de los servicios urbanos. *Cuaderno urbano*, 14 (14) Pp. 173-192

Swyngedouw, E. (2004). *Social power and the urbanization of water*. Oxford: Oxford University Press.

Tobías, M. (2017). Política del agua, controversias socio-técnicas y conflictos territoriales en el Área Metropolitana de Buenos Aires (2006-2015). (Tesis de doctorado) Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires

Turton, A., y Roland, H. (2002). *Hydropolitics in the developing world*. Sudáfrica. African Water Issues Research Unit (AWIRU): Universidad de Pretoria.



Figura 3.- Muestreo Arroyo Garupá.

Los parámetros fisicoquímicos determinados en el Laboratorio fueron Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruros, Carbonatos, Bicarbonatos, Nitratos, Nitritos y Hierro; estos se seleccionaron para evaluar la calidad de agua usada para riego y de acuerdo a la oferta de análisis del laboratorio. Las metodologías utilizadas para el análisis microbiológico de agua se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Metodologías para análisis microbiológico.

Parámetro	Método
Aerobios mesófilos totales	APHA 9215 B
Coliformes totales	APHA 9221 B. Tabla 9221 III
Termotolerantes	Caldo verde brillante, 44°C, 48hs, NMP/100ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	APHA 9213-F
<i>Escherichia Coli</i>	Chromobrit CC. 37°C

Los valores obtenidos en la experiencia fueron contrastados con Normas establecidas para calidad de agua de riego (Ayers y Wescot, 1994); a nivel provincial no se cuenta con reglamentación sobre este uso del agua. Para consumo humano se utilizó como referencia el Código Alimentario Argentino (CAA, 2021).

Resultados

Los parámetros fisicoquímicos evaluados cumplieron en su mayoría lo establecido en las regulaciones para utilizar el agua con fines de riego, siendo los valores de conductividad eléctrica menor a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos disueltos totales menor a 450 mg/L, cloruros menor a 36 mg/L, nitratos menor a 10 mg/L. Como excepción, el pH de dos muestras superó el valor de 8,4 para aguas de riego y correspondieron a pozos perforados. Un pH alto puede afectar a la disponibilidad de nutrientes y favorecer un desequilibrio entre iones, por lo que en estos casos debería considerarse la posibilidad de acidificar el agua antes de ser utilizada. Los valores de oxígeno disuelto se encontraron entre 5,7 y 10, siendo aceptables para fuentes de agua.

Con respecto a los indicadores microbiológicos, el 46% de las muestras tuvieron presencia de *Escherichia coli*. En particular, durante el muestreo realizado en verano, hubo un 67% de muestras con presencia de *Escherichia coli*. Este microorganismo es indicador fehaciente de contaminación fecal de tipo reciente y puede provenir de desechos humanos o animales. Su ingesta puede producir enfermedades graves como infecciones en las vías urinarias, bacteriemia, meningitis, diarrea aguda (Ríos-Tobón et. Al, 2017) y a su vez indica la posible presencia de otros patógenos. Si bien en algunos casos muestreados los tenores de esta bacteria son bajos, el agua para consumo, uso doméstico o higiene personal debe estar libre de microorganismos que produzcan enfermedades, debiendo siempre no subestimar este tipo de contaminación. Realizando una valoración de calidad de agua desde el aspecto microbiológico, la fuente de mejor calidad fueron los pozos perforados encamisados de 280 y 100m, le siguieron en el orden

de valoración: fuente superficial ubicada en la reserva natural, vertientes con y sin protección, pozo perforado (84 m), arroyo (Garupá) y pozo somero a cielo abierto. Este último posiblemente tuvo un deterioro en su calidad por acumulación del agua durante tiempo prolongado y escaso mantenimiento.

Conclusiones

En relación a los hallazgos encontrados en este trabajo, se considera necesario implementar mejoras en la infraestructura, acciones de mantenimiento y prácticas de manipulación y tratamiento del agua para solucionar los problemas microbiológicos identificados, que pueden resultar en un riesgo para la salud. En el caso en el que el agua de estos sitios se utilice para consumo humano, se requiere realizar un tratamiento previo de filtrado cuando sea necesario y posterior desinfección con métodos convencionales como ebullición, cloración o radiación UV.

En zonas periurbanas y rurales pueden observarse situaciones en las cuales acceder a un agua de calidad sea un factor limitante por problemas de contaminación química o microbiológica. Es necesario realizar análisis de las fuentes de agua para conocer su calidad y tomar medidas al respecto. A partir de los resultados tomar acciones tendientes al cuidado del recurso, favorecer la infiltración del agua, evitar su contaminación, proteger las fuentes de agua con barreras que reduzcan y limiten su contaminación.

Los datos obtenidos a nivel local serán comparados con las diferentes calidades de agua obtenidas en los otros Sitios Pilotos a nivel nacional. En los próximos monitoreos se prevé incorporar nuevos indicadores de calidad de agua que puedan complementar la información y colaboren en la toma de decisiones de la gestión del agua.

Agradecimientos

Para la realización de las actividades se contó con financiamiento del “Programa Impactar Ciencia y Tecnología” desafío N°48.

Referencias Bibliográficas

- APHA (2005) *Standard methods for the examination of water and waste water*, 21st edn. American Public Health Association, Washington, DC.
- Ayers, R. S., & Wescot, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. Obtenido de FAO: Riego y Drenaje: <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm>.
- CAA - Código Alimentario Argentino (2021) Capítulo XII -Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua potable Artículo 982 -Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012. Actualizado al 8/2021.
- Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. LC/G.2681-P/Rev.3, Santiago.
- ONDTyD (2019). Sitio Piloto Cuenca Arroyo Garupá, Misiones. Obtenido de <http://www.desertificacion.gob.ar/sitiospiloto/?sp=2415>.
- Organización Mundial de la Salud (2019). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva. Obtenido de: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
- Ríos-Tobón, S.; Agudelo-Cadavid, R.M.; Gutiérrez-Builes, L.A. (2017). “Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano”. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*; 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08.

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LAS INTERVENCIONES DE LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE LOS CAUCES DE AGUA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

HACIA LA RESTAURACIÓN FLUVIAL

Guillermo Jelinski, Paula A. Ramírez y Adriana C. Rojas Barrios

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

guillejelinski@gmail.com; paula.ramirez.ambiental@gmail.com; adri.rojas.barrios@gmail.com

Introducción

Una actividad restaurativa es aquella que directa o indirectamente apoya o logra la recuperación de los atributos del ecosistema que se han perdido o degradado. (Gann et al., 2019). En ese sentido, en este trabajo se desarrollaron recomendaciones sobre las Buenas Prácticas que nos lleven a iniciar el proceso de restauración en los cauces y arroyos de la Provincia de Buenos Aires que se conviertan en los primeros pasos hacia una futura restauración ecológica. Estas recomendaciones se basan en el análisis de los conceptos básicos, la zonificación ambiental de la Provincia, el marco legal y normativo que nos compete y sobre el diagnóstico de la situación actual de las intervenciones manuales de limpieza y mantenimiento que se llevan a cabo por parte de la Subsecretaría de Recursos Hídricos

¿PARA QUÉ UN MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS? *La necesidad y pertinencia de este documento*

Se pretende establecer los lineamientos para esta primera etapa de Restauración y lograr la reducción de Impactos de las tareas de limpieza y mantenimiento de los cauces y cuerpos de agua, con un alcance interno y destinado a los supervisores territoriales, supervisores administrativos, y agentes del Ministerio de Infraestructura y servicios públicos relacionados a las obras de limpieza y mantenimiento que se llevan a cabo por parte de la Dirección de Mantenimiento de la Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires. Así como también a referentes y trabajadores de las cooperativas que realizan las tareas de limpieza y mantenimiento en la Provincia

¿CÓMO SE REALIZAN LAS INTERVENCIONES DESDE LA SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS? *Estado de situación que motiva la elaboración del Manual.*

A partir de las visitas y de las entrevistas realizadas, se identificaron un conjunto de problemáticas con respecto a la realidad en el territorio y los criterios y mecanismos de trabajo. Se listan a continuación las problemáticas encontradas:

1. Los centros urbanos densamente poblados, suelen tener alta presencia de residuos sólidos domiciliarios y un servicio de recolección deficiente. 2. Se observa la presencia de efluentes cloacales que vuelcan de forma directa sobre los cauces y arroyos. 3. Ciertas infraestructuras (ej. puentes, entubamiento de canales) pueden acumular residuos e interrumpir la correcta circulación del agua. 4. No existe una unificación de criterios en cuanto a qué son las Buenas Prácticas en los agentes que realizan y supervisan las intervenciones manuales de limpieza y mantenimiento. 5. En las intervenciones de limpieza y mantenimiento no existe

una evaluación previa del estado ecológico de los arroyos. 6. Existe una proliferación importante de especies vegetales invasoras en todos los lugares visitados. 7. No hay un programa de restauración ecosistémica incluido en las acciones de intervención. 8. Existe una necesidad de capacitación a dos niveles: *i)* Los supervisores de las cooperativas y *ii)* Las y los trabajadores de las cooperativas de limpieza y mantenimiento.

RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LAS INTERVENCIONES DE LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO. *Lo que proponemos hacer desde la Subsecretaría*

Las recomendaciones que contiene el Manual se ubican en el primer escalón de la Restauración de Ecosistemas que busca reducir los impactos socio-ambientales que pueden llegar a generar las intervenciones de limpieza y mantenimiento que se realizan en los cauces, arroyos y lagunas de la PBA y son:

1. Metodología para la evaluación de la complejidad del tramo de los cauces y arroyos. La medición del Índice de complejidad del tramo está realizada con 5 variables, luego de evaluar un tramo, se obtiene un valor total, el mismo ubica al tramo en uno de los 3 niveles de complejidad.

2. Metodología para la evaluación ambiental expeditiva del estado ecológico del cauce. Para la evaluación ambiental del tramo se diseñó una ficha de campo que permite el relevamiento de la información necesaria para conocer el estado ecológico del tramo, tomando en cuenta parámetros cualitativos de calidad de agua, calidad ambiental y manejo de residuos.

3. Contenido y metodología para un Programa de capacitación. Se desarrollaron dos programas de capacitación, uno dirigido a los trabajadores de las cooperativas y otro dirigido a los supervisores. Compuesto por 2 temas principales: a. Buenas Prácticas Ambientales y b. Riesgo Hídrico.

4. Guía para la elaboración de un Plan de Gestión Ambiental interno de la Dirección de Mantenimiento para cada Tramo. Se establecen 7 programas que conformar el Plan de Gestión Ambiental, dicho programas son 1. Restauración ecosistémica en el tramo, 2. Manejo y gestión de flora local e invasora, 3. Educación, 4. Monitoreo, 5. Seguridad e higiene en el trabajo, 6. Gestión Integral de Residuos y 7. Monitoreo y Seguimiento del Plan.

5. Diseño de un Sistema de Información Geográfica. Se propone la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) datos espaciales que puedan ser relevantes para las evaluaciones de la degradación y los proyectos de restauración, así como para nuclear los datos relevados en este Manual.

Estas recomendaciones ya han empezado a aplicarse y para la elaboración y ejecución del Plan de Gestión Ambiental se

está realizando una prueba piloto en la localidad de Jeppener (Municipio de Brandsen) en el Arroyo González, en la que colaboran investigadores del ILPLA.

RESULTADOS PRELIMINARES. Qué hemos hecho hasta ahora.

1. Se evaluó la complejidad de 108 tramos y el estado ambiental de 90 tramos. El nivel de complejidad y el estado ambiental determinará los programas que componen el Plan de Gestión Ambiental del tramo. 2. Se realizó una prueba piloto de los Programa de Capacitación; se llevaron a cabo un total de 10 talleres con las cooperativas de trabajo que realizan las tareas de limpieza y mantenimiento, donde se trabajó con un total de 20 cooperativas abarcando un total de 28 convenios, siendo en total alrededor de 600 trabajadores capacitados en Buenas Prácticas Ambientales. Así mismo se realizó el taller de Gestión del Riesgo Hídrico con 140 trabajadores de cooperativas (Figuras 1 y 2).



Figura 1.- Capacitaciones brindadas a trabajadores de cooperativas



Figura 2.- Capacitaciones brindadas a supervisores

3. En la prueba piloto del Plan de Gestión Ambiental en Jeppener se avanzó con el *Programa de restauración del tramo*, donde se instaló una parcela de monitoreo. El diseño cuenta con 5 puntos de muestreos de agua y con 3 tramos donde los trabajadores no extraen la vegetación (Figura 3).

CONCLUSIONES

El Manual se constituye en un material de trabajo para que empecemos a mirar el ecosistema asociado a los cuerpos de agua y tener a disposición una herramienta para minimizar el impacto de nuestra intervención.

Los arroyos y ríos son organismos vivos, que requieren ser revalorizados, restituir su importancia en todas las formas de vida que tenemos en el planeta y dejar atrás la mirada antropocéntrica que solo los veía como canales de desagüe o incluso como obstáculos a la urbanización, entubándolos y desapareciéndolos del paisaje.

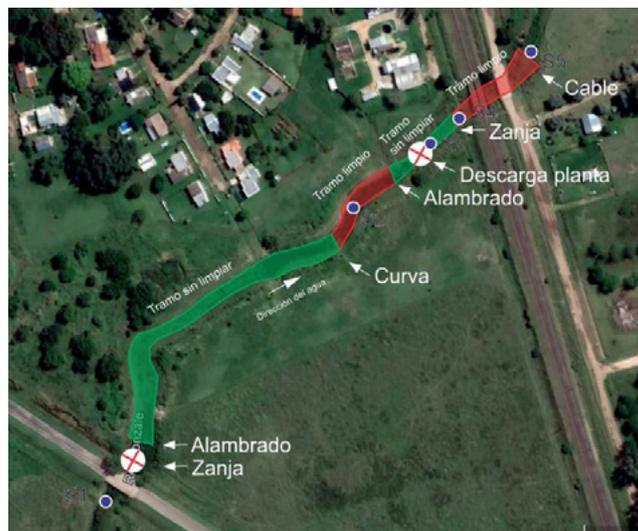


Figura 3.- Diseño experimental para la implementación de los programas de monitoreo y restauración ecosistémica del tramo. (Realizado por investigadores del ILPLA).

Hoy la crisis climática nos hace un llamado a repensar todas nuestras políticas y prácticas instituidas y por eso creemos que la restauración de los ecosistemas acuáticos es urgente, teniendo que abrirnos paso en la complejidad que representan los densos centros poblados de nuestra provincia.

Hicimos este primer ejercicio, esperando aportar a esa utopía de la restauración ecosistémica y fluvial, que nos ayude a cuidar el agua, y a mitigar el riesgo hídrico.

Referencias Bibliográficas

Cocheo, J., Cortelezzi, A., Tarda, A.S., Gómez, N., Santiago Tarda, A. & Gómez, N. (2016). A index to evaluate the fluvial habitat degradation in lowland urban streams. *Ecological Indicators*, 71:134-144.

Gann G. D., McDonald T., Walde R B., Aronson J. Nelson C. R. , Jonson J. , Hallet J. G. , Eisenberg C. Guariguata M.R. Liu J., Hua F., Ehevverria C., Gonzales E., Shaw N., Decler K., Dixon K.W. (2019). Principios Y Estándares Internacionales Para la Práctica de la Restauración Ecológica. Segunda Edición. *Restoration Ecology* 27(S1): 1-S46.

Secretaría de Obras Públicas. (2003). Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano. Presidencia de la Nación.

PROGRAMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE CIANOBACTERIAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Guillermo Jelinski, Paula A. Ramírez y Facundo Bordet

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
E-mail: guillejelinski@gmail.com; paula.ramirez.ambiental@gmail.com; facundohfb@gmail.com

Introducción

El crecimiento de sistemas productivos intensivos y de ocupación territorial ha traído un problema de manejo de desechos y un aumento de la contaminación ambiental. Estas actividades generan impactos y deterioro sobre la calidad de las aguas dulces superficiales, a través de descargas sobre las mismas. Estos cambios producidos, dan lugar al proceso de eutrofización, del cual hace tiempo se reconoce la conexión entre el enriquecimiento de nutrientes de origen antrópico, y la expansión de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas (Huisman et al., 2005; Paerl and Otten, 2013a), siendo las últimas uno de los indicadores más adecuados por el peligro de sus cianotoxinas para el ganado y consumo humano (Falconer, 1994). Ante este emergente ambiental que son hoy las floraciones de cianobacterias en la Provincia de Buenos Aires (PBA) la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) ha generado el Programa de Gestión Integral. Este programa contiene 3 componentes: 1. Un Sistema de Alerta Temprana (SAT), 2. Generación de Planes de Manejo de Cuerpos de Agua; y 3. Educación y Capacitación.

La ejecución del programa se inició en noviembre de 2020 a partir de las floraciones ocurridas en el Río de La Plata y que generó la interrupción del servicio de agua potable para las poblaciones de La Plata, Berisso y Ensenada. A partir de enero de 2022 se extendió a todo el territorio de la Provincia de Buenos Aires.

En un principio se estableció una Mesa Interinstitucional de la Región Capital que convocó a diversos actores. Posteriormente, al ampliar su alcance y establecerse como un Programa Provincial coordinado por la SSRH, a través de su Dirección de Monitoreo Hídrico (DMH), se estableció una mesa de consultas conformada por representantes de la Autoridad del Agua (ADA), los Ministerios de Salud, de Ambiente, de Seguridad y de Desarrollo Agrario de la PBA, de las Empresas ABSA y AYSA, del Ministerio de Ambiente de la Nación y la (RIIGLO) y desde la academia con representantes del (CIC), el (Conicet-La Plata) y la UBA. Así mismo, también participan los referentes de los municipios que hacen parte del Sistema de Alerta Temprana (SAT).

En su ejecución es fundamental el diálogo y trabajo conjunto con los municipios, asesores técnicos especialistas en cianobacterias, investigadores, organismos provinciales y la comunidad en general.

Objetivo General

Diseñar, articular, ejecutar e implementar acciones, para lograr una gestión integral de cianobacterias que apunte preventivamente a reducir aportes de nutrientes derivados del uso y manejo del suelo en los cuerpos de agua de la PBA y tenga como meta generar un SAT que posibilite informar a los usuarios sobre la seguridad y los riesgos derivados de la presencia de cianobacterias

Objetivo Específico

1. Generar un SAT que posibilite informar a los usuarios sobre la seguridad y los riesgos derivados de la presencia de cianobacterias en los cuerpos de agua de la PBA.
2. Establecer un Programa permanente de Educación y

Comunicación sobre Cianobacterias a través de charlas, cursos, talleres, material didáctico y todas aquellas actividades que fortalezcan las capacidades de los municipios y la comunidad en general en la gestión integral de las floraciones

3. Atender desde un enfoque participativo la problemática eutrofización, entendida como el enriquecimiento de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo, proveniente de aportes difusos y puntuales derivados del uso y manejo del suelo), en los municipios de la PBA, para los cual se promueven los Planes de Manejo de Cuerpos de Agua

Área de estudio y Métodos

El desarrollo del programa se lleva a cabo en el territorio de la PBA, dado el emergente ambiental que son las floraciones de cianobacterias. Para el cumplimiento del objetivo referido a la implementación del SAT por Cianobacterias se generó un sistema de gestión y comunicación donde se incorporaron una serie de indicadores visuales que permiten emitir un nivel de alerta correspondiente para cada punto observado.

Este sistema ha permitido la incorporación progresiva de Municipios y a sensibilizar a la población, procurando la conformación de un grupo promotor interinstitucional que fomente el cuidado de los cuerpos de agua en general y en particular lo asociado a las Floraciones Algales Nocivas - FAN.

En primer lugar, la ADA emite un informe del Monitoreo Satelital que realiza de forma permanente los 365 días del año. En paralelo los Municipios, con la colaboración de la comunidad, envía las fichas de observación y fotografías del Monitoreo de Campo de forma periódica y en tercer lugar tenemos a disposición los laboratorios de la ADA y de la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) para determinar el bio volumen de cianobacterias y niveles de microcistina. Con estos componentes se actualiza de forma periódica el SAT. (Figura 1)



Figura 1.- Procedimiento de actualización desarrollado en el sistema de alerta temprana mediante la obtención de indicadores de múltiples enfoques.

Así mismo, la implementación de este SAT en el marco de una Gestión Integral de Cianobacterias, impulsada como política pública provincial, ha permitido identificar ejes de acción orientados a la educación, comunicación y capacitación permanente tanto a agentes públicos como comunidad en general y ofrecer el acompañamiento en la gestión integrada de varios de los cuerpos de agua de la PBA para disminuir los riesgos asociados a las cianobacterias. Resultando una poderosa herramienta a la hora de tomar medidas de acción para mitigar los efectos en los ecosistemas.

Evaluación de resultados

Ante la ocurrencia de eventos de floraciones de Cianobacterias en la PBA, la SSRH con sus diferentes áreas, logró reunir a representantes de diversos organismos referentes de la provincia y a los propios municipios en torno a pensar y ejecutar estrategias endógenas de adaptación, posibilitando la conformación de sistemas locales de gestión de la problemática con capacidad de tomar decisiones en base a escenarios locales dinámicos y complejos.

Se realizaron monitoreos en cuerpos de agua del interior de la provincia y del Río de La Plata mediante la utilización de métodos convencionales e innovación tecnológica:

- Monitoreo de campo tradicionales programados: con mediciones in situ de parámetros físico-químicos, colecta de muestras en recipientes desde costa o embarcados, análisis en laboratorio de parámetros químicos y biológicos (fitoplancton, cianobacterias y cianotoxinas)
- Monitoreo visual integral: llevado adelante por referentes capacitados de los municipios y comunidad que se involucró, mediante el registro de características observables ponderadas del cuerpo de agua
- Monitoreo Satelital; a través de la plataforma M.A.S. desarrollada por la ADA - SSRH.

Se implementaron cursos virtuales y talleres presenciales de monitoreo de campo, y material didáctico fortaleciendo las capacidades de los municipios y la comunidad en general. Se capacitó a más de 600 personas de manera virtual, tanto a empleados públicos del ámbito municipal y provincial como de la comunidad en general. Esta capacitación virtual logró la certificación del Instituto Provincial de la Administración Pública (IPAP) lo que permite otorgar puntaje para los agentes públicos. Así mismo, se desarrollaron talleres presenciales de adaptación y reflexiones frente al proceso de eutrofización que tienen varios de los cuerpos de agua de la PBA que nos permitan avanzar en su mitigación. Así mismo se realizó un Manual de Buenas Prácticas de Gestión de Cianobacterias, que se puede descargar de forma digital.

Un componente muy importante fue la comunicación, que nos permitió llegar a la población para informar sobre los riesgos asociados a las cianobacterias, por medio de una herramienta virtual; conocida como "Cianosemáforo", la cual permite indicar el grado de riesgo de una floración y es de acceso público.

En el sitio web oficial www.gba.gov.ar/cianobacterias de acceso público, se presenta un mapa donde se señalan los niveles de alerta indicados en una escala de verde a rojo, de acuerdo al grado de riesgo, con el objetivo principal de evitar que bañistas y deportistas acuáticos pongan en riesgo su salud por la exposición a cianobacterias presentes en el agua (Fig. 3). Dentro de este SAT se encuentran participando 28 municipios, reportando información de 64 puntos, en los que se incluyen 21 lagunas de la PBA.

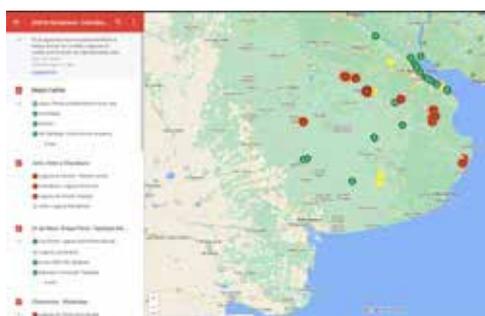


Figura 2.- Mapa de Google My Maps que aloja el cianosemáforo

El cianosemáforo contiene además recomendaciones asociadas a los 4 niveles de alerta y una breve descripción de lo que se puede encontrar en cada uno. (Fig. 3)



Figura 3. Niveles de alerta y clasificación de colores según el riesgo a cianobacterias y las recomendaciones a seguir para cada caso

Conclusiones y/o Recomendaciones

Ante un emergente hidroambiental como lo son las cianobacterias se generó un Política Pública Provincial para su manejo en lo referido al agua de uso recreativo.

Se logró articular componentes sociales y ambientales claves permitiendo motivar la participación sostenida de los actores identificados como claves, conformando un Sistema de Alerta Temprana (SAT) que estimuló en el corto y mediano plazo, procesos participativos sustentables que permitieron el abordaje en la resolución de las problemáticas socioambientales.

Los resultados obtenidos visualizan claramente el nivel de emergencia ambiental en los diversos cuerpos de agua del territorio de la provincia, relevados por medio de los valores de los indicadores tales como: concentración de clorofila a, densidad de cianobacterias, y características observables in situ. La estrategia expresada como tal en su conjunto, haciendo referencia en éste sentido a los resultados de los indicadores del SAT en los cuerpos de agua de la provincia, obtenidos por medio de la articulación de metodologías, brindó un "Alerta a la población sobre la posible presencia de cianobacterias potencialmente tóxicas", la cual no tiene antecedente a nivel provincial.

Se hace necesario avanzar en la generación de redes a nivel federal principalmente en torno al desarrollo e implementación de análisis de laboratorio que nos permitan contar con información más frecuente sobre las diversas cianotoxinas que puedan estar presentes en los distintos cuerpos de agua de uso recreativo.

Referencias

- Falconer, I.R., (1994).** "Health problems from exposure to cyanobacteria and proposed guidelines for drinking and recreational water". En: G.A. Codd, T.M. Jefferies, C.W. Keevil & E. Potter [Eds]. "Detection methods for Cyanobacterial Toxins". Royal Society of Chemistry, Cambridge, 3-10.
- Huisman, J. M., H. C. P Matthijs and P. M. Visser (2005).** "Harmful cyanobacteria". Springer Aquatic Ecology Series 3. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 243.
- Paerl, H. W. & T. G. Otten, (2013).** "Harmful Cyanobacterial blooms: causes, consequences and controls". *Microb. Ecol.*, 65: 995-1010

PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES EN TORNO A LA EXPLOTACIÓN DE LITIO EN LA PUNA ARGENTINA

Kwaterka Verónica.^(a), Orzanco Joaquín^(a), Sticco Marcelo^(b)

a) Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (IIIA), CONICET, Av. 25 de Mayo y Francia, B1650HMP, General San Martín, San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

b) Área de hidrogeología, Departamento de Ciencias Geológicas, FCEyN (UBA), Intendente Güiraldes 2160, 1428 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

vkwaterka@unsam.edu.ar, jorzanco@unsam.edu.ar, msticco@gmail.com

Introducción

Argentina es uno de los tres países con mayores reservas de litio en el mundo (USGS, 2023), hecho que ha promovido campañas de exploración en distintas cuencas endorreicas de la Puna argentina. Si bien existen algunos proyectos de explotación en funcionamiento desde hace varias décadas, en los últimos años las solicitudes de exploración y explotación han aumentado drásticamente.

Los depósitos de litio se encuentran en las cuencas endorreicas que integran la provincia geológica de la Puna (Turner, 1972), dentro de los territorios provinciales de Jujuy, Salta y Catamarca. La Puna se trata de una región topográficamente elevada (mayor a 3.000 m) y extremadamente árida, donde las bajas tasas de precipitación (inferiores a 350 mm anuales) y elevadas tasas de evaporación generan un alto déficit hídrico. La extrema aridez y la gran cantidad de sales acumuladas durante largos períodos de tiempo son responsables de las escasas reservas de agua dulce o salobre presentes en las cuencas, las cuales suelen almacenarse en los depósitos permeables de los abanicos aluviales (García et al., 2011; Marazuela et al., 2018).

La minería de litio es muy diferente a la minería clásica y guarda mayores semejanzas técnicas con la explotación de petróleo y gas. El litio se explota por extracción de salmueras subterráneas mediante perforaciones, luego se concentra por evaporación en piletones o por métodos de extracción directa, y por último se procesa en plantas generalmente ubicadas en el mismo yacimiento. Todas estas actividades representan un riesgo de impacto ambiental en las cuencas con un elevado grado de incertidumbre debido a la falta de líneas de base ambientales y al carácter novedoso de este tipo de explotación. Entre ellos, la sobreexplotación de acuíferos es uno de los impactos más complejos de monitorear, especialmente cuando la disponibilidad de datos no permite hacer una correcta estimación de la recarga y descarga del sistema total durante cada año hidrológico.

El objetivo de ese trabajo es plantear herramientas de teledetección y geomática para la identificación y monitoreo de impactos ambientales generados por la minería del litio en las cuencas puneñas, con el fin de suplir y complementar los escasos registros hidrometeorológicos existentes. Se estudiaron en detalle las cuencas con proyectos de explotación de litio más avanzados y longevos de la Puna (cuencas de Cauchari-Olaroz y salar del Hombre Muerto) analizando cambios en la dinámica geomorfológica e hidrogeológica con series temporales de imágenes satelitales.

Por último se proponen lineamientos y recomendaciones para prevenir y mitigar los impactos identificados y potenciales de esta actividad en auge.

Metodología

Se recopiló información geoespacial de las cuencas endorreicas donde se desarrollan proyectos mineros de exploración o explotación de salmuera de litio en las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. Se reunió información de localidades y

asentamientos de comunidades originarias, localización de los proyectos mineros y metodologías de extracción y concentrado de cada uno, y se hizo una búsqueda de mapas hidrológicos, geomorfológicos y geológicos de cada una de las cuencas.

Se recopilaron datos disponibles de precipitaciones, temperatura, aforos de ríos, análisis hidroquímicos de los distintos cuerpos de agua y cursos fluviales, e información hidrológica complementaria, a fin de poder analizar variaciones climáticas e hidrológicas anuales e interanuales de las cuencas.

Se trabajó con imágenes satelitales de las misiones Landsat y MODIS a través de la plataforma de Google Earth Engine. Se propone el uso de dos indicadores ambientales que aportan información indirecta acerca de la posición superficial o subsuperficial del nivel freático y del estado de las reservas de agua en el acuífero libre: 1) índice de vegetación NDVI (Rouse et al., 1973) para monitoreo de la actividad fotosintética de la vegetación que crece en las vegas (humedales) y zonas de mezcla de los salares; y 2) índice óptico de agua MNDWI (Xu, 2006) para monitoreo de la superficie inundada de las lagunas y salares. Estos parámetros representan una evidencia observable mediante teledetección de cambios en los niveles freáticos y reservas de agua dulce o salobre presentes en los acuíferos constituidos por depósitos de abanicos aluviales. La vinculación de esta información con datos climáticos e hidrológicos, permite diferenciar las variaciones en las reservas de agua generadas por razones climáticas de las generadas por la actividad minera.

Se realizó una interpretación geomorfológica de la cuenca reconociendo las principales geoformas y la dinámica de escurrimiento superficial. Se analizó mediante interpretación visual de series multitemporales la evolución en el tiempo de los proyectos mineros en las cuencas y las obras de infraestructura desarrolladas, reconociendo impactos en la dinámica geomorfológica e hidrogeológica del paisaje.

Resultados y discusiones

Los potenciales impactos ambientales que puede generar la explotación de litio en la Puna se dividieron en tres categorías según los elementos del paisaje afectados:

- La infraestructura minera afecta la dinámica geomorfológica e hidrogeológica del paisaje. La construcción de camino y rutas genera obstrucción y modificaciones en los sistemas de drenaje de los ríos y arroyos. Por otra parte, la construcción de piletones de evaporación y plantas de procesamiento sobre abanicos aluviales pueden comprometer las escasas reservas de agua dulce por riesgo de derrame o infiltración de la salmuera. En numerosas ocasiones los campamentos y plantas de procesamiento de litio utilizan el agua dulce de los acuíferos presentes en los abanicos aluviales.
- La sobreexplotación de la salmuera rica en litio y potasio genera un descenso en los niveles piezométricos de los acuíferos y compromete las reservas de agua dulce de la cuenca. La disminución de los niveles piezométricos profundos puede generar un desplazamiento de la cuña

salina y la desecación de cuerpos de agua superficial por descenso del nivel freático. También la desecación de vegas representa impactos a la biodiversidad existente y a las actividades agrícola-ganaderas desarrolladas por los habitantes locales.

- La incorrecta disposición y manejo de residuos peligrosos, como la salmuera, sus derivados y otros compuestos químicos utilizados durante su procesamiento, puede afectar la calidad del agua dulce de los acuíferos y de los suelos de la cuenca.

En las cuencas de Cauchari - Olaroz y Salar del Hombre Muerto se pudieron verificar alteraciones en los sistemas de drenajes generados por la construcción de rutas y caminos sin sus correspondientes sistemas de desagüe. En ambas cuencas también se identificó la construcción de piletones de evaporación o plantas de concentración y procesamiento sobre los principales abanicos aluviales de las respectivas cuencas, generando un potencial impacto de salinización en las escasas reservas de agua dulce de las cuencas (Figura 1).

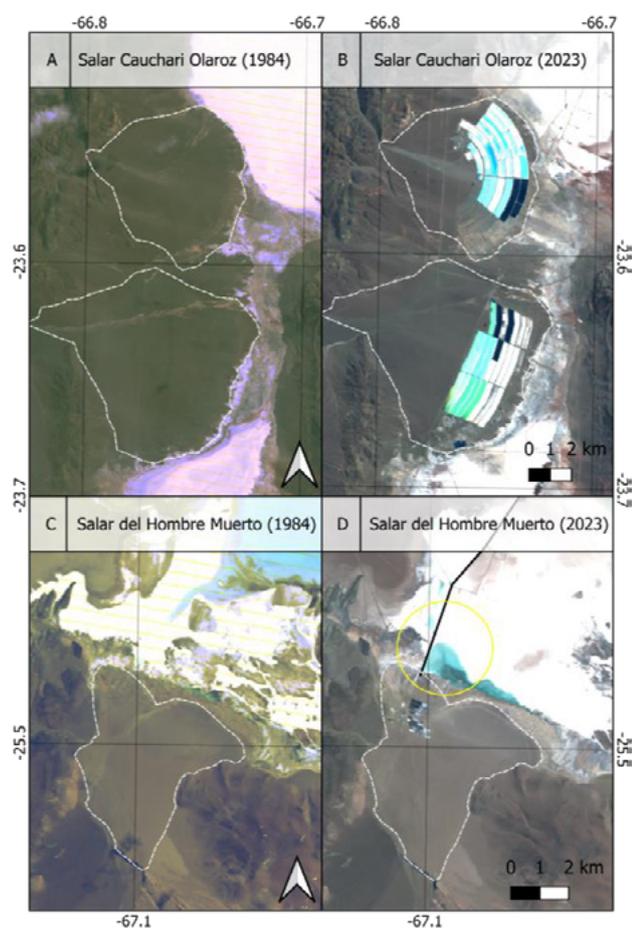


Figura 1.- Sup: Construcción de piletones de evaporación sobre abanicos aluviales en la cuenca de Cauchari Olaroz. Las imágenes satelitales refieren a los momentos antes (A) y después (B) de la instalación de los piletones de evaporación. Inf: Interrupción de los sistemas de drenaje en el Salar del Hombre Muerto debido a la construcción de caminos. Las imágenes satelitales refieren a los momentos antes (C) y después (D) de la construcción de caminos sin desagüe.

Se observó una relación directa entre las variables de precipitaciones anuales acumuladas, caudales de ríos principales, actividad fotosintética de los humedales presentes en la cuenca (vegas y lagunas) y el área de agua ocupada por lagunas y salinas según las variaciones anuales.

Las metodologías propuestas para evaluación y monitoreo de la sobreexplotación de acuíferos representan una herramienta útil para las cuencas que poseen escasos registros de precipitaciones y aforos de ríos, pues brindan información sobre el funcionamiento hidrogeológico de las cuencas y permiten establecer líneas de base para el futuro. Sin embargo estas herramientas requieren ser complementadas con datos hidrogeológicos y meteorológicos para poder conformar indicadores robustos de impacto ambiental.

Pese a las severas condiciones hídricas de la Puna, no se cuenta con una red integrada de sensores hidrometeorológicos en las cuencas ni con buenas líneas de base ambientales para una correcta estimación del balance hídrico. En este marco, la utilización de teledetección y geomática permitió identificar los impactos generados por el emplazamiento de la infraestructura minera en las dos cuencas principales estudiadas.

Para una correcta gestión y conservación del recurso hídrico en las cuenca puneñas es necesario profundizar la elaboración de modelados que integren factores geomorfológicos e hidrogeológico y que se mantengan actualizados periódicamente en base a los registros meteorológicos e hidrológicos con frecuencias diarias, mensuales, o anuales según las características de la variable. Garantizar el acceso público de los datos y mediciones realizadas por las empresas que se encuentran explorando o explotando litio en las cuencas es primordial para potenciar las investigaciones y construcción de modelados que permitan conocer y conservar el recurso hídrico de la cuenca.

Referencias Bibliográficas

- García R., V. Rocha Fasola y F. Moya Ruiz** (2016). "El Agua Subterránea en la Puna Salteña. Argentina". *Recurso Estratégico para el Desarrollo de la Región. Relatorio. Asociación Argentina de Geólogos Economistas. XI Congreso Argentino de Geología Económica. Salta, Argentina.*
- Marazuela, M. A., E. Vázquez-Suñé, E. Custodio, T. Palma, A. García-Gil, y C. Ayora** (2018). "3D mapping, hydrodynamics and modelling of the freshwater-brine mixing zone in salt flats similar to the Salar de Atacama (Chile)". *Journal of hydrology*, 561, 223-235.
- Rouse J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, y D.W. Deering** (1973). "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceeding of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 10-14 December, SP-351, 309-3017.*
- Turner, J.C.M.** (1972). "Puna". En: *Leanza, A.F. (Ed.), Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Publicación Especial: 91-116, Córdoba.*
- U.S. Geological survey** (2023). Mineral Commodity Summaries.
- Xu, H.** (2006). "Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025-3033.

GENERACIÓN DE AGUAS GRISAS EN EL AMBA (ARGENTINA) Y POSIBILIDADES DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN

Victoria Larotonda (1, 2) y Gabriel O. Basílico (1)

(1) Laboratorio de Biogeoquímica, Museo Argentino de Ciencias Naturales – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (MACN-CONICET), Av. Ángel Gallardo 470, CABA, Argentina.

(2) Universidad del Salvador, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Tucumán 1845, CABA, Argentina
E-mail: victoria.larotonda@usal.edu.ar; gbasilico@conicet.gov.ar

Resumen extendido

Las aguas grises (AG) son aguas residuales generadas en ámbitos domésticos e institucionales por actividades de lavandería, higiene personal, preparación de alimentos y limpieza. Pese a que su composición se encuentra ligada a las circunstancias socioeconómicas, geográficas y climáticas, se caracterizan por sus elevadas concentraciones de demanda química (DQO) y bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo y nitrógeno, sólidos suspendidos, sales disueltas, entre otros (Oteng-Peprah et. al., 2018). En adición, las AG representan un gran porcentaje del volumen de aguas residuales domésticas.

A nivel mundial, se estima que el 80 % de las aguas residuales se descargan sin tratamiento y/o reutilización (UN, 2023). Esta problemática implica consecuencias como la eutrofización de los cuerpos de agua receptores, las alteraciones físico-químicas de los suelos próximos a éstas, y la pérdida de biodiversidad.

Aunque en el AMBA se estima un total de 2.796.200 m³ de aguas residuales tratadas (AySA, 2023), existen sectores – principalmente en zonas suburbanas y periurbanas– sin redes cloacales cuyas AG son comúnmente eliminadas mediante absorción en suelo (pozos, zanjas) o vertido a calles, conductos pluviales o cursos de agua (Basílico, 2021). Según la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR), hasta 2020 alrededor del 46,6 % (2.158.018 personas) carecían del servicio de red cloacal.

Este trabajo busca evaluar la generación de AG en el AMBA y discutir posibles vías de reutilización. Así se elaboró una encuesta de respuesta anónima mediante formularios Google™, (n = 200) en la cual se recabaron datos demográficos de edad, género, cantidad de habitantes de la vivienda y lugar de residencia; junto a información relativa a la generación de AG en baños, cocinas y lavado de ropa.

En base a los datos demográficos, las respuestas más frecuentes obtenidas fueron: población de 15 a 24 años de edad (43 %); género femenino (62 %); 67 % habitantes de PBA (28 municipios representados) y 33 % de CABA (14 comunas representadas) y 3±2 habitantes por vivienda. En la figura 1 se grafican los resultados relativos al rango etario, exponiendo el criterio de las categorías.

Se realizaron 27 preguntas en relación a la generación de AG, las cuales arrojaron los siguientes resultados: 10' en tiempo de ducha más frecuente (figura 2), 1 vez al día; la figura 3 muestra 30" para cepillado dental -según el tiempo que el grifo permanece abierto- (figura 3), 2 veces al día; lavado de vajilla a mano durante 4' a 6' -según el tiempo que el grifo permanece abierto- (figura 4), 2 veces al día; lavado de ropa de 2 a 3 veces por semana y por vivienda (figura 5), con jabón y suavizante líquidos de primeras o segundas marcas; además, se obtuvo que un 76,1% no utiliza lavandina para ropa (figura 6), mientras que el 34% la emplea para pisos 1 vez a la semana (figura 7); por otra parte, la no utilización de amoníaco como desinfectante es del 89,3% (figura 8).

Edad
200 respuestas

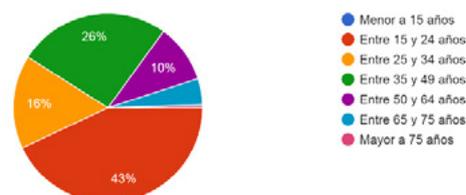


Figura 1.- Rango etario.

¿Cuánto tarda en ducharse?
200 respuestas

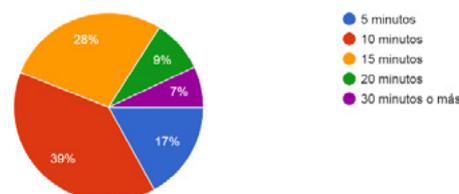


Figura 2.- Tiempo de ducha.

¿Cuánto tiempo permanece abierto el grifo durante el cepillado de dientes?
200 respuestas

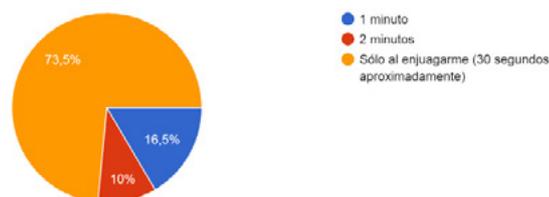


Figura 3.- Tiempo de cepillado dental.

¿Cuánto tiempo permanece el grifo abierto durante el lavado de platos y utensilios de cocina?
200 respuestas

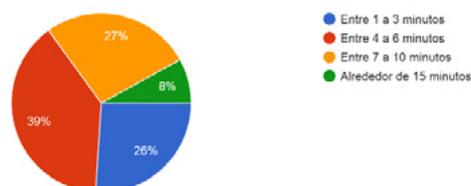


Figura 4.- Tiempo de lavado de vajilla a mano.

¿Cuántas veces por semana lavan la ropa en su vivienda?
200 respuestas

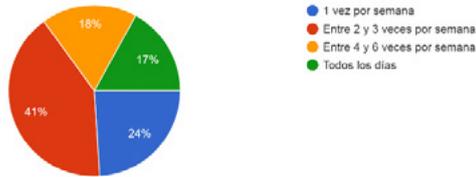


Figura 5.- Frecuencia de lavado de ropa.

¿Con qué frecuencia utiliza lavandina para ropa?
197 respuestas

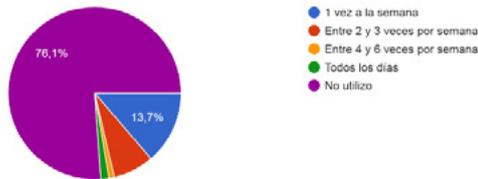


Figura 6.- Frecuencia de utilización de lavandina para ropa.

¿Con qué frecuencia utiliza lavandina para pisos?
197 respuestas

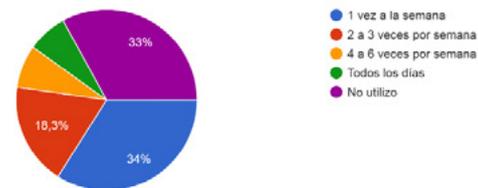


Figura 7.- Frecuencia de utilización de lavandina para pisos.

¿Con qué frecuencia estimada utiliza amoníaco para la limpieza de superficies?
197 respuestas

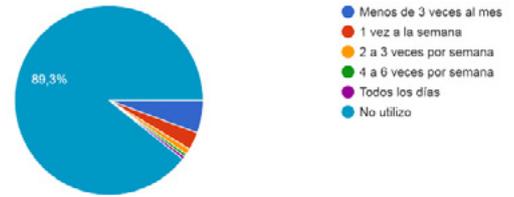


Figura 8.- Frecuencia de utilización de amoníaco como desinfectante.

Los datos obtenidos recientemente presentados permiten estimar el volumen y la composición aproximada de las AG generadas en el AMBA en el ámbito doméstico.

Referencias

AySA (2023) *Saneamiento. Qué hacemos.* AySA. <https://www.aysa.com.ar/Que-Hacemos/Saneamiento>

Basilico, G.O. (2021). *Características de la cuenca del río Reconquista: aspectos geográficos y ambientales.* En Laura de Cabo y Patricia L. Marconi. (Eds.): Estrategias de remediación para las cuencas de dos ríos urbanos de llanura: Matanza-Riachuelo y Reconquista. Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

Oteng-Peprah, M., Agbesi Acheampong, M., K. deVries, N. (2018). "Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - a Review". CrossMark

UN (2023) *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.* Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation>

CALIDAD DEL AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO GANADERO EN EL SECTOR NORESTE DEL PARTIDO DE GENERAL LAVALLE

Leal M.P.^{1,2}, Pasquale Pérez M.P.^{1,2}, Acosta R.^{1,2}, Ali Santoro V.³, Santucci L.^{1,2} y Carol E.^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina.
2. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina
3. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (UNSAM), Buenos Aires, Argentina
E-mail: mpleal@cig.museo.unlp.edu.ar

Introducción

El Partido de General Lavalle (Buenos Aires) se desarrolla dentro de un ambiente de planicie costera en donde dominan suelos arcillosos, salinos y alcalinos; características que determinan que su principal uso sea para la cría extensiva de ganado vacuno. Asimismo, el área afronta problemas de calidad del agua, ya que generalmente el agua subterránea presenta elevada salinidad. No obstante, hacia el sector noreste, depósitos arenosos de crestas de playa tienden a almacenar agua subterránea de baja salinidad (Galliari, 2022). A estas fuentes de agua dulce se suman aquellas asociadas a la acumulación de agua superficial en cañadas que se alojan en antiguos canales de marea o en zonas de marismas.

El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad del agua para el abastecimiento ganadero en el sector noreste del Partido de General Lavalle, haciendo hincapié en aquellas limitantes que puedan perjudicar a la producción ganadera.

Metodología

Se estableció una red de monitoreo con 35 puntos de muestreo de agua subterránea y superficial (Fig. 1) en donde *in situ* se midió la conductividad eléctrica (CE) y el pH mediante un equipo multiparamétrico portátil y se extrajeron muestras para la determinación de iones mayoritarios en laboratorio mediante métodos estandarizados (APHA, 1998). Los iones carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) fueron determinados por titulación. Los iones sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama, y los sulfatos (SO_4^{2-}) y nitratos (NO_3^-) por espectrofotometría UV-Visible, estimándose a partir de estos del valor de CE sólidos disueltos totales (SDT). Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron en función de los límites recomendados para consumo ganadero según diferentes autores, resumido en Gamietea et al. (2022).

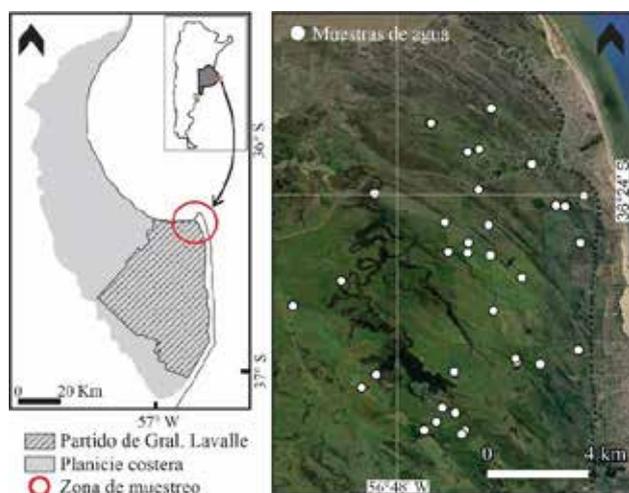


Figura 1.- Zona de estudio.

Resultados

Los resultados de este estudio establecieron que el 74% de las muestras ($n=26$) son aptas para consumo ganadero mientras que el 26% restante ($n=9$) presentan alguna limitación que puede afectar a la salud animal. Las principales limitantes se asocian a valores elevados de SDT y de Cl^- y Na^+ , y en menor medida SO_4^{2-} , NO_3^- y Mg^{+2} .

Valores elevados de SDT pueden producir problemas en la salud y generar un rendimiento deficiente en los animales ocasionando, por ejemplo, la disminución de la población de protozoos y bacterias en los líquidos del rumen, lo cual altera la digestión de los alimentos (Bavera et al., 1979). El valor aconsejable de SDT en agua de bebida para el ganado gestante o lactante es de 7000 mg/L (NRC, 2001; Fernández Cirelli et al., 2010; Wagner y Engle, 2021), lo que define a un 80 % de las muestras ($n=28$) como aptas para consumo. Si se considera una concentración mayor a 10000 mg/L, límite de aguas que no deben administrarse (NRC, 2001; Fernández et al., 2016; Wagner y Engle, 2021), sólo una muestra excede dicho valor, siendo el 97% aptas para ganadería (Fig. 2).

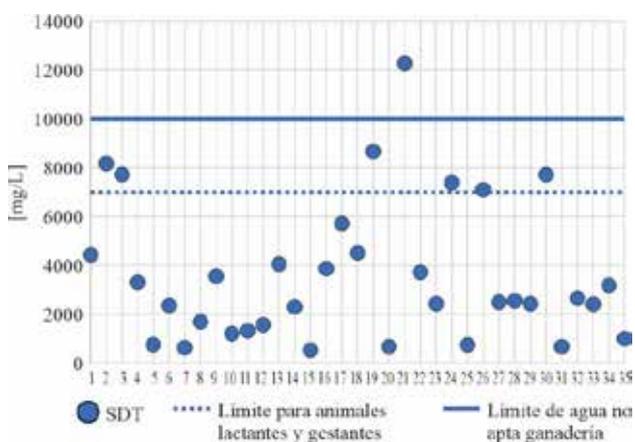


Figura 2.- Contenido de sólidos disueltos totales por muestra ($n=35$).

En el caso del sodio el 17% de las muestras ($n=6$) supera los 1500 mg/L, límite máximo recomendado para el consumo ganadero (Grant, 1996; Jones, 2000). El cloruro, por otra parte, presenta un límite inicial de 3500 mg/L asociado al valor de SDT de ≈ 7000 mg/L, por lo que 17% ($n=6$) de las muestras se consideran como no prudentes para ganado; un segundo valor de Cl^- de 7000 mg/L relacionado al valor de ≈ 10000 mg/L de SDT, limita a sólo una muestra como no aconsejable para consumo, que representa el 3% (Fig. 3). La sal de cloruro de sodio es considerada la menos nociva para ganadería y brinda el gusto salado al agua, sin embargo, el consumo en exceso puede derivar en pérdida de peso, debilidad, hipotermia, anorexia, deshidratación y posibles diarreas (Bavera et al., 1979; Charlón et al., 2007).

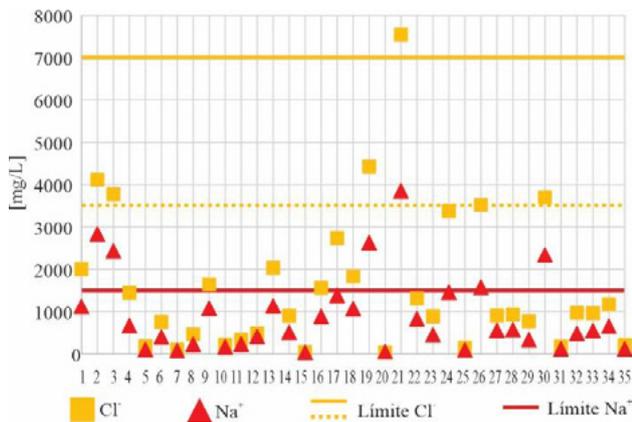


Figura 3.- Contenido de cloruro y sodio por muestra (n=35).

En cuanto a los iones sulfato y magnesio en el agua, el 6 % de las muestras (n=2) resultaron no adecuadas para ganadería. La concentración limitante en ejemplares adultos para sulfatos es de 300 mg/L (Wagner y Engle, 2021) y para magnesio es de 500 mg/L (Bavera et al., 1979; Dirksen et al., 2005). En el caso de distinguir entre adultos y terneros, las concentraciones del ion magnesio mayores a 400 mg/L (Bavera et al., 1979; Dirksen et al., 2005) no son recomendables para ganado de tipo novillo, por lo tanto, 14% (n=5) de las muestras no son beneficiosas para su abastecimiento (Fig. 4). Además de brindar sabor amargo al agua, los excesos de sulfato provocan un efecto laxante e interrumpe la absorción cobre, molibdeno, magnesio y fósforo. Por otra parte, el sulfato puede reducirse a sulfuro en los líquidos del rumen derivando en enfermedades neurológicas en ejemplares jóvenes y adultos (Walker, 2021).

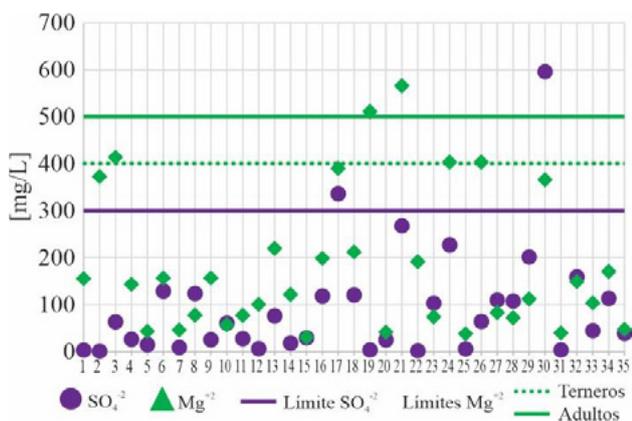


Figura 4.- Contenido de sulfato y magnesio por muestra (n=35).

Por último, en aguas consideradas seguras bajo un régimen de dieta balanceada con bajos contenidos de nitratos, el límite de este ion es de 132 mg/L (NRC, 2001; Wagner y Engle, 2021). Los resultados de este estudio reflejaron que el 97% de las muestras se encuentran por debajo de dicho valor (n=34) (Fig. 5). Los cuadros de intoxicación moderada por nitratos se asocian a problemas de fertilidad, de crecimiento deficiente, entre otros (NRC, 2001).

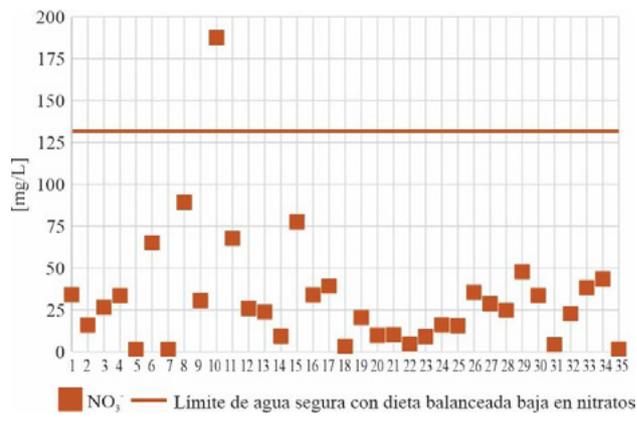


Figura 5.- Contenido de nitrato por muestra (n=35).

Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten concluir que el área estudiada no presenta importantes limitaciones en la calidad del agua utilizada para abastecimiento ganadero. Las principales condicionantes se deben a elevados valores de SDT y de los iones cloruro y sodio. En menor medida son limitantes los iones sulfato, magnesio y nitrato. Es importante destacar que, aunque los resultados presentados en este trabajo son preliminares, aportarán información valiosa a un sector ganadero productivo, ya que, aunque el ganado puede adaptarse al consumo de distintos tipos de agua, la presencia de algunos iones que estén por sobre los límites de consumo incide en la producción e impactan en la salud del ganado.

Referencias Bibliográficas

- Bavera, G. A., Rodríguez, E. E., Beguet, H. A., Bocco, O. A., & Sánchez, J. C. (1979). Aguas y aguadas para el ganado. Imberti – Beavera, Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina.
- Charlón, V.; Taverna, M. A.; Herrero, M. A. (2007). El agua en el tambo. Manual de referencias técnicas para el logro de la leche de calidad: documento técnico para profesionales del sector lácteo. Ediciones INTA Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 2007, pp. 41-51.
- Dirksen, G., Dieter Grunder, H., & Stöber M. (2005). Medicina Interna y cirugía del bovino. Editorial Intermédica 4ta Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Fernández Cirelli, A.; Volpedo, A. (2010). “Calidad de Agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina”. AUGMDomus. Asociación de Universidades Grupo Montevideo. Vol. 1, 2009, pp. 45-66.
- Galliari, M. J. (2022). Procesos condicionantes de la calidad del agua subterránea en las zonas de borde continental del acuífero costero mediano: aplicaciones al abastecimiento de agua en poblaciones rurales y al sustento de áreas naturales. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Gamietea, I. J. (2022). Ganadería bovina en el área de influencia de la EEA INTA San Pedro. Recomendaciones sobre sanidad, nutrición y manejo. Enero 2022. EEA San Pedro, INTA.
- Grant R. (1996). “Water quality and requirements for dairy cattle”. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, NB, USA. NebGuide Publication G93-1138-A (online).
- Jones G. (2000). “Abundant good quality water and milk production”. The Virginia Dairyman. Vol. 64, Nro. 7, 2000, pp 16-18.
- NRC (National Research Council) (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. Natl. Acad. Press, Washington DC, USA.
- Wagner, J. J.; Engle, T. E. (2021). “Water consumption, and drinking behavior of beef cattle, and effects of water quality”. Applied Animal Science. Vol. 37, Nro. 4, 2021, pp. 418-435.
- Walker, F. (2021). Evaluación de la aptitud del agua para consumo animal. Manual de buenas prácticas para el uso del agua para ganadería. INA- Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina. 2021. pp. 147-176.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA EN CHACRAS DE SAN CLEMENTE, PARTIDO DE GENERAL LAVALLE

Leal M.P.^{1,2}, Galliari J.^{1,2}, Nuñez F.² y Carol E.^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina.
2. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina
E-mail: mpleal@cig.museo.unlp.edu.ar

Introducción

La localidad de Chacras de San Clemente se encuentra en el sector noreste del Partido de General Lavalle (Fig. 1). Se trata de un área residencial ubicada en un ambiente de transición entre crestas de playa y marismas donde el agua dulce es escasa. Debido a esto último existe una planta de abastecimiento donde los vecinos pueden retirar bidones de agua; no obstante, todas las casas poseen igualmente pozos someros de abastecimiento que utilizan para distintos usos domésticos. El objetivo del trabajo fue realizar una caracterización química del agua subterránea utilizada en la zona, evaluando su calidad para consumo humano.

Metodología

La metodología implementada consistió en un relevamiento de muestras de agua de perforaciones domiciliarias (n=29, Fig. 1) realizado en el mes de septiembre del 2022, en las que se midió *in situ* la conductividad eléctrica (CE) y el pH y, se extrajeron muestras para la determinación de la concentración de iones mayoritarios mediante métodos estandarizados (APHA, 1998). Los iones carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) fueron determinados por titulación. Los iones sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama, y los sulfatos (SO_4^{2-}) y nitratos (NO_3^-) por espectrofotometría UV-Visible, estimándose a partir de estos el valor de sólidos disueltos totales (SDT) y la dureza del agua. Con los datos obtenidos se confeccionó un diagrama de Piper (1944), con el fin de definir las facies hidroquímicas presentes en función de las variaciones en la salinidad. A su vez, se contrastaron los datos de pH, cloruros, nitratos, sulfatos, dureza total y sólidos disueltos totales con los límites fijados por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007), el cual define las características químicas del agua apta para la alimentación y uso doméstico.

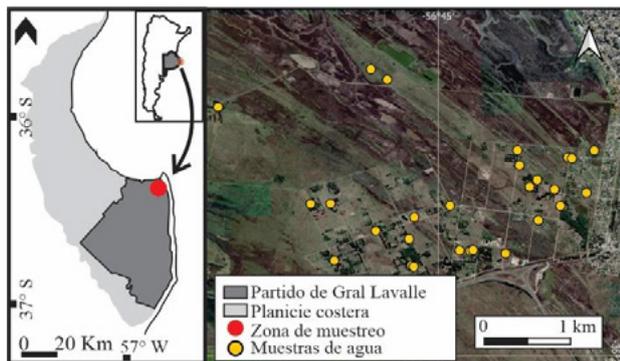


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y puntos de monitoreo.

Resultados

El análisis de la composición porcentual de iones mayoritarios muestra que el aumento de salinidad está asociado a cambios en las facies hidroquímicas. El agua dulce (n=4) se asocia a facies bicarbonatadas cálcicas; por su parte, el agua salobre (n=22) se asocia a facies bicarbonatadas mixtas a cloruradas sódicas y, por último, el agua salina (n=3) a facies cloruradas sódicas (Fig. 2).

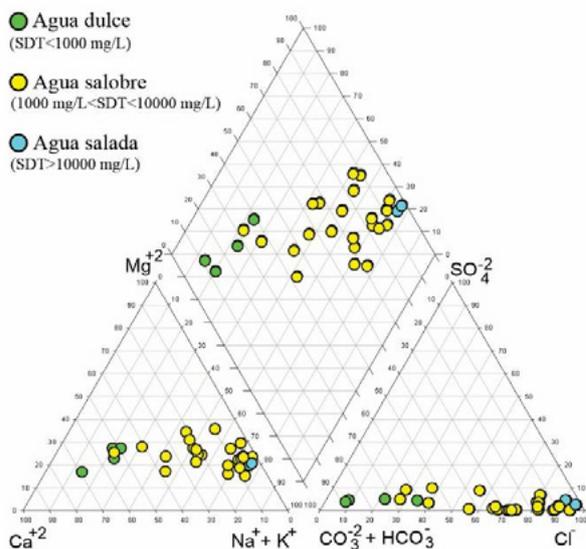


Figura 2.- Diagrama de Piper y grado de salinización por muestra.

Los resultados obtenidos en este trabajo establecieron que el 89,66% de las muestras de agua (n=26) tienen alguna limitación en cuanto a su potabilidad, mientras que el 10,34% (n=3) restante son potables. La dureza del agua, los SDT y la concentración de cloruros son los parámetros más limitantes.

La dureza es el parámetro que limita la potabilidad de la mayor cantidad de puntos de muestreo. Con un valor límite de 400 mg/L de CaCO_3 , sólo el 6,90% de las muestras (n=2) es apta para uso domiciliario (Fig. 3). Sin embargo, es importante destacar que el mayor efecto de la dureza del agua recae en el aumento del consumo de jabón para lavado de uso doméstico, propicia el desarrollo de incrustaciones que afectan el estado de cañerías, grifería, electrodomésticos y sistemas de calefacción, o puede a su vez, aportar sabor indeseable (Rodríguez, 2010). Por otra parte, con respecto a la salud humana, el exceso de valores de dureza se podría relacionar con deterioro de la piel, endurecimiento del cabello, enfermedades cardiovasculares y renales, aunque esta última consecuencia aún es un tema en discusión (McJunkin, 1988; Pérez- López 2016; Solís-Castro et al., 2017).

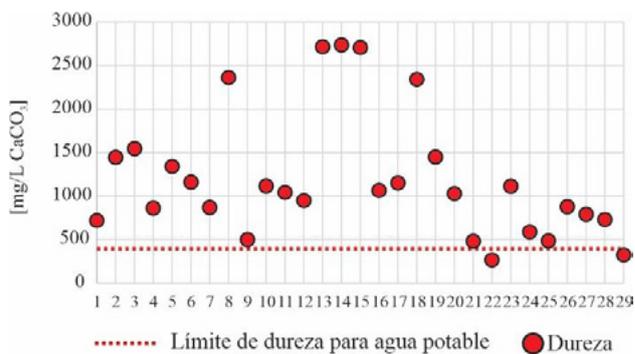


Figura 3.- Valores de dureza del agua por muestra (n= 29).

El límite en relación a los STD se establece en 1500 mg/L, registrándose que sólo que el 24,14% de las muestras (n=7) tiene contenidos menores a este valor (Fig. 3). Uno de los aniones más influyentes asociado a los SDT es el cloruro, siendo el límite para consumo humano de 350 mg/L, encontrándose sólo un 27,59% (n=8) del muestreo por debajo de dicho límite (Fig. 3). La utilización doméstica de agua con elevados valores de STD y de cloruro puede aportar sabor salado o corroer estructuras metálicas (Arnedo, Azofra, Usón & Zapata, 2009).

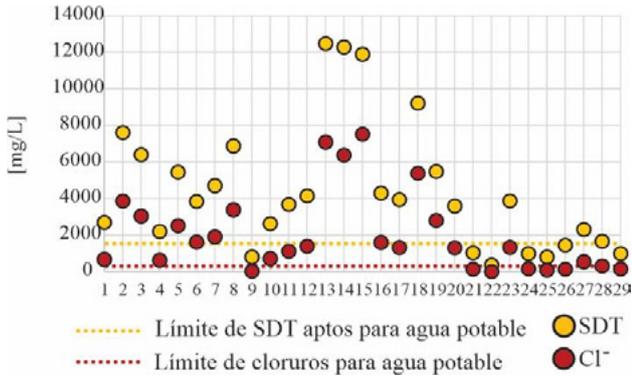


Figura 3.- Valores de SDT y cloruro por muestra (n= 29).

Por su parte, los parámetros que en menor medida limitan el uso doméstico del agua subterránea son la concentración de nitrato, sulfato y el pH. En el caso del nitrato, sólo el 13,79% de las muestras (n=4) no son consideradas potables por superar el límite recomendado por el CAA que resulta ser de 45 mg/L (Fig. 4 A). El consumo de agua con altas concentraciones de nitratos puede traer problemas de metahemoglobinemia principalmente en niños y lactantes (Figueroa et al., 2004). En cuanto a los valores de pH el 6,90% de las muestras (n=3) se encuentran fuera del rango de 6,5 a 8,5 establecido como apto para uso doméstico y alimenticio (Fig. 4 B), mientras que para sulfato sólo una muestra se encuentra por encima del límite aconsejable de concentración (400 mg/L), la cual representa el 3,45% del total del muestreo (Fig. 5). Como consecuencia del consumo de agua con altos niveles de sulfatos se pueden mencionar el efecto laxante, la corrosión de metales y cambio en el sabor del agua (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

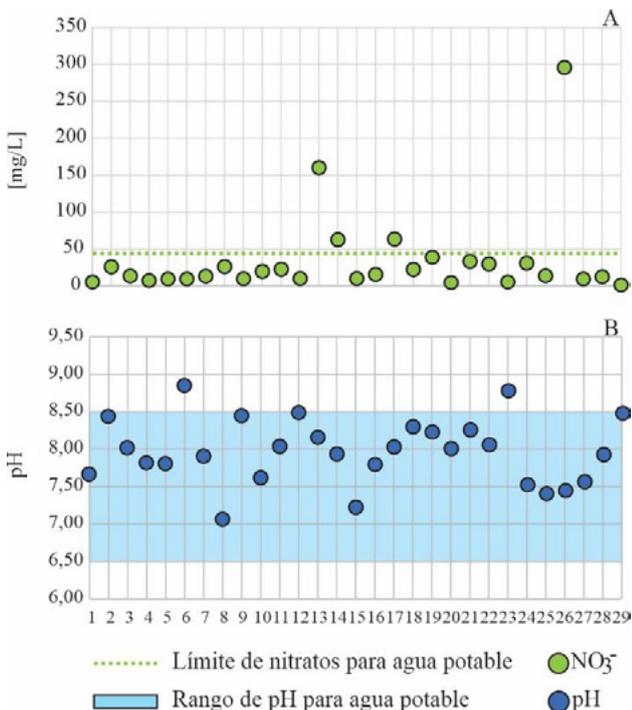


Figura 4.- Concentraciones de nitratos (A) y valores de pH (B).

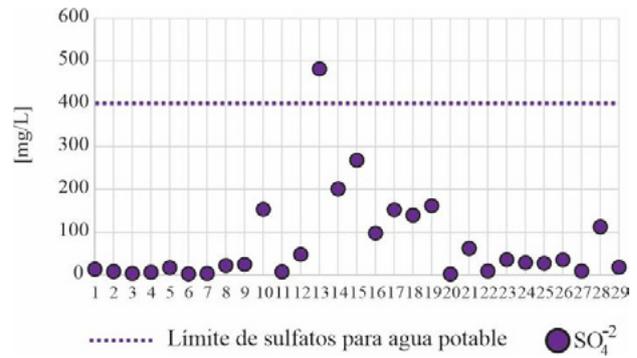


Figura 5.- Concentración de sulfatos por muestra (n= 29).

Conclusiones

El estudio realizado permite cuantificar los problemas de abastecimiento de agua potable desde pozos domiciliarios que afronta la localidad de Chacras de San Clemente. Frente a esta situación, es importante comprender el funcionamiento de las fuentes de agua dulce y cómo gestionarlas, lo que permitirá lograr un mejor aprovechamiento y un uso sustentable del recurso.

Referencias Bibliográficas

APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC (1998).

Arnedo, C., Azofra, J., Usón, C., & Zapata, M. (2009). III Semana de la ciencia y tecnología: El Agua. Secretaría General Técnica. España.

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Revista Tecnología en Marcha. Vol. 30, Nro. 4, 2017, pp. 15-27.

CAA (2007). Código Alimentario Argentino Capítulo XII: Bebidas alcohólicas. Bebidas hidricas, agua y agua gasificada. República Argentina.

J. Figueroa y M. Dávila (2004). Química física del ambiente y de los procesos medioambientales. España: Reverté, S.A., 2004, pp. 570.

McJunkin, F. E. (1988). Agua y salud humana. EDITORIAL LIMUSA. México, D. F. 1988, pp. 64.

Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Revista Tecnología en marcha. Vol. 29, Nro. 3, 2016, pp. 3-14.

Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union. Vol. 25, Nro. 6, 1944, pp. 914-928.

Rodríguez, S., & Rodríguez, R. (2010). La dureza del agua. Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf.

Solis-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). "La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica". Revista Tecnología en Marcha. Vol. 31, Nro. 1, 2018, pp. 35-46.

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CAPA FREÁTICA EN CAMPOS DE DISPOSICIÓN DE VINAZA, PROVINCIA DE TUCUMÁN

Llomparte Germán, Moro Pablo.

Llomparte, Germán. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Avda. Brigido Terán N°650, San Miguel de Tucumán, Tucumán, C.P. 4000. Cel: (0381) 6570007. Mail: gllompartefrenzell@gmail.com

Introducción

En la Provincia de Tucumán, la industria azucarera es una de las principales actividades desde el año 1821, fundada por el Obispo jesuita José Eusebio Colombres. En la actualidad, existen catorce ingenios en funcionamiento, de los cuales diez no solo se dedican a la producción de azúcar, sino que también generan alcohol a partir de la fermentación de mieles y jugos de caña de azúcar. Esto ha convertido a Tucumán en el principal productor de bioetanol de Argentina a partir de la caña de azúcar. El principal efluente de este proceso se denomina vinaza, un líquido de color marrón oscuro, sabor a malta y olor a miel, pH ácido, compuesto por un alto contenido en materia orgánica, sales minerales (principalmente de potasio) y agua (~90%) (EEAOC, 2022). Por cada litro de etanol producido, se generan entre 10 y 15 litros de vinaza, por lo que, durante la zafra se producen grandes volúmenes que deben ser dispuestos correctamente para no ser nocivos para el ambiente. Este efluente de la industria sucroalcoholera admite diferentes alternativas de manejo, entre las cuales la más difundida e incorporada por la industria local, es su disposición en campos con suelos, tanto productivos como de baja o nula capacidad productiva. En cuanto a este aprovechamiento, la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (SEMA) de la provincia emitió tres resoluciones para regular la disposición del efluente: Res.040/SEMA/11 “Aplicación en suelos cañeros”, Res.047/SEMA/11 “Aplicación en suelos no productivos” y Res.148/SEMA/17 “Protocolo de presentación, autorización y fiscalización en sistemas de aplicación de vinazas en suelos”, mediante la cual las empresas declaran sobre la trazabilidad del efluente, desde su generación, hasta su disposición final en suelos.

En Tucumán, esta práctica, se lleva a cabo en dos unidades fisiográficas: llanura pedemontana y llanura deprimida, cuyas características de suelo y freática son distintas. En la primera, desde el punto de vista edáfico, son suelos productivos y, por lo general, la capa freática se encuentra por debajo de los 4 metros. En cambio, en la llanura deprimida, los suelos poseen escasa capacidad productiva, son comúnmente salinos y la capa freática se halla a profundidades muy someras (Zuccardi y Fadda, 1972; Puchulu y Fernández, 2014).

En este trabajo, se describe el método de disposición de vinaza cruda en suelos productivos de la llanura pedemontana de Tucumán que lleva a cabo uno de los diez ingenios sucroalcoholeros, el Ingenio Famaillá (de la firma Salta Refrescos S.A., Arca Continental) y su potencial impacto en la calidad de agua de la capa freática subyacente.

Material y Métodos

El Ingenio Famaillá (construido en el año 1923), se ubica en la localidad homónima, sobre al centro-oeste de la provincia de Tucumán. Durante la época de zafra, su destilería genera ~60 m³/día de alcohol y ~500-600 m³/día de vinaza, que se contienen en una pileta (calicanto) de acopio transitorio, desde donde camiones tanques cisternas, a fincas preparadas para fertirriego. En ellas, desde 2018, se dispone vinaza cruda con equipos de riego por aspersión tipo ROLAPI (Figura 1), en láminas controladas (150 m³/ha), conforme a la Res. 040/SEMA/11 (Morandini y otros, 2018).

En este sector, llueven 1000 mm anuales durante verano y otoño, mientras que los meses de invierno-primavera son secos (Torres Bruchman, 1972). En este sentido, la napa asciende durante los meses húmedos y desciende en los secos (Zuccardi

y Fadda, 1972; Figueroa y otros, 1998). La zafra sucroalcoholera en la provincia tiene lugar entre junio y octubre, coincidiendo con la estación seca en Tucumán, y con la profundización del nivel freático.



Figura 1.- Riego de campos con vinaza por aspersión (ROLAPI).

El suelo de la zona, en general, tiene texturas desde finas hasta arenas y gravillas. Por ello, el Ingenio Famaillá construyó freatímetros en los campos donde realiza fertirriego con vinaza cruda para poder hacer el seguimiento de la calidad del agua freática.

Con el objeto de analizar la variabilidad físico-química temporal del agua de la napa, profesionales y técnicos expertos de la SEMA, colectaron tres muestras de agua en el freatímetro FF3 (27°02'08"S, 65°27'58"O, Figura 2), ubicado en la Finca La Primera: una antes de la aplicación de vinaza en mayo 2021, una post-aplicación de vinaza en nov. 2021 y otra muestra pre-aplicación de vinaza en abril 2022.

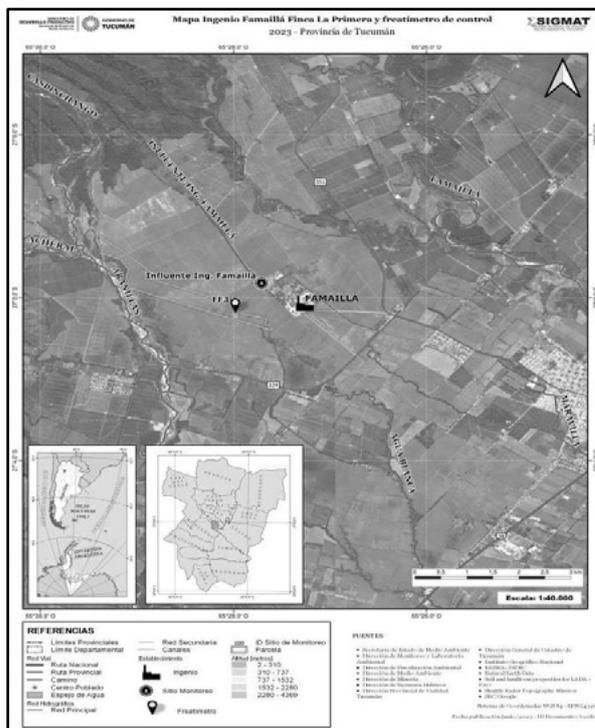


Figura 2.- Ubicación geográfica del Ingenio Famaillá, freatímetro FF3 en la Finca La Primera, donde se dispone vinaza cruda y el sitio de monitoreo del influente del ingenio.

La toma de muestras de agua se realizó acorde a los *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017). En cada muestra, laboratorios de la Estación Experimental Obispo Colombes miden su potencial Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y las concentraciones de Sulfato (SO_4^-), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+), entre otros. Estos parámetros se emplean como indicadores de potenciales aportes de vinaza a la napa por infiltración desde el suelo supra-yacente. Además, se midió el nivel piezométrico durante las tres campañas.

Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros físicos y químicos de las muestras de agua tomadas en la capa freática, entre mayo 2021 y abril 2022, se resumen en la **Tabla 1**. Se incluyen, además, valores del influente del ingenio ($26^\circ 59' 49'' \text{S}$, $65^\circ 29' 28'' \text{O}$) (toma en Río Caspinchango) y de vinaza cruda (EEAOC, 2018), que se usaron como referencia de aguas de buena calidad y del efluente que se aplica al suelo, respectivamente.

Tabla 1. Nivel freático y valores físico-químicos de la napa del freático FF3 del Ingenio Famaillá, durante la pre y post aplicación de vinaza cruda en suelos, entre mayo 2021 y abril 2022. También valores del influente del ingenio y vinaza cruda (EEAOC, 2018). pH: potencial Hidrógeno, CE: Conductividad Eléctrica, DQO: Demanda Química de Oxígeno, SO_4^- : Sulfato, Na^+ : Sodio y K^+ : Potasio.

PARAMETROS	FREATIMETRO			INFLUENTE ING. FAMAILLA	VINAZA CRUDA
	FF3				
	Pre-aplicación mayo 2021	Post-aplicación noviembre 2021	Pre-aplicación abril 2022	Toma en Río Caspinchango	Valores promedio
Nivel freático (m)	3,3	4,8	3,8	-	-
pH	6,5	6,8	6,4	8	5
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	158	407	161	100-400	27100
DQO (mg/L)	33	168	5	5	100000
SO_4^- (mg/L)	11	26	14	14-24	4500
Na^+ (mg/L)	8,5	12,0	7,9	20-30	670
K^+ (mg/L)	7,1	6,6	7,5	3,0-5,0	15000

El comportamiento del nivel freático, entre mayo 2021 y abril 2022, se corresponde al régimen de lluvias de la zona. En el mes seco (noviembre 2021) desciende 1,5 m respecto a mayo 2021, para recuperarse a medida que atraviesa los meses húmedos del año 2022 (**Tabla 1**). Cinco de los seis parámetros físico-químicos seleccionados aumentan post-aplicación de vinaza durante la zafra 2021 (excepto el potasio) (**Figura 3**). Hacia abril del año siguiente, pre-aplicación de vinaza en el campo, se observa una clara recuperación de los valores originales. Si bien la CE aumenta a valores mayores al doble post-aplicación (158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 407 $\mu\text{S}/\text{cm}$), éstos vuelven a valores similares a la pre-aplicación del año anterior (161 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (**Figura 3**).

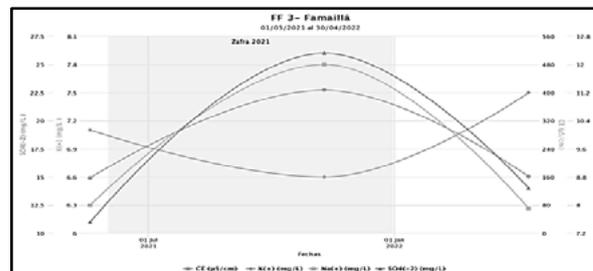


Figura 3.- Variabilidad temporal, entre mayo 2021 y abril 2022, de la CE y las concentraciones de Na^+ , K^+ , SO_4^- en la napa del FF3.

Además, las tendencias del Na^+ y K^+ evidencian que, el aumento de la CE en la post-aplicación pudo deberse al aumento de sales de sulfato de Na^+ y no de K^+ , ya que, las concentraciones de sulfato y sodio aumentaron entre un 30% y 40%, mientras que, la de K^+ disminuyó en el período de la post-aplicación del 2021, comparado con los valores de la pre-aplicación, de ambos años, 2021 y 2022 (6,6 mg/L vs 7,1 mg/L y 7,5 mg/L, respectivamente) (**Figura 3**). Si el incremento de CE hubiese sido causado por infiltración de vinaza desde los suelos supra-yacentes de la napa, se esperaría un aumento de K^+ (K^+ vinaza 15000 mg/L) y la disminución del pH (pH vinaza 5) (**Tabla 1**). Esto permite inferir que dichas variaciones se debieron a cambios causados por las condiciones climáticas que, a la vez, provocaron la concentración de sales de sulfato de sodio en las aguas circundantes en los meses secos. Como resultado, aumentó la CE del agua freática respecto a los períodos húmedos, que coinciden con la época de pre-aplicación (abril-mayo). Por lo que, en general, se podría entender que las propiedades del agua freática se asemejan más a las circundantes (influente Ingenio Famaillá, cuyo origen es el Río Caspinchango), que a la vinaza cruda, que se dispone en los campos sobre ella.

Conclusión

Como resultado del análisis comparativo de las propiedades físico-químicas de la capa freática antes y después de la disposición de vinaza cruda en un campo del Ingenio Famaillá, entre mayo 2021 y abril 2022, se puede inferir que no se produjo infiltración de vinaza hacia la capa freática. En consecuencia, se concluye que el método de disposición de vinaza en campo utilizado por el Ingenio Famaillá se ajustó a los protocolos establecidos por la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Tucumán (Res. 040 y 047/2011 y 148/2017). Estos resultados respaldan la eficacia y el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes en cuanto a la disposición de la vinaza, reafirmando el compromiso del ingenio con las buenas prácticas y la protección del medio ambiente en la provincia.

Referencias

- APHA, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Ed., APHA, AWWA, WPCF. EEUU.
- EEAOC (2018). "Informe interno". *Lab de efluentes*. Inédito.
- EEAOC (2022). <https://www.avance.eeaoc.gob.ar/?articulo=manejo-de-la-vinaza-en-la-industria-sucroalcoholera>.
- Figueroa, L., Medina, L. y Pietroboni, A. (1998). "Variaciones del nivel freático en la llanura deprimida de Tucumán". *INTA-CRTS. Serie Monografía N°3*. Tuc. 20 pp.
- Morandini, M., Sotomayor, C., Quaia E., Machado, D., Hernández, C., Sanzano, G. y Ruiz, R. (2018). "Manejo de efluentes industriales en la Provincia de Tucumán". *Aportes de la EEAOC al dictado de las Res. SEMA-Tuc*.
- Puchulu, M.E. y Fernández, D. (2014). "Características y distribución espacial de los suelos de la Provincia de Tucumán". *Geología de Tucumán*. Eds: Moyano y otros: 240-256.
- Torres Bruchmann, E.A. (1972). "Mesoclimas de la Provincia de Tucumán". *Revista Agronomía del NOA IX* (3-4): 527-543.
- Zuccardi, R. y Fadda, G. (1972). "Mapa de reconocimiento de suelos de la Provincia de Tucumán". (*Ed. UNT*). Publ. Especial N° 3. 95 pp.

EVALUACIÓN DE MICROALGAS PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA A PARTIR DE EFLUENTES DE TAMBO

López Meyer, G.¹, Marsili, S.¹, Nashiro, A.¹, Vazquez, V.^{2,3} y Rearte, T. A.^{1,4}

¹ Cátedra de Química Inorgánica y Analítica, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Av. San Martín 4453, 1417, +54-011-5287-0085, Buenos Aires, Argentina. ² Cátedra de Acuicultura, Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CABA, Av. San Martín 4453, 1417, +54-011-5287-0085, Buenos Aires, Argentina. ³ ADECO Agropecuaria S.A., Fondo de la Legua 936, 1640, Martínez, Buenos Aires, Argentina. ⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

E-mail: guilopez@agro.uba.ar, santiagonicolasmarsili@gmail.com, nashiro@agro.uba.ar, vvazquez@adecoagro.com, tarearte@agro.uba.ar

Introducción

La tecnología de digestión anaerobia de excretas y residuos orgánicos de producciones animales intensivas para la producción de bioenergías está creciendo ampliamente en nuestro país. Esta tecnología produce un digestato con alta carga de nutrientes y materia orgánica que debe ser correctamente tratado. A su vez, la mayor demanda de alimentos e insumos, generada por un aumento poblacional, el agotamiento de los yacimientos de roca fosfórica y el aumento actual del precio de los fertilizantes, demuestran la importancia de poder recuperar los nutrientes de las aguas residuales como el fósforo y el nitrógeno. En este sentido, las microalgas poseen un elevado potencial biotecnológico para el tratamiento de efluentes ya que representan una alternativa tecnológica de bajo costo y alta eficiencia de remoción de nutrientes, produciendo biomasa susceptible de ser aplicada como biofertilizante (Braun y Colla 2022; Cao et al. 2023).

En este contexto se llevó a cabo un proyecto de cultivo de microalgas utilizando como fuente de nutrientes el digestato de un biodigestor anaeróbico proveniente de un tambo para la producción de biomasa microalgal con potencial aplicación como biofertilizante. El objetivo del trabajo es seleccionar cepas de microalgas capaces de crecer en el efluente y que presenten una elevada remoción de nutrientes y producción de biomasa.

Materiales y métodos

En primera instancia, se caracterizó fisicoquímicamente al efluente y se evaluó la capacidad de crecimiento de distintas cepas en el mismo, donde se seleccionaron aquellas con mayor productividad de biomasa, medido a simple vista (mediante el color verdoso) y biomasa seca (g L^{-1}) mediante el peso seco (70°C) luego de un filtrado de 20 mL del cultivo.

Para evaluar la capacidad de crecimiento se seleccionaron 11 cepas del cepario de la cátedra de Química de la Facultad de Agronomía (CCM-FAUBA). Las cepas seleccionadas fueron: **1)** *Golenkinia brevispicula* (ID FAUBA-3), **2)** *Desmodesmus spinosus* (ID FAUBA-4), **3)** *Chlorella sp.* (ID FAUBA-17), **4)** *Scenedesmus sp.* (ID FAUBA-28), **5)** *Golenkinia sp.* (ID FAUBA-36), **6)** *Chlorocococcus sp.* (ID FAUBA-42), **7)** *Chlorella like* (ID FAUBA-62), **8)** *Chlorella like* (ID FAUBA-77), **9)** *Haematococcus pluvialis* (ID FAUBA-87), **10)** *Monoraphidium aff. Tatrae* (ID FAUBA-91) y **11)** *Arthrospira aff. Máxima* (ID FAUBA-93). Se realizaron inóculos de cada cepa en Erlenmeyer de 250 mL con efluente diluido 1:10 y se las dejó crecer durante 15 días.



Figura 1.- Imagen del ensayo en Erlenmeyer al día 15.

En segunda instancia, con las cepas que presentaron mayor

crecimiento, medido a través de la biomasa, (ID FAUBA: 4, 17, 28, 42, y 77) se realizó un ensayo en régimen batch con dilución 1:10 del efluente en columnas de burbujeo con adición automática de CO_2 . El ensayo se realizó con 800 mL de efluente y 30 mL de inóculo, inyección automática de CO_2 , control de temperatura ($24 \pm 2^\circ\text{C}$) y simulación controlada del ciclo solar (fotoperíodo de 14:10 hs (L:D)). La duración del ensayo fue de 12 días, donde cada 2 días se tomó una muestra de 15 mL para medir crecimiento algal. El crecimiento se monitoreó mediante biomasa seca (g L^{-1}) determinada por peso seco (70°C), densidad óptica medido a través de la absorbancia a 680 nm y densidad celular por recuento en cámara de Neubauer. Por último, el día final del ensayo se separó la biomasa total de cada columna mediante centrifugado a 3000 rpm durante 10 minutos. De esta biomasa se procedió a caracterizar la calidad bioquímica (lípidos totales de acuerdo con la metodología adaptada de Folch (1956) y Bligh & Dyer (1959) y proteínas totales mediante la metodología de Lowry et. At. (1951)). Simultáneamente se determinó la calidad fisicoquímica del efluente pre y post cultivo (NT, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ y PT) para cada cepa.

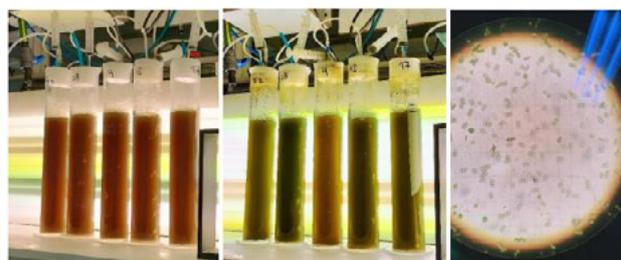


Figura 2.- IZQUIERDA: Imagen del ensayo en su inicio. El número de cada columna hace referencia al ID FAUBA de cada cepa. CENTRO: Imagen del ensayo al día 5. DERECHA: Imagen de medición de densidad celular por recuento de cámara de Neubauer.

Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización fisicoquímica del efluente se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Caracterización fisicoquímica del efluente. ST: Sólidos totales. SV: Sólidos volátiles. C: Cenizas. NT: Nitrógeno Total Kjeldahl. PT: Fósforo total.

pH	CE	ST	SV	C	DQO	NT	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	PT	$\text{PO}_4\text{-P}$
	($\mu\text{S/cm}$)	[g/L]	[g/L]	[g/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
7,6	11860	12,8	7,5	5,2	24000	1365	1,8	674,4	109,2	34,5

El efluente se caracteriza por presentar altos valores de sólidos, siendo casi el 60% correspondiente a materia orgánica. Estos valores elevados pueden presentar una limitante en cuanto al crecimiento algal debido a que aportan a la turbidez del efluente, afectando así la fotosíntesis. A su vez, el efluente presenta altos valores de conductividad eléctrica, nitrógeno y fósforo, pudiendo presentarse problemas principalmente por toxicidad de amonio o limitación de crecimiento por la conductividad eléctrica, debido a que su elevado valor indicaría elevada salinidad. Por a estas características se determinó trabajar con dilución 1:10 del

efluente para realizar la evaluación de capacidad de crecimiento algal.

En cuanto a la evaluación de la capacidad de crecimiento de las cepas en el efluente, a simple vista se vio el crecimiento en un total de 6 matraces mediante el cambio a color verdoso. Luego, en el pesaje de la biomasa, se confirmó este crecimiento mediante el aumento de la biomasa, siendo las cepas 4, 28, 42 y 77 las que presentaron un mayor crecimiento.

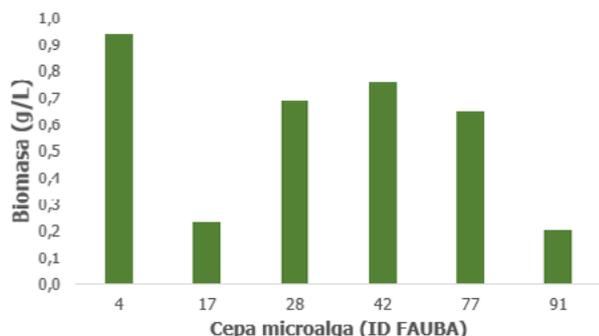


Figura 3.- Crecimiento algal medido a través de biomasa seca

En la Figura 4 y 5 se presentan los resultados del crecimiento por densidad celular y densidad óptica del ensayo en columnas de burbujeo. Los resultados de la cepa *D. spinosus* fueron descartados ya que el cultivo presentó contaminación con una microalga del género *Chlorella*. Se observa que las cepas con mayor crecimiento fueron *Chlorococcum sp.* (FAUBA-42) y *Chlorella sp.* (FAUBA-17) utilizando ambos métodos. Para el caso de biomasa seca, los resultados obtenidos durante la cinética de crecimiento resultaron anómalos debido a la interferencia de los sólidos propios del efluente, por lo que fueron desestimados.

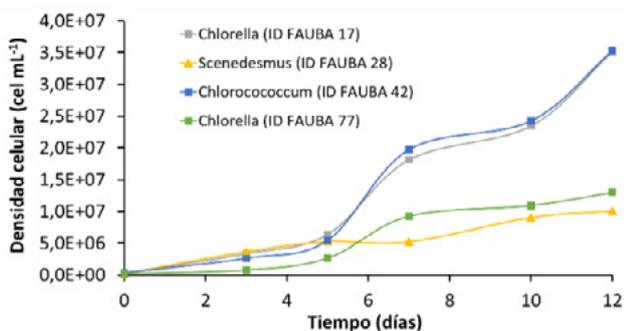


Figura 4.- Curva de crecimiento en batch por recuento celular

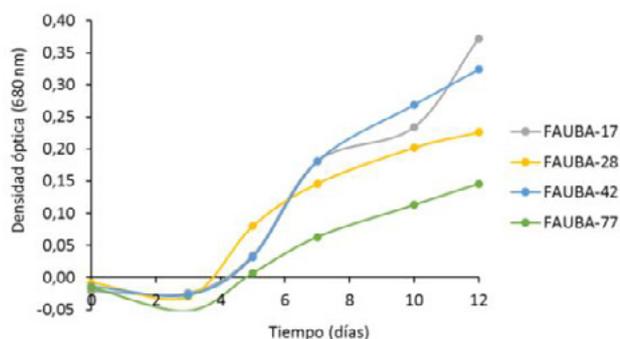


Figura 5.- Curva de crecimiento en batch por densidad óptica

Las cepas que presentaron mayor acumulación de lípidos y proteínas totales fueron *Chlorella sp.* (ID FAUBA-77) con 38,8 % de Lípidos/Peso seco y 16,2 % de Proteínas/Peso seco, y *Chlorella sp.* (ID FAUBA-17), con 24,7 % de Lípidos/Peso seco y 15,0 % de Proteínas/Peso seco.

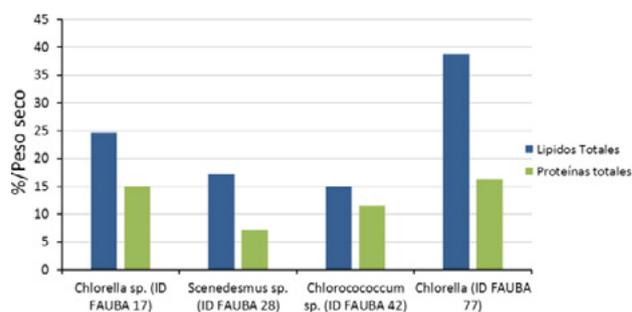


Figura 6.- Composición bioquímica de la biomasa

En cuanto a la remoción de nutrientes del digestato, las cepas que presentaron mayores porcentajes de remoción fueron *Chlorella sp.* (ID FAUBA-17), *Chlorococcum sp.* (ID FAUBA-42) y *Chlorella sp.* (ID FAUBA-77) con 73% para NT, 91% y 94% para PO₄-P respectivamente.

Tabla 2.- Condiciones fisicoquímicas del efluente pre y post tratamiento. %R: porcentaje de remoción

	pH	CE	NT	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ -N	PT	PO ₄ -P
		[μS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Efluente inicial	9,35	991	105,0	3,1	49,0	20,4	2,5
			% R	% R	% R	% R	% R
ID FAUBA-4	8,96	662	35,0	67%	3,9	0,3	99%
ID FAUBA-17	8,90	673	28,0	73%	2,5	0,2	99%
ID FAUBA-28	8,67	667	42,0	60%	11,2	0,6	99%
ID FAUBA-42	8,28	698	42,0	60%	3,3	0,4	99%
ID FAUBA-77	8,71	702	35,0	67%	81,0	0,9	98%

Conclusiones

Se lograron adaptar un total de 5 cepas de microalgas al efluente del digestato proveniente de la producción de tambo. A su vez, estas cepas mostraron eficiencia tanto en remoción de nutrientes como en producción de biomasa, destacándose 3 cepas particularmente: *Chlorella sp.* (ID FAUBA-17), *Chlorococcum sp.* (ID FAUBA-42) y *Chlorella sp.* (ID FAUBA-77), donde se logró una remoción de nutrientes mayor al 60% en Nitrógeno y al 91% en Fósforo. Estos resultados indicarían la factibilidad de las microalgas como potencial biotecnológico para el tratamiento de efluentes, representando una alternativa tecnológica de bajo costo y alta eficiencia de recuperación de nutrientes.

Referencias Bibliográficas

- Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959) A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37, 911-917.
- Braun, J. C., & Colla, L. M. (2022). Use of Microalgae for the Development of Biofertilizers and Biostimulants. BioEnergy Research, 1-22.
- Cao, T. N. D., Mukhtar, H., Le, L. T., Tran, D. P. H., Ngo, M. T. T., Nguyen, T. B., & Bui, X. T. (2023). Roles of microalgae-based biofertilizer in sustainability of green agriculture and food-water-energy security nexus. Science of The Total Environment, 161927.
- CCM-FAUBA. "Colección de cultivos de microalgas de la FAUBA". <https://www.agro.uba.ar/CCM-FAUBA>
- Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H.S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, L., Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. J. Biol. Chem. 193, 265-275.

MODERNIZACIÓN Y RE-FUNCIONALIZACIÓN BAJO NORMAS DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE BOMBAS DEL IDIH – UNSJ

María Eugenia Paz¹, Facundo Gabriel Lopez Rios¹

¹Instituto de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina.

E-mail: mpaz@unsj.edu.ar

Introducción

Nuestra Provincia se encuentra en la denominada región árida del país, con una precipitación pluvial media inferior a los 100mm por año. Por ello es imperativo un uso eficiente y eficaz del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo. Ambas fuentes requieren del uso intensivo de bombas. Otras actividades productivas de la provincia como la minería a gran escala hacen uso en sus procesos de agua y todo el manejo de este recurso se hace a través de sistemas de bombeo.

La necesidad de disminuir costos de explotación, el uso racional de la energía para el cuidado del medio ambiente, suelen encontrar efectiva respuesta en el conocimiento de la eficiencia de máquinas y equipos, posibilitando aplicar medidas correctivas en base a datos comprobados.

En tal sentido y a fin de posibilitar el ensayo de bombas se dispone de un conjunto de instalaciones con cisternas de gran capacidad, que posibilitan el ensayo de las mismas en circuito cerrado, con el fin de determinar las siguientes magnitudes: altura/caudal; potencia eléctrica; eficiencia del grupo; ANPA vibraciones y otros parámetros de funcionamiento permitiendo de esta forma obtener curvas de funcionamiento para cada equipo según los requerimientos de Ensayos de aceptación de las Normas IRAM 19006 y 19007 [1] y [2].

Materiales y Métodos

Antecedentes

El IDIH cuenta con un laboratorio de mediciones hidráulicas, incorporado a la Red INTI-SAC de laboratorios supervisados bajo la denominación “UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN - Laboratorio de Metrología Hidráulica - LAMHI – Laboratorio No 58”.

La Unidad tiene como objetivo del proyecto PPTS convocatoria 2019 21/ I 1470 (ejecutable 202-21-22), de incorporar la práctica de los ensayos de bombas a este laboratorio de metrología hidráulica.

Hoy el LAMHI cuenta con tres prácticas acreditadas, a saber:

- Laboratorio de Calibración de Medidores de Presión
- Planta de Calibración de Caudalímetros
- Planta de Calibración de Medidores de Velocidad

y sus servicios pueden ser utilizados por todas las entidades públicas o privadas que así lo requieran.

Infraestructura

El Instituto de Investigaciones Hidráulicas cuenta con el edificio central, que se ubica en el predio de la Facultad de Ingeniería, con un área cubierta de 1.100 m², donde se realizan tareas con fines didácticos y de investigación y desarrollo tecnológico de problemas y necesidades específicos de la Hidráulica.

El laboratorio del IDIH tiene un sistema de bombeo, para realizar distintos tipos de ensayos, desde modelos físicos de grandes obras hidroeléctricas a escala reducida hasta la calibración de instrumental de precisión y este proyecto pretende incorporar el banco de pruebas o ensayos de bombas, al LAMHI, acreditando la práctica bajo la Norma IRAM 17.025.

En este momento, el laboratorio central cuenta con las siguientes capacidades instaladas para la ejecución de ensayos de contrastado de bombas.



Figura 1.- Montaje de equipo en banco de ensayo.

Capacidad Hidráulica

- Volumen de cisterna: 360m³.
- Profundidad cisterna 2800mm.
- Medición de caudales mediante 2 tanques volumétricos calibrados según ISO 17.025 de 35m³ y 6.5 m³. Profundidad 5 m y diámetro de 3m y 1.3m respectivamente.

Capacidad Eléctrica

- Tensión: 380V-50hz.
- Potencia disponible 800 kW



Figura 2.- Montaje de equipo en banco de ensayo.

Tareas del Proyecto - Avances

- Adecuaciones infraestructura.

Se realizaron los cambios de las aspiraciones en los equipos de bombeo Chicos de 27 KVA incorporando cañerías de aspiración, canastos filtros y válvulas de retención.

Se instalaron manguitos elásticos en las cañerías para evitar vibraciones en el sistema de impulsión.

A fin de mejorar la aspiración de los equipos de bombeo, se reemplazaron las válvulas de retención por un diámetro mayor disminuyendo las pérdidas de carga en las mismas.

Se construyeron transiciones de diámetro gradual a fin de optimizar el rendimiento de los equipos.

Con dichos trabajos se ha mejorado la capacidad de bombeo llegando a un rendimiento del 95%.

Al presente se continua con el recambio de las aspiraciones en los equipos de bombeo Grandes de 53 KVA, cañerías de aspiración, canastos filtros y válvulas de retención.

- Elaboración de procedimiento de ensayo según norma.

Se han elaborado tanto el INSTRUCTIVO como el PROCEDIMIENTO de ensayo, adaptando la secuencia operativa a la normativa vigente, logrando obtener así como producto final las curvas de contraste certificadas. Esto se encuentra reflejado en el proyecto PDTS 21/ I 1470.

Actualmente se esta trabajando en la determinación de la incertidumbre asociada a los instrumentos de medición, empleados en el proceso de contrastado.

Para concluir con las tareas se diseñará el Sistema de adquisición de datos concentrador de señales que puede ser un simple autómatas o PLC, para más tarde mostrar los resultados en una pantalla o en un plotter o impresora mediante un ordenador. Desde el PLC o autómatas, se distribuyen las señales a ordenadores para recibir las señales de la medición de caudal, transmisores de presión, posición de válvulas, etc.

El software de control y adquisición de datos del banco consistirá en un programa para obtener las curvas características de las bombas. Se recibirán todas las señales de medición (Presión, caudal, tensión, frecuencia, intensidad y potencia).

Discusión

Actualmente se esta trabajando en determinar la incertidumbre asociada al instrumental empleado en la medición de las variables, buscando caracterizar y cuantificar los siguientes errores:

- Error Aleatorio
- Error Sistemático

Para ello se ha propuesto como metodología la elaboración de un modelo matemático-estadístico que permita, una vez identificadas las fuentes de incertidumbre como son, el patrón utilizado o la reproducibilidad de las mediciones, arribar a valores correctores cuyas variables de entrada sean mensurables durante el proceso de contrastado.

Las variables propuestas para dicho análisis son

- Caudal
- Presión.
- Amperaje.

- Voltaje.
- Numero de revoluciones.
- Potencia Efectiva.

Conclusiones

Resuelta la determinación de la Incertidumbre en las mediciones que se realizan en el banco de bombas, procederemos al diseño definitivo del Sistema de adquisición de datos y se ajustara la incertidumbre si resultan necesario el cambio de algunos sensores o sistemas.

Con este desarrollo se presentara ante el INTI-SAC está práctica, para acreditar la Norma ISO 17.025. Esto posiciona al Banco de ensayos a la UNSJ en un lugar de alto valor al prestar un servicio que no se da en esas condiciones en la región de cuyo y en buena parte de nuestro país.

Referencias

IRAM (19006-1993). Bombas centrífugas radiales, de flujo mixto y axiles-Ensayos de adaptación-Clase C

IRAM (19007-1998). Bombas centrífugas de flujo mixto y axiles-Ensayos de adaptación-Clase B

Omar del Castillo. (2011). Evaluación de incertidumbres en la calibración de instrumentos de medición como complemento de los requisitos de la norma ISO 17025.

SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA POR RADIACIÓN SOLAR A ESCALA DOMÉSTICA PARA COMUNIDADES VULNERABLES

Lopolito M.F., Rossen A.A., Sanmartin R.A., Mena O.G., El Kassisse Y., Reale M.G., Díaz N.S., Marquina L.V., Calvo D., Ramírez M. y Vera N.Y.

Instituto Nacional del Agua (INA) AU Ezeiza Cañuelas, tramo J. Newbery km 1,620, Ezeiza - Bs. As - Argentina
mflopolito@ina.gov.ar ; arossen@ina.gov.ar ; rocioailensanmartin@gmail.com ; omena@ina.gov.ar ; yelkassisse@ina.gov.ar ;
mreale@ina.gov.ar ; ndiaz@ina.gov.ar ; lmarquina@ina.gov.ar ; dcalvo@ina.gov.ar

Introducción

En 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente por Resolución 64/292 que el derecho al agua potable y el saneamiento es un “derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida”, exhortando a los Estados y las organizaciones internacionales a que proporcionen recursos financieros y propicien el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología, en particular a los países en desarrollo, para el acceso económico al agua potable y el saneamiento (ONU, 2010). El Censo Nacional de 2010 indica que 2,6 millones de personas habitan en zonas rurales dispersas con déficit en el acceso a servicios básicos. El Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y al saneamiento del Ministerio de Obras Públicas de la Nación (MOP) indica que “para las áreas rurales es necesario considerar modelos alternativos de cobertura, particularmente para zonas rurales dispersas, ya que la dispersión imposibilita la construcción de redes centralizadas”. A nivel nacional 20,1% de la población no accede al agua potable o segura, y en zonas rurales dispersas este valor asciende a 37,6% (MOP, 2021).

Se presenta aquí una tecnología de tratamiento como respuesta a la necesidad de acceso al agua segura para consumo de comunidades vulnerables sin posibilidad de conexión a redes de abastecimiento convencionales, por no resultar una alternativa económicamente viable.

Materiales y métodos

SODIS (*Solar Disinfection*) es un método simple de tratamiento de agua empleado por más de 4 millones de personas en el mundo y recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) que permite eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua por radiación solar, en botellas PET. A temperaturas superiores a 45°C, un fuerte efecto sinérgico de la temperatura y la radiación UV acelera significativamente el proceso de desinfección (Meierhofer, 2002).

A pesar de que el sistema SODIS es efectivo, requiere de elevado tiempo de exposición para lograr desinfección adecuada, por lo que resulta necesario utilizar dispositivos que incrementen la eficiencia del sistema. Los concentradores, son dispositivos que aumentan la energía enfocando los rayos del sol en una región focal. Diferentes validaciones de este método indican que superando los 50 °C en el agua las bacterias y demás patógenos son removidos. La bibliografía refiere diversos tipos de dispositivos contruidos a partir de materiales que permiten la transferencia de calor y concentran los rayos UV para maximizar la eliminación de agentes patógenos, por lo que se debe prestar atención al tipo de material reflejante que se utilice (González, 2017).

Este proyecto desarrolla y valida un Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) de bajo impacto ambiental, económico y de fácil operación por el usuario, para la desinfección natural y producción de agua segura para consumo a partir de agua de lluvia a escala doméstica.

Desde el punto de vista constructivo el CPC ensayado posee una base de plástico sobre la que se colocó una lámina reflectora de material vinil brillante y adherente. Posee una tapa de PVC con

un cierre que asegura hermeticidad del sistema y simula el efecto invernadero por sus características de transparencia. El recipiente que contiene el agua es de material PET de 6 L de capacidad (Figura 1).



Figura 1.- Dispositivos utilizados para la desinfección de agua de lluvia

Los ensayos realizados consistieron en la exposición del sistema a la radiación solar en tiempos de 4, 24, 48 y 72 hs. y posterior toma de muestras del agua de lluvia sin tratar y tratada. Las técnicas analíticas empleadas en el laboratorio para la determinación de los parámetros generales, fisicoquímicos y microbiológicos realizados se presentan en la Tabla 1 y corresponden a métodos recomendados por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM) (APHA, 2017), International Standard Organization (ISO, 2006) y U.S. Food and Drug Administration (FDA, 1998).

Tabla 1.- Técnicas analíticas empleadas

Parámetro	Técnica Analítica
pH	SM 23 rd 4500-H ⁺ -B
Conductividad	SM 23 rd 2510-B
Turbidez	SM 23 rd 2130-B
Carbono Orgánico Total-COT	SM 23 rd 5310-B
Fósforo total	SM 23 rd 4500-P-B y E
Alcalinidad	SM 23 rd 2320-B
Cloruros	SM 23 rd 2340-B
Dureza	SM 23 rd 4500-Cl-B
Sulfatos	SM 23 rd 4500-SO ₄ ²⁻ -E
Nitrógeno de Nitratos	SM 23 rd 4500-NO ₃ ⁻ -B
Nitrógeno de Nitritos	SM 23 rd 4500-NO ₂ ⁻ -B
Nitrógeno total	TOC Shimadzu LCPN (NT)
Sólidos Disueltos Totales	SM 23 rd 2540-C
Sólidos Totales	SM 23 rd 2540-B
Coliformes totales	SM 23 rd 9221-A, B
<i>Escherichia coli</i>	SM 23 rd 9221-E y F
Bacterias Aerobias Mesófilas-BAM	SM 23 rd 9215
Hongos y levaduras	FDA BAM Media M133
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ISO 16266:2006

Las determinaciones analíticas se realizaron dentro de las 24 hs. de tomadas las muestras de agua.

Para el seguimiento de la eficiencia del proceso de desinfección se enfatizó especialmente en los resultados de los parámetros microbiológicos obtenidos.

Resultados

Se analizó la calidad inicial del agua de lluvia almacenada en un sistema cerrado (SC) consistente en un tanque tricapa y su variación en el tiempo. Asimismo, se evaluó un sistema abierto (SA) de recolección directa y almacenamiento de agua de lluvia, con pretratamiento a través de filtros de celulosa y gasa para retener material grueso y materia orgánica en suspensión.

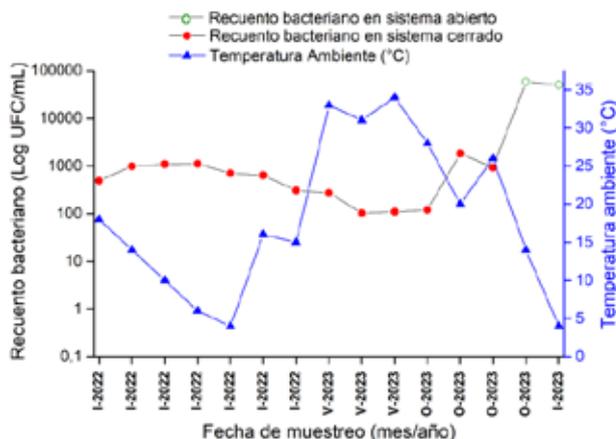


Figura 2.- Recuento bacteriano de agua almacenada en SC y SA

La Figura 2 presenta la variación en el recuento BAM durante el tiempo de almacenamiento SC y SA del agua sin tratar en función de la temperatura promedio ambiental diaria correspondiente a los días de toma de muestras. Los valores de BAM en el agua almacenada en SC oscilaron en el rango 100 a aproximadamente 18.000 UFC/mL. Además, de los 13 ensayos realizados a tiempo inicial, el 50% de las muestras superaron el valor límite establecido en el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua potable (<500 UFC/mL. BAM) (CAA, 2007). En la misma figura se observan recuentos superiores a 4.000 UFC/mL. en SA, con calidad inferior del agua almacenada. Los valores de recuento para el SC se mantienen relativamente constantes en el tiempo, independientemente de las variaciones de temperatura ambiente, infiriendo que el almacenamiento de agua de buena calidad en condiciones controladas permite mantener sus características por tiempo prolongado.

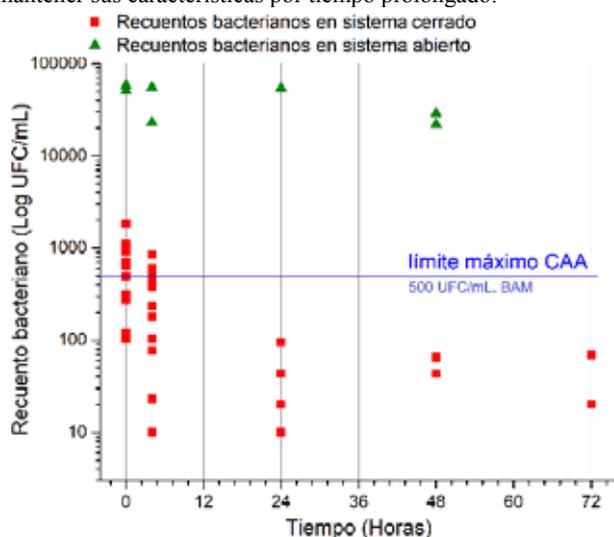


Figura 3.- Recuento bacteriano ensayos a t0, 4, 24, 48 y 72 hs.

La Figura 3 presenta los resultados obtenidos sobre muestras de

agua tratada en los ensayos de radiación solar. Se presentan los valores de recuento bacteriano BAM a tiempo inicial, 4, 24, 48 y 72 hs. de exposición. Nuevamente, se observan diferencias entre el agua proveniente de SC y SA en cuanto a la eficiencia de remoción de bacterias. En el primer caso, se observa disminución de los recuentos a mayor tiempo de exposición, aunque esa eficiencia pareciera alcanzarse entre las 48 y 72 hs. de tratamiento. En el caso del SC, aún con escaso número de ensayos, se observa preliminarmente que los porcentajes de remoción son mayores con valores de recuento inicial elevados.

Estos resultados sugieren que el sistema de tratamiento de desinfección solar es eficiente en la medida que logra la remoción parcial, e indica que para garantizar eficiencia elevada de remoción es importante que el agua presente la mejor calidad posible con anterioridad al tratamiento, por lo que se debería incorporar previamente una etapa de pretratamiento.

Conclusiones

El CPC ensayado presenta características constructivas para maximizar el efecto de radiación solar, alcanzar temperatura del agua mayor a 45°C y asegurar remoción microbiológica eficiente.

Los valores de BAM promedio al finalizar el tratamiento fue de 126 UFC/ml, menor al valor aceptado por el CAA (<500 UFC/ml). En el caso de los coliformes totales la remoción alcanzada luego de 48 a 72 hs fue cercana al 90%, con eliminación de *E. coli* cuando el agua tratada alcanzó temperaturas superiores a 45 °C.

Si el tiempo de almacenamiento y estanqueidad en tanques supera los 6 meses, con mantenimiento insuficiente del sistema de recolección y conducción (rejillas, tuberías, filtros) la calidad del agua cruda y tratada, y en consecuencia la eficiencia del tratamiento, se ven significativa y negativamente afectadas.

Los ensayos preliminares indican mejoras significativas en la calidad del agua tratada, destacando la tecnología CPC como una alternativa interesante para remover microorganismos en el agua de lluvia recolectada y lograr una fuente de abastecimiento alternativa de calidad.

Referencias Bibliográficas

- APHA/AWWA/WEF (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Ed. Baird R.B., Eaton A.D., Rice R.B. Ed.
- González Pérez, D. (2017) *Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica: sistema de desinfección solar usando la óptica anidódica*. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), España.
- International Standard Organization (ISO) (2006) *Water Quality: Detection and Enumeration of Pseudomonas aeruginosa: Method by Membrane Filtration*. Geneva, Switzerland.
- Meierhofer R., Wegelin, M. (2002) *Solar Water Disinfection: A Guide for the Application of SODIS*. SANDEC Report No 06/ 02. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG). Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC). Durbendorf, Suiza.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2021) *Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y al saneamiento*, Bs. As., Argentina.
- Ministerio de Salud (2007) *Código Alimentario Argentino*. Cap.XII. Art. Nº982. <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (2010) *Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. 108ª sesión plenaria*.
- U.S. Food and Drug Administration (FDA) (1998) *Bacteriological Analytical Manual (BAM) Media M133*. 8th Ed., Revision A., USA

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el proyecto “Producción de Agua Segura para consumo humano a escala doméstica: Validación de un dispositivo de desinfección solar de bajo impacto ambiental y económico, para la purificación de agua de lluvia”, seleccionado en la convocatoria “Ciencia y Tecnología contra el Hambre” (RESOL-2.021-289-APN-MCT-Proyecto B45) con financiamiento MINCYT y CAF.

CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y VIGILANCIA DE LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN LA PROVINCIA DEL CHACO

Liliana Lösch (1,2), Alejandro Sandi (1), Salvador Leyes (1), Diego López (1), Luis Merino (2)

(1) Área de Microbiología. Laboratorio de Aguas- Administración Provincial del Agua del Chaco. Ruta Nicolás Avellaneda Km 12,5 Resistencia, Argentina. (2) Área de Bacteriología- Instituto de Medicina Regional- Universidad Nacional del Nordeste. Avenida Las Heras 727, Resistencia, Argentina.

E-mail: silvinalosch@gmail.com

Introducción

El acceso al agua potable, reconocido como un derecho humano, en la región NEA en general y en el Chaco en particular, ha mejorado en los últimos años, sin embargo, todavía existen muchos hogares cuya única fuente es la proveniente del agua subterránea (INDEC, 2010). El objetivo de desarrollo sostenible 3 (ODS 3) refiere a garantizar una vida sana y su meta 3.d a reforzar la capacidad de todos los países en materia de alerta temprana y gestión de los riesgos para la salud (ONU, 2015). Paralelamente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) implementó el abordaje de las interconexiones entre las personas, los animales y el ambiente bajo el concepto de "Una Salud". En este contexto se debe abordar la problemática de la resistencia antimicrobiana (RAM) (OMS, 2021; Yang, 2020).

Los antimicrobianos son esenciales para tratar las infecciones bacterianas, pero la aparición y difusión de la resistencia a los antimicrobianos (RAM) es reconocida a nivel mundial como una grave amenaza para la salud pública. Los reservorios ambientales de microorganismos resistentes están vinculados a condiciones que ejercen presión de selección sobre los mismos. Al mismo tiempo, existe sustancial evidencia que las rutas ambientales de la diseminación de la resistencia pueden contribuir a la evolución de microorganismos patógenos resistentes que finalmente emergen en la comunidad, en clínicas y hospitales (Ashbolt, 2018). La vigilancia de la RAM en el ambiente permiten brindar conocimiento sobre los microorganismos resistentes a los que el ser humano puede estar expuesto en ese ambiente (Hart, 2023).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad bacteriológica del agua subterránea y la vigilancia de la RAM en los aislamientos bacterianos recuperados de estas muestras.

Materiales y métodos

Las muestras de agua profunda se tomaron en hogares de diferentes localidades de la provincia del Chaco. El rango de profundidades de extracción del agua subterránea estuvo comprendido entre los 9 y los 35 metros. Se realizaron todas las determinaciones establecidas por Código Alimentario Argentino para determinar la aceptabilidad microbiológica (CAA, 2021). A partir de las muestras donde se constató la presencia de coliformes totales se efectuó el aislamiento de las colonias de enterobacteriales en agar selectivo eosina azul de metileno (EMB) y la identificación de género y especie mediante pruebas bioquímicas clásicas. La evaluación del perfil de sensibilidad se realizó por el método de difusión en agar Müeller Hinton utilizando monodiscos de colistina (COL, 10 ug), tigeiciclina (TGC, 15 ug) y fosfomicina (FOS, 200 ug). Los valores de corte para los tres antimicrobianos ensayados se extrapolaron de lo establecido por EUCAST y CLSI. En los aislamientos que se consideraron resistentes a FOS, COL y/o TGC en el antibiograma, se confirmó la resistencia mediante la determinación de las Concentraciones Inhibitorias Mínimas

(CIMs) por microdilución en caldo mediante el sistema Sensititre (ThermoScientific^{MR}) de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Resultados y discusión

Se analizaron 30 muestras de fuentes subterráneas, las cuales no cumplieron con los criterios de aceptabilidad para consumo humano, datos que refuerzan la necesidad de seguir trabajando para lograr cumplir con la meta 6.1. De ellas, se obtuvieron 38 aislamientos de enterobacteriales, de los cuales 3, de diferentes localidades del Chaco (10% de las muestras), fueron resistentes a fosfomicina (FOS) pertenecientes a las especies *Escherichia coli* (n=2) y *Klebsiella pneumoniae* (n=1) respectivamente (Tabla 1). Estos resultados demuestran la contribución del agua, en este caso subterránea, como reservorio de bacterias resistentes a los antimicrobianos, condición que puede exacerbar aún más la resistencia global a estos compuestos (Biggel, 2021). Al mismo tiempo ratifica la necesidad de realizar el abordaje de la problemática de la resistencia antimicrobiana bajo la mirada de "Una Salud" y como estrategia para lograr cumplir con la meta 3.d "de reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y mundial".

Tabla 1.- Distribución de los aislamientos resistentes según el género y/o la especie involucrada.

Género	FOS	TGC	COL	Total
<i>Escherichia coli</i>	2	0	0	2
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1	0	0	1
Total	3	0	0	3

Conclusiones

El presente trabajo demostró la importancia sanitaria de alcanzar la meta 6.1, reforzar la 3.d y promover la vigilancia de la resistencia antimicrobiana bajo el enfoque integrado de "Una Salud".

El ambiente puede proporcionar fuentes y vías de transmisión de RAM a hospedadores susceptibles, incluidos los seres humanos, aunque la escala no está clara. La identificación de reservorios ambientales de bacterias resistentes aporta al entendimiento de la epidemiología de estos patógenos a la vez que permite evaluar, localmente, las medidas que se deben implementar para prevenir la diseminación de la multiresistencia.

Palabras claves: agua subterránea, Una Salud, resistencia antimicrobiana.

Referencias bibliográficas

Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Código Alimentario Argentino. (2021). Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf

Ashbolt, N., Pruden, A., Miller, J., Riquelme, M.V. and Maile-Moskowitz, A. (2018). Antimicrobial Resistance: Fecal Sanitation Strategies for Combatting a Global Public Health Threat. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds) Water and Sanitation for the 21st Century: Health and Microbiological Aspects of Excreta and Wastewater Management (Global Water Pathogen Project). (A. Pruden, N. Ashbolt and J. Miller (eds), Part 3: Specific Excreted Pathogens: Environmental and Epidemiology Aspects. Michigan State University, E. Lansing, MI, UNESCO. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.29>

Biggel M.; Zurfluh K.; Treier A.; et al. (2021). Characteristics of fosA-carrying plasmids in *E. coli* and *Klebsiella* spp. isolates originating from food and environmental samples. *J Antimicrob Chemother* 2021; 76: 2004–2011.

Clinical and Laboratory Standards Institute. (CLSI) Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing - 32th Ed. Suppl M100. 2022. Disponible en: <http://em100.edaptivedocs.net/GetDoc.aspx?doc=CLSI%20M100%20E-D32:2022&scope=user>.

European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.

(EUCAST) Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters Version 13.0, European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, (2023). Disponible en: https://www.eucast.org/clinical_breakpoints/.

Hart A.; Warren J.; Wilkinson H.; et al. Environmental surveillance of antimicrobial resistance (AMR), perspectives from a national environmental regulator in 2023. *Euro Surveill.* 2023 Mar 16; 28(11): 2200367.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. CABA. (2010). Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-1-2-22-000-2010>.

Yang J.; Wang H.; Roberts D.; et al. (2020) Persistence of antibiotic resistance genes from river water to tap water in the Yangtze River Delta. *Science of the Total Environment* 742 (2020) 140592.

Organización de las Naciones Unidas. (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). Una salud: un enfoque integral para abordar las amenazas para la salud en la interfaz entre los seres humanos, los animales y el medioambiente. Disponible en: <https://www.paho.org/es/documentos/cd599-salud-enfoque-integral-para-abordar-amenazas-para-salud-interfaz-entre-seres>.

UNA MIRADA HACIA EL INTERIOR DEL AGUA CON LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN

Ivana Maero

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de San Luis, 25 de mayo N° 384. Villa Mercedes (5730) San Luis
Argentina 2657 531000
E-mail: ismaero@unsl.edu.ar

Introducción

El nuevo puente Monseñor Francisco Miranda se sitúa sobre el Río Quinto y su función principal es la de conectar el barrio La Ribera, ubicado en la zona sur de la margen derecha del río, con el centro de la ciudad de Villa Mercedes, San Luis. Este puente facilita la circulación de los vecinos y aumenta el desarrollo urbano y al ser una obra de arquitectura cumple un rol muy importante en el paisaje gracias a su diseño vanguardista que lo convierten en un referente de la ciudad, una imagen se muestra en la figura 1. En sus inmediaciones se desarrolla un área habilitada como balneario público que tiene una infraestructura mínima.



Figura 1.- Vista del puente Monseñor Francisco Miranda.

En las aguas de río se pueden encontrar variados componentes de origen químico, físico y microbiológico que pueden ser de origen natural o antrópico y lo van a limitar para las utilidades que potencialmente posee.

El área de estudio se sitúa entre 33°41'52.5" S 65°28'25.5" W y 33°42'08.4" S 65°27'54.1" W. El aprovechamiento de sus aguas para fines recreativos incluye el baño y diferentes actividades deportivas, la natación es una actividad permitida que involucra la posibilidad de ingestión de agua y también la inmersión como parte de los juegos infantiles. El objetivo de este trabajo es evaluar los índices de contaminación por minerales (ICOMI), contaminación por materia orgánica (ICOMO), contaminación trófica (ICOTRO) y contaminación por pH (ICOpH), en los meses de verano cuando está habilitado y se concentra la mayor concurrencia de visitantes.

Materiales y Métodos

La metodología consiste en evaluar y cuantificar la contaminación existente basándose en una serie de fórmulas que relacionan parámetros físico-químicos y biológicos, que se

obtienen a partir de los análisis realizados in situ y en laboratorios. Se toman muestras en dos puntos diferentes que corresponden a la zona debajo del puente Monseñor Francisco Miranda y en otro balneario público ubicado 2 km agua abajo.

Los parámetros determinados *in situ* con equipo de laboratorio portátil son oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), temperatura del agua (°C), temperatura ambiente y conductividad. Los análisis de demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total, alcalinidad, dureza total y coliformes totales se realizan en los laboratorios físico-químico y microbiológico pertenecientes a un organismo estatal. La DBO se evalúa a partir de la relación entre DBO y DQO que establece Hidalgo *et. al.* (2003); esta relación es del mismo orden que la que se obtuvo a partir de los resultados obtenidos de los análisis de DQO y DBO en siete puntos de muestreo a lo largo del río en estudios anteriores.

Para la toma de muestras se utilizaron envases de tereftalato de polietileno (PET) de diferentes tamaños, de 2 litros de capacidad y de 500 centímetros cúbicos; para las muestras destinadas a los análisis microbiológicos se utilizaron envases estériles de vidrio de 500 ml. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2011), ha elaborado un protocolo para toma de muestra, rotulación y conservación de las mismas que se ha seguido en este trabajo.

Los equipos portátiles usados son un adquisidor de datos Xplorer GLX Pasco científico PS-2002, Passport PS-2169 calidad de agua sensor Pasco Scientific, Conductímetro DD9-699-06621 Pasco Scientific 10X, Sensor de temperatura Pasco Scientific, Medidor de pH, Pasco Scientific electrode FF9-699-195, medidor de oxígeno disuelto Pasco Scientific FF9-213, 699-06320; GPS marca Garmin modelo e Trex 10 y medidor de temperatura ambiente.

La metodología empleada para la determinación de coliformes totales es ISO 9308-2 primera edición 1990-10-01. Para la determinación de DQO el método usado es Oxidación a reflujo con dicromato de potasio. En la cuantificación de fósforo total se emplea el método del cloruro estagnoso.

Para la determinación de dureza total el método es SM 2340 C y para alcalinidad es una titulación potenciométrica.

La metodología que se sigue para determinar los Índices de Calidad de agua es la de Ramírez *et al.* (1997) y Ramírez *et al.* (1999) y consiste en evaluar y cuantificar la contaminación existente basándose en una serie de fórmulas que relacionan parámetros físico-químicos y microbiológicos.

Se utilizaron las ecuaciones que se detallan seguidamente:

a.- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI):

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{conductividad}} + I_{\text{dureza}} + I_{\text{alcalinidad}}) \quad (1)$$

b.- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO}} + I_{\text{coliformes totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}}) \quad (2)$$

c.- Índice de contaminación por pH (ICOpH):

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45 \text{ pH}}}{1+e^{-31.08+3.45 \text{ pH}}} \quad (3)$$

d.- Índice de contaminación trófico (ICOTRO):

Este índice se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta que se muestra en la tabla 1:

Tabla 1.- Categoría discreta para ICOTRO

Categoría	Concentración de fósforo total
Oligotrófico	< 0.01 (g.m ⁻³)
Mesotrófico	0.01 – 0.02 (g.m ⁻³)
Eutrófico	0.02 – 1 (g.m ⁻³)
Hipereutrófico	>1 (g.m ⁻³)

Los rangos establecidos para estimar el grado de contaminación de los índices ICOMI, ICOMO e ICOPH, varían entre cero (0) y uno (1) y se muestran en la tabla 2:

Tabla 2.- Significado de los Índices ICOMI, ICOMO e ICOPH

ICO	Grado de Contaminación
0 - 0.2	Ninguna
0.2 - 0.4	Baja
0.4 - 0.6	Media
0.6 - 0.8	Alta
0.8 - 1	Muy Alta

Resultados

Los resultados promedio obtenidos de los parámetros analizados de las muestras de agua para estimar los diferentes Índices de Contaminación se muestran en la tabla 3:

Tabla 3.- Resultados de los análisis de las muestras de agua.

Balneario Puente Monseñor Miranda	Diciembre 2021	Enero 2022	Febrero 2022
Conductividad uS/cm	118	116.0	131.5
Alcalinidad, mg CO ₃ Ca/l	159	156	150
Dureza total, mg CO ₃ Ca/l	277	241	200
Coliformes Totales, NMP/100 ml	9.1 x 10 ²	2.4 x 10 ³	4.6 x 10 ³
OD, mg/l	7.2	5.9	6.1
DQO mg O ₂ /l	22.5	32	51.04
Fósforo, mg/l	<0.01	<0.01	<0.01
pH	10.05	9.74	9.3

Se emplea la relación DBO/DQO = 0.36, para valorar la DBO. Los resultados obtenidos de los diferentes Índices de Contaminación para los meses de diciembre del año 2021, enero y febrero del año 2022 se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Resultados para los índices de contaminación

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN	SIGLA	Diciembre 2021	Enero 2022	Febrero 2022
Índice de contaminación por materia orgánica	ICOMO	0.35	0.49	0.59
Índice de contaminación por mineralización	ICOMI	0.63	0.62	0.63
Índice de contaminación por trofia	ICOTRO	oligotrófico	oligotrófico	oligotrófico
Índice de contaminación por pH	ICOPH	0.98	0.92	0.5

Conclusiones

Al valorar los diferentes Índices de Contaminación se observa que los principales inconvenientes están relacionados con un valor medio-alto de contaminación por mineralización y un valor medio por materia orgánica; éstas características permiten considerar que no es conveniente que se realicen las actividades que implican inmersión, como la natación. La contaminación por pH es media alta y el curso de agua presenta características oligotróficas. El problema de mineralización se vincula, en parte, con las formaciones geológicas por las que atraviesa el río y en parte a la acción antrópica. Se considera que los niveles de contaminación por materia orgánica y pH que se observan es debido a que el cauce es receptor de aguas efluentes de diferente naturaleza y con variado grado de tratamiento.

Bibliografía

- Cañas Arias J. (2012).** Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua. Makro Construcciones Ltda., Bogotá, Colombia.
- Hidalgo M., Meoni G., Barrionuevo M., Navarro G., Paz R. (2003).** Variabilidad de la relación existente entre DBO y DQO en ríos de Tucumán, Argentina. 13° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina13/cong39.pdf>.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (2011).** Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego) 11 pg.
- Ramírez A., Restrepo R. y Vina G. (1997).** Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales, formulaciones y aplicación. Ciencia, tecnología y futuro. 1 (3): 135-153 Bucaramanga.
- Ramírez A., Restrepo R., Cardeñoso M. (1999).** Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. ciencia, tecnología y futuro. 1: 89-99. repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf.

ANÁLISIS INTEGRAL DE RIESGO AMBIENTAL DEL BARRIO CANTERA DE LA CIUDAD DE SAN MARTÍN DE LOS ANDES Y LA INCIDENCIA DE LAS CONDICIONES DE VIDA DE LA POBLACIÓN. PROPUESTAS PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE.

Maidana Ain, M. Asunta de las Nieves Romero

Universidad Nacional del Comahue. FaaCiAS, Argentina
E-mail: ainmaidana@live.com.ar; nievesnqn@yahoo.com.ar

Introducción

Cantera es un asentamiento que se fue desarrollando a lo largo del tiempo sobre una ladera de montaña, inserto en uno de los centros turísticos más importantes de la región - San Martín de los Andes - localizado en la región sur de la Provincia de Neuquén. A lo largo de las últimas décadas, Cantera ha crecido tanto en su población como en el espacio ocupado, reflejando la apropiación y construcción del ambiente urbano informal. Las formas que asume la construcción de la vivienda sin tener en cuenta por un lado los condicionantes del medio natural y por otro, las necesidades en términos de salud de la población, genera una serie de problemas socio ambientales, derivados de la falta de agua potable; inundaciones, imposibilidad de higiene por falta de instalaciones sanitarias; hacinamiento; densidades y organización del territorio que impiden desde la limpieza pública a la entrada de servicios de salud.

En este contexto se analizó de manera integrada el riesgo ambiental mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objeto de realizar un diagnóstico que contribuya a generar propuestas de gestión y planificación, determinación de medidas de prevención y mitigación del riesgo.



Figura 1.- Ubicación del barrio Cantera, Ciudad de San Martín de los Andes, Neuquén.

Metodología

El análisis y estimación de riesgo, fue abordado a través de índices obtenidos a partir del tratamiento digital de capas de información geográfica obtenidas mediante un análisis visual y digital de imágenes satelitales, la utilización de un modelo digital de elevaciones (DEM), revisiones bibliográficas, relevamiento de campo con entrevistas ocasionales y el profundidad y trabajo en gabinete. Se realizó mediante una lógica combinada de metodología mixta cuantitativa-cualitativa-integrada la cual requirió un trabajo analítico de permanente relación y reformulación de una dimensión en función de la otra. Se empleó el software ArcGis 10.5 durante todas las instancias de trabajo para la elaboración de la cartografía correspondiente y el entrecruzamiento de datos espaciales y no espaciales. Se elaboró el sistema de información geográfica (SIG) estructurado en 3 etapas:



Figura 2.- Etapas del proceso metodológico utilizado en el software para la estimación del riesgo ambiental en los 3 niveles.

La estimación del riesgo hidrológico (RH) se realizó como el producto la vulnerabilidad estructural (VE) y la peligrosidad hidrológica (PH):

$$RH = PH * VE \quad [1]$$

$$PH = 0,2 * CV + 0,4 * CC + 0,4 * P \quad [2]$$

$$VE = CALMAT + DA + CSB \quad [3]$$

Para la valoración del Peligro Hidrológico (PH) se emplearon los factores: cobertura vegetal (CV), cercanía a cauces (CC) y pendiente (P) con sus respectivos factores de ponderación. Mientras para la construcción del índice compuesto de Vulnerabilidad, se decidió utilizar indicadores de calidad del sistema del barrio y se optó por utilizar 3 indicadores socio-ambientales de base para el mismo: Calidad de los materiales (CALMAT), Densificación en altura (DA), y Cobertura de servicios básicos (CSB).

Tabla 1.- Clasificación y Niveles de Riesgo escala Barrial

Nivel de Riesgo	Valores
Alto	60 - 90
Medio	30 - 60
Bajo	0 - 30

Tabla 2.- Referencias matriz de puntos riesgo a escala barrial

Sitio	Color	Icono	Descripción
De Conflictos (...)	[Color]	[Icono]	Residuos - Animales sueltos
		[Icono]	Efluentes
Inseguros	[Color]	[Icono]	Accesos sin protección
		[Icono]	Déficit de luminaria.
Desmoronamientos	[Color]	[Icono]	Desprendimientos y movimientos del terreno (colapso de muros y viviendas)
		[Icono]	Anegamientos de suelo,
Inundación	[Color]	[Icono]	Desbordamientos de cauces - siniestro de inundación
Incendios	[Color]	[Icono]	Siniestro de incendio en viviendas.

Resultados

El estado general de conservación de la cuenca alta es bueno, en su estado natural actual presenta áreas puntuales intervenidas antrópicamente por los accesos principalmente en el sector noroeste de la cuenca, como la RPN^o19, que modifican el estado del bosque. Principalmente se observan cortes abruptos en el terreno de la red de drenaje en la subcuenca SC3 y SC3a por construcción de viviendas rurales, modificación de caminos, y leves signos de deforestación.

El mapa de riesgo a escala barrial arrojó como resultado que casi la totalidad de Cantera es vulnerable a la amenaza hidrológica. El arroyo Cantera se encuentra obstruido en todo el tramo de su recorrido por construcciones espontáneas de viviendas, garajes, y distintos encauzamientos artesanales de capacidad y diseño

insuficiente. El RH se halla directamente relacionado con las crecidas de los cauces del barrio ocupando terrenos adyacentes. Aquellas zonas de mayor CC, permanente como temporarios, presentaron peligrosidad muy alta. y en casos extremos y favorecidos por las modificaciones antrópicas del terreno, resultó en una PH muy alta de escurrimiento de grandes masas de agua y sedimentos – aluviones- en corto tiempo. Los resultados arrojaron valores de RH *alto* en 11 lotes (4,95%), los valores de RH *medio* cubren la mayor superficie de Cantera siendo 188 lotes (84,69 %). Mientras que los valores de RH *bajo* resultaron en 23 lotes (10,36%).

A escala poblacional y a partir del procesamiento de los fragmentos de los discursos, se proyectó la abundancia de sitios reconocidos, representativos de factores de riesgos y problemas identificados por la población. Se asocia a que existe un elevado grado de conciencia respecto de las condiciones ambientales en las cuales viven. Respecto a las percepciones de riesgos el primero que sensibilizan como el de mayor preocupación o el de más gravedad, es el desmoronamiento de laderas. El segundo riesgo, el cual reflejan preocupación creciente debido a los accidentes reiterados que han ocurrido en Cantera es el riesgo de incendio. Por último, con tercer riesgo resultaron casos de inundación, problemas de anegamiento y deficiencia de servicios de toda índole; iluminación, red cloacal, conexión al gas, agua potable y recolección de residuos.

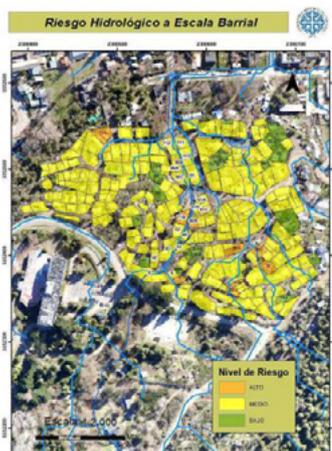


Figura 3.- Mapa de Riesgo estructural de la población de Cantera frente a eventos Hidrológicos.



Figura 4.- Mapa de las representaciones y percepciones sociales del riesgo de la población de Cantera.

Conclusiones

El análisis descriptivo y explicativo, permitió verificar el problema del trabajo formulado, junto con la obtención de criterios orientadores para realizar la selección de medidas a implementar en los sectores y trabajar a futuro. Los aportes de este trabajo han sido significativos y han contribuido al establecimiento de información de base mediante el desarrollo específico de un SIG articulado, incorporando a la población

vulnerable del barrio, y han permitido reconocer un aspecto clave y fundamental al momento de realizar el análisis, la combinación de variables duras y sociales en la representación del riesgo ambiental, el conocimiento de las amenazas de Cantera, vulnerabilidades de la población, su proyección, cartografía, y análisis, logrando una seriedad disciplinaria enmarcada dentro de una visión que reconoce los aportes y enfoques dados por las perspectivas locales.

Referencias

- Acosta, V.** (2005). “El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos”. *Desacatos. Revista Social de Ciencias Sociales* (19), pp. 11-24.
- Blaikie, P.** (1996). *Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres*. LA RED, Soluciones Prácticas-ITDG.
- Clichevsky, N.** (2002). *Pobreza y políticas Urbano-ambientales en Argentina*. En D. d. Urbanos, Medio Ambiente y Desarrollo (pp. 49-78). Santiago de Chile.
- Dölling, O. R.** (2017). *Diseño Ejecutivo Sistema de Prevención de Riesgo de Desastres del Cerro Curruhuinca*. San Martín de los Andes: Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda. Presidencia de la Nación.
- Fernandez, M. A.** (1996). “Ciudades en Riesgo: Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres”. Lima, Perú: LA RED, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Gurevich, R. & Herzer, H.** (1996). “Construyendo el Riesgo Ambiental en la Ciudad”. *Desastres y Sociedad* (No. 7).
- Halcrow.** (2009). *Estudio de Diagnóstico y Evaluación de Riesgo Geofísico en la Ladera Urbanizada del Cerro Curruhuinca, San Martín de los Andes, con Propuesta y Proyecto Ejecutivo de las Medidas Estructurales de Mitigación*. San Martín de los Andes.
- Kalambach, R.** (2015). *Estudio de Fragilidad Ambiental y Expansión de la mancha Urbana en San Martín de los Andes*. Córdoba, Argentina.
- Lavell, A.** (2003). *La Gestión Local del Riesgo. Nociones y precisiones entorno al concepto y la práctica*. Cepredenac- PNUD.
- Marcano, A., & Cartaya, S.** (2010). “La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Algunas Consideraciones”. *Revista Universitaria Arbitrada de Investigación y Diálogo Académico*, 6 (3), pp. 48-54.
- Maskrey, A.** (1993). *Los Desastres No Son Naturales*. Bogotá, Colombia: LA RED, Tercer Mundo Editores.
- ONU-EIRD.** (2004). *Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastre*. Recuperado el 14 de Agosto de 2020, de UNDRR: <https://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/index2.htm>
- ONU-Hábitat.** (2012). *Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Brasil.
- Ruben, K.** (2015). *Estudio de Fragilidad Ambiental y Expansión de la mancha Urbana en San Martín de los Andes*. Córdoba, Argentina.
- Salamanca, L.** (2009). “Estudio de Resiliencia en Desastres Naturales en Seis Barrios de la Ciudad de la Paz, Bolivia”. National Centre of Competence in Research (NCCR-NS) – Investigador Senior. La Paz.
- Vanegas, A. C.** (2017). “Gestión del Riesgo en Sistemas de Información Geográfica”. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.
- Werner, F.** (2007). *GEO San Martín de los Andes. Perspectivas del Ambiente Urbano*. Buenos Aires, Argentina.

ENSAYO DE BOMBEO EN UN POZO DE EXPLOTACIÓN PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RECURSO HÍDRICO EN AZUL, BUENOS AIRES

Maino Minetto, Matías^{1,2}, Gualde, María Soledad^{1,2},
Peralta Reyes, María Eugenia³, Dietrich, Sebastián^{1,2}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA C1425FQB, Buenos Aires, Argentina

²Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina

³Cooperativa Eléctrica de Azul Limitada (CEAL), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina
matiasmaino@ihlla.org.ar, msgualde@ihlla.org.ar, meperaltareyes@ceal.com.ar, sebadietrich@ihlla.org.ar

Introducción

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para el año 2030 (Asamblea General de Naciones Unidas, Res. 70/1, 2015), en particular el ODS 6, tiene como objetivo garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua. Con esa finalidad proponen, entre otras, el uso eficiente del recurso hídrico y la sostenibilidad de la extracción para la reducción del número de personas que sufren la falta de agua. En relación a esta problemática, en Argentina se lleva a cabo una política mediante el Ministerio de Desarrollo Social de la Nación para acortar la brecha de infraestructura existente en barrios populares con el fin de brindar el acceso a los derechos humanos básicos, como lo es el derecho al agua. Las obras son financiadas por el Fondo de Integración Socio-Urbana y para asegurar el correcto direccionamiento de dichos activos, la Secretaría de Integración Socio-Urbana generó un Registro Nacional de Barrios Populares. En este marco, por medio de la Cooperativa Eléctrica de Azul Limitada (CEAL) que es el ente encargado de la provisión de agua potable en la ciudad de Azul (Buenos Aires), es que se realizó una perforación para un pozo de explotación de agua subterránea en el Barrio "San Martín de Porres". Este barrio forma parte de uno de los asentamientos de la ciudad reconocido como vulnerable por el Registro Nacional de Barrios Populares. El propósito de la construcción del pozo radica en la extensión de la red de agua potable, permitiendo así la conexión con nuevas viviendas.

En este trabajo se presentan los resultados de un ensayo de bombeo llevado a cabo por el Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), en el contexto de un Convenio Marco de Cooperación junto con la CEAL, para la correcta gestión del recurso hídrico. El pozo alcanzó los 120 m de profundidad atravesando el suelo actual, la cobertura de loess, un horizonte petrocálcico (~30 cm) y el acuífero Pampeano, alcanzando el techo del basamento. El acuífero Pampeano se caracteriza por la presencia de materiales tamaño limo, con abundante contenido de loess, carbonato de calcio (tosca) y niveles de arcillas intercalados, que hidráulicamente se comporta como un acuífero libre. Sin embargo, con el aumento de la profundidad, los niveles de arcilla y la tosca, le brindan la característica de acuífero multicapa con una marcada anisotropía vertical, comportándose como un acuífero de tipo semiconfinado (Varni y Usunoff, 1999). Para conocer los parámetros hidráulicos básicos del acuífero y así lograr un manejo adecuado del recurso, se llevó a cabo un ensayo de bombeo escalonado con una duración de 9 h 11 min. El análisis de los datos obtenidos y su interpretación se realizó con el programa MJ-Pumpit (Criollo et al., 2016), el cual permite mediante una calibración automática de los parámetros hidráulicos, y suponiendo medios homogéneos, obtener la curva de descensos teórica producida por el bombeo. Además, admite utilizar diferentes modelos analíticos, que se adaptan a distintas condiciones, para estimar los parámetros hidráulicos de un acuífero comparando la curva de descenso observada con la teórica.

Materiales y Métodos

Para la realización del ensayo de bombeo se utilizó una bomba sumergible marca Motorarg con un cuerpo modelo BMS 6100 R2 y un motor de 15 HP. La bomba se instaló en el pozo de explotación, estando la superficie freática el día de la labor a 3.45 m de profundidad. El agua bombeada se drenó hacia una zanja en la dirección de mayor pendiente con el fin de evitar interferencias con los datos registrados durante el ensayo (Fig. 1-A). Por otro lado, se contó con un pozo de observación (piezómetro), a una distancia de 31.2 m del sitio de bombeo, donde se tomaron dos mediciones del nivel estático, tres días antes del ensayo (3.24 m) y el mismo día antes de comenzar (3.21 m). Las mediciones de los descensos del nivel de freático, tanto en el pozo de explotación, como en el de observación, se realizaron de forma manual con una sonda freatimétrica (Fig. 1-C). En el piezómetro, se utilizó también un *diver* previamente programado para tomar mediciones cada 2 min. Los caudales fueron regulados utilizando una válvula esclusa, a la cual se le acopló un caudalímetro electromagnético antes de comenzar el ensayo para realizar el aforo (Fig. 1-B). Se llevó a cabo un ensayo escalonado con tres caudales (20, 40 y 60 m³/h), obteniendo la curva de descensos correspondientes, y se contempló también la recuperación del nivel. Para la correcta interpretación del ensayo, donde se debe tener un valor de caudal constante para cada escalón, se tomaron datos de caudal continuos a lo largo de todo el ensayo, para luego hacer un promedio para cada variación del mismo, obteniendo así los tres valores utilizados para ejecutar el modelo.

Para el análisis y evaluación de los descensos medidos se utilizó el programa de acceso libre MJ-Pumpit (Criollo et al., 2016). Este programa trabaja con la ecuación de flujo como base para los modelos utilizados, fundamentada en la ecuación de Darcy y la ecuación de balance de masa. Calcula la curva de descensos teóricas producidas por un ensayo de bombeo, permitiendo estimar los parámetros hidráulicos del acuífero. Para ello, considera al bombeo como una perturbación externa, que produce una reacción en el sistema, a través de la cual ajusta sus parámetros hidráulicos. Para cada situación específica provee diferentes modelos analíticos que suponen medio infinito como Theis, Hantush, Theis modificado y Hsieh-Neuman. Además, permite simular situaciones particulares como aspectos constructivos de los pozos vinculados al almacenamiento en los pozos en función de sus diámetros, el efecto piel y aquellas perforaciones que no atraviesan el espesor total del acuífero. Previo a la carga en el programa, los datos obtenidos en campo fueron corregidos mediante una planilla de cálculo. Para la elección del modelo analítico adecuado se utilizó un informe de campo del perfil litológico levantado durante las tareas de perforación.

En primera instancia se estimaron los parámetros hidráulicos básicos, introduciendo valores típicos antecedentes de la zona de estudio. Con los valores obtenidos, se volvió a correr el programa, esta vez ajustando los descensos a partir de los nuevos parámetros. Conjuntamente, se calibraron los parámetros utilizando sólo los datos del pozo de observación, para descartar las posibles perturbaciones que se dan en el pozo de bombeo y, además, poder contrastar las dos mediciones simultáneas de nivel

con las que se contaban (*diver-sonda*). Por último, se emplearon los datos de ambos pozos, esta vez teniendo en cuenta la pérdida de carga en el pozo de bombeo, que también fue estimada por el software, obteniendo así los parámetros hidráulicos básicos y las curvas teóricas de descenso y recuperación.



Figura 1.- A: Instrumental usado para el ensayo y manguera de desagüe utilizada para drenar el agua hacia la zanja. B: Detalle del caudalímetro y llave exclusiva. C: Tareas de medición de nivel con sonda freaticométrica durante el bombeo.

Resultados y Discusión

En una primera ejecución del software MJ-Pumpit se empleó el modelo para acuífero libre, sin embargo, los resultados no mostraron un ajuste satisfactorio entre los datos de campo y los datos calculados por el modelo. Por ello, se consideraron los datos litológicos de campo y los datos de parámetros antecedentes del acuífero Pampeano, donde se indica que este acuífero, debido a sus características de multicapa (niveles de arcilla y tosca), podría comportarse como un semiconfinado (Varni y Usunoff, 1999). Por este motivo se ejecutó nuevamente el programa, empleando el modelo de Hantush (acuíferos semiconfinados), mediante el cual se logró minimizar la función objetivo, consiguiendo así un mejor ajuste entre los datos medidos y calculados. Se observa en la Figura 2 como la curva de descensos se acopla mejor para el pozo de observación, que para el pozo de bombeo. Esto se debe a cuestiones operativas que surgieron durante el ensayo de bombeo, tales como pérdidas de agua en el pozo y la calibración del instrumental de medición. A partir de los resultados del modelo se obtuvieron los parámetros hidráulicos del acuífero:

-Transmisividad: 81 m²/día

-Coeficiente de almacenamiento: 0.0017

Además, se obtuvo la permeabilidad del acuitardo semiconfinante cuyo valor de 0.35 m/día estaría respondiendo tanto a los niveles de arcillas intercaladas como a la tosca, observados en el perfil litológico de campo. Conjuntamente, se calculó el caudal específico (Ec. 1) a partir del valor de la transmisividad obtenido, dando como resultado: 2.9 m³/h/m.

$$\text{Ecuación de Galofré: } T \text{ (m}^2\text{/día)} = 100 * q \text{ (L/s/m)} \text{ [1]}$$

A partir de la transmisividad obtenida según Villanueva e Iglesias (1984) se puede clasificar el acuífero estudiado como uno de productividad baja ($10 < T < 100$). Por su parte, el valor del coeficiente de almacenamiento es coherente con los valores para un acuífero semiconfinado, del orden de 10^{-3} . Los resultados

obtenidos demuestran que el estudio previo a la explotación del recurso agua subterránea es fundamental para gestionarlo de manera sostenible. Este caso particular muestra que, según bibliografía antecedente, el acuífero Pampeano se puede considerar como libre, pero luego del ensayo, los parámetros y el ajuste del modelo demostraron que su comportamiento es de tipo semiconfinado. Esta condición, genera que en la práctica se reduzca considerablemente el caudal óptimo a explotar y, por ende, la forma de gestionarlo dependerá fuertemente de esta condición. El desconocimiento de las características hidráulicas del acuífero puede llevar a una sobre explotación del mismo, en detrimento de la sostenibilidad del recurso en el tiempo. Para lograr un manejo correcto y perdurable, permitiendo el acceso al agua potable tanto en este barrio popular, como en otros en la ciudad de Azul, es indispensable implementar la gestión integrada del recurso a través de un trabajo mancomunado entre la CEAL y el IHLLA.

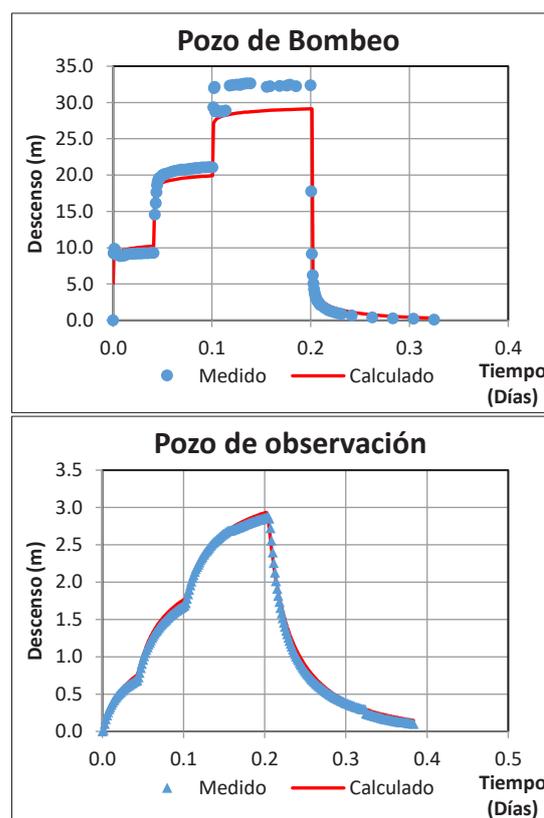


Figura 2.- Gráficos de salida del modelo de las curvas medidas y calculadas, para el pozo de bombeo y el de observación.

Referencias Bibliográficas

- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). "Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015". URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/93/PDF/N1529193.pdf?OpenElement>
- Criollo, R., Velasco, V., Vázquez-Suñé, E., Serrano-Juan, A., Alcaraz, M., & García-Gil, A. (2016). An integrated GIS-based tool for aquifer test analysis. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 391.
- Fidalgo, F., Gentile, R. O. y Correa, H. A. (1986). Geología y Geomorfología en la Cuenca del Arroyo Tapalqué. Provincia de Buenos Aires, *Comisión de Investigaciones Científicas. Informe 30*, 1-73. La Plata, Argentina.
- Varni, M., y Usunoff, E. (1999). Simulation of regional-scale groundwater flow in the Azul River basin, Buenos Aires Province, Argentina. *Hydrogeol. J.*, 7, 180-187.
- Villanueva, M., Iglesias, A. (1984). Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. *IGME*. Madrid, 426 pp.

ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE UNA MATRIZ REAL POR EL MÉTODO DE COAGULACIÓN

¹Milena Marino, ²Tatiana Arturi y ³Jorge Sambeth

¹Facultad de Ingeniería, UNLP, Argentina.

²Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería (UNLP), Argentina.

³Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Químicas e Ingeniería (CINDECA), Argentina.

E-mail: Milenamarino98@gmail.com; arturitiana@gmail.com; sambeth@quimica.unlp.edu.ar

El presente trabajo busca una posible solución hacia la eliminación de microplásticos en agua, problema que crece en gran medida debido a la mega producción y demanda de materiales de plástico (Castañeta, Gutiérrez, Nacaratte, Manzano, 2020; PlasticsEurope, 2020) que, en relación con su entorno, comienzan a sufrir desgastes y fracturas (Sarria-Villa, Gallo-Corredor, 2016), formando así microplásticos que pueden dispersarse y viajar por todos los compartimentos ambientales, entre ellos, y en muchísima mayor medida, en cuerpos de agua (M. Acha, W. Mianzan, Iribane, A. Gagliardini, Lasta, Daleo, 2003; Issac, M. N., & Kandasubramanian, B., 2021).

Como algunos plásticos tienen densidad similar a la del agua, éstos en micro tamaños quedan suspendidos en forma coloidal. Algunos autores han estudiado la remoción de microplásticos por medio de coagulación (Tabatabaei, Mafigholami, Moghimi, Khoramipoor, 2023; Xu, Huang, Luo, Wu, Wei, Ni, 2021; Monira, A. Bhuiyan, Haque, Pramanik, 2021), es decir, el proceso de desestabilización de las partículas en suspensión coloidal presentes en agua; sin embargo, son pocos los estudios con matrices reales de estos microplásticos.

Es por esto, que, en esta investigación se ensayaron dos muestras de microplásticos de polipropileno (PP), obtenidas de la molienda de tapas de botellas de plásticos, de 50 y 120 µm de tamaño nominal y se evaluó la capacidad de dos coagulantes comerciales (sulfato de aluminio y cloruro férrico) para remover los microplásticos del agua.

La molienda de tapas de PP dio como resultado porciones de plástico de muchos tamaños y de formas irregulares, por ende, se realizó un filtrado para obtener el tamaño deseado; gracias a otros autores (Artunduaga, 2002; Garza, Orta, Delgado, Morones, López, Mendoza, Medina, 2017) se tuvo en cuenta el efecto de estática que se genera entre las superficies plásticas, y es por esto que los ensayos se realizaron en agua.

Para calcular la concentración de los microplásticos en ambos tamaños nominales, se realizaron soluciones de 5 litros, de los cuales se separaron 30 ml y se llevaron a un horno de 40°C (para evitar fundir al plástico), luego se pesaron, se expresaron los resultados en la tabla 1 y con los siguientes cálculos se obtuvieron las concentraciones.

Tabla 1.-Resultados de las pesadas

120 [µm]	Vaso vacío [g]	32.998
	Vaso con muestra seca [g]	34.8506
	Muestra seca [g]	1.8526
50 [µm]	Vaso vacío [g]	34.8478
	Vaso con muestra seca [g]	36.0012
	Muestra seca [g]	1.1534

$$[\text{solución MP } 120 \text{ } \mu\text{m}] = 1000\text{ml} \cdot \frac{1,8526\text{g}}{30\text{ml}} = 61,753 \quad [1]$$

$$[\text{solución MP } 50 \text{ } \mu\text{m}] = 1000\text{ml} \cdot \frac{1,1534\text{g}}{30\text{ml}} = 38,447 \quad [2]$$

Se realizó un diseño de experimento por el método de Doehlert para evaluar la eficiencia de remoción de microplásticos en test de jarra variando el pH y la concentración de coagulante; el pH se modificó con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) y cloruro de sodio (NaCl), mientras que el sulfato de aluminio y cloruro férrico se agregaron en diferentes alícuotas para cada ensayo ya que cambiaban las condiciones requeridas.

Tabla 2.-Condiciones dadas por el método de Doehlert

	pH	[sulfato de aluminio] [ppm]	[cloruro férrico] [ppm]	Volumen final [ml]
Ensayo 1	7	500	500	200
Ensayo 2	6	500	500	200
Ensayo 3	6.5	240.2	240.2	200
Ensayo 4	8	500	500	200
Ensayo 5	7.5	760	760	200
Ensayo 6	6.5	760	760	200
Ensayo 7	7.5	240.2	240.2	200

Se midió la turbidez inicial y la turbidez final para calcular el porcentaje de remoción del método de acuerdo a las condiciones establecidas.

$$\% \text{remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} \cdot 100 \quad [3]$$

Cabe destacar que las muestras no fueron homogéneas durante el ensayo, lo cual implica un error de dispersión ya que la turbidez variaba dependiendo del punto donde se tomaba la muestra; también se observó durante la experiencia que los flocs formados luego del agregado del coagulante eran débiles, por lo que se podían “romper” con un pequeño movimiento. Es por estas razones que la turbidez inicial y final se tomó por triplicado para cada ensayo, buscando disminuir el error en el cálculo.

Con los resultados obtenido se realizó una curva de superficie de respuesta y se pudo ver que la mejor remoción se dio con las partículas de 120 µm usando el sulfato de aluminio, dando un porcentaje máximo de 89,5%, sin embargo, la remoción con cloruro férrico alcanzó un valor máximo de 81,99%.

A continuación, se muestran las curvas de superficie de respuesta para ambos coagulantes con microplásticos de 120 µm.

La figura 1 corresponde al sulfato de aluminio, se puede concluir de ésta que ninguno de los dos factores estudiados (rango de pH y dosis de coagulante) altera significativamente el porcentaje de remoción de microplásticos de PP, sin embargo, éste alcanza valores altos, siendo el máximo 89,5% para la condición de pH 6 y concentración de coagulante de 600 ppm.

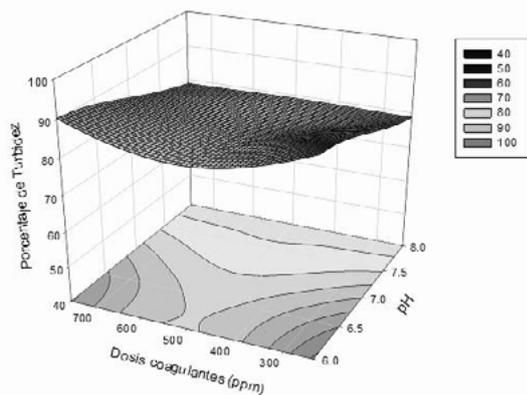


Figura 1.-Curva de superficie de respuesta para microplásticos de 120 um con sulfato de aluminio como coagulante

Para el caso del cloruro férrico se puede notar que los porcentajes de remoción no son tan altos, siendo 81,99% el valor máximo; a diferencia del caso anterior, ambos factores están alterando significativamente los resultados, y se concluye que la dosis óptima de coagulante es 600 ppm a un pH de 6,5.

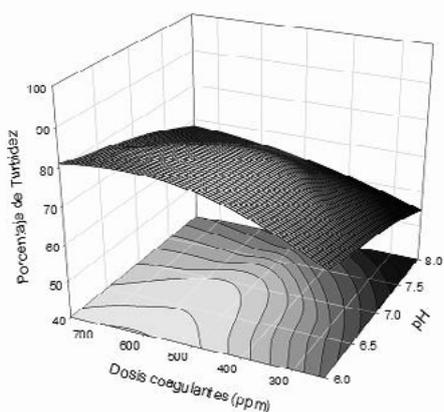


Figura 2.-Curva de superficie de respuesta para microplásticos de 120 um con cloruro férrico como coagulante

Como tendencia general para microplásticos de 120 um, se puede ver que la remoción aumenta al bajar los niveles de pH, es decir que, a pH más ácidos, los coagulantes son más efectivos en cuanto a la remoción de microplásticos.

Las curvas de superficie de respuesta para partículas de 50 um no fueron claras, por ende, no se consideraron como un resultado válido; sin embargo, comparando los valores de turbidez final obtenidos en todo el rango de concentración de los coagulantes, se llega a la conclusión de que el sulfato de aluminio es más efectivo para la remoción de polipropileno.

La línea punteada de la figura 3 corresponde al valor máximo admisible de turbidez en agua potable establecido por el Código Alimentario Argentino (CAA), el sulfato de aluminio logra que la muestra de microplásticos cumpla con esta normativa.

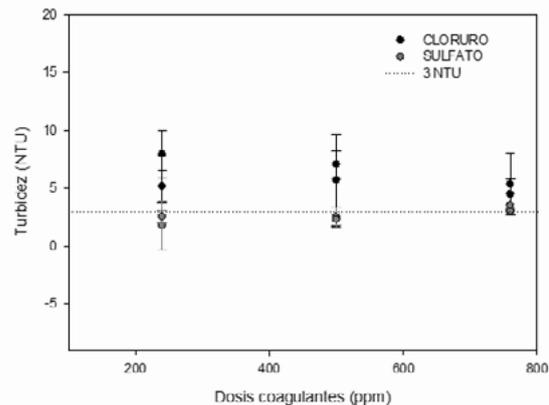


Figura 3.-Resultados de la turbidez obtenida con microplásticos de 50 um en función de la dosis y del tipo de coagulante, comparando éstos con la línea punteada que corresponde a la turbidez máxima aceptada por el Código Alimentario Argentino (CAA) para agua potable.

Referencias Bibliográficas

- Castañeta, Gutiérrez, Nacaratte, Manzano (2020).** *Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición.* Revista Boliviana de Química. Bolivia.
- PlasticsEurope (2020).** “Plásticos – Situación en 2020: un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa”
- Sarria-Villa, Gallo-Corredor (2016).** “La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: microplásticos”. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA). Colombia.
- Tabatabaei, Mafizholami, Moghimi, Khoramipoor (2023).** “Effect of Fe and Al based coagulants and disinfectants on polyethylene microplastics removal in coagulation process through response surface methodology”. *Water Science & Technology*, Vol 87 No 1, 99.
- Xu, Huang, Luo, Wu, Wei, Ni (2021).** “Coagulation removal and photocatalytic degradation of microplastics in urban Waters”. *Chemical Engineering Journal*. China.
- Monira, A. Bhuiyan, Haque, Pramanik (2021).** “Assess the performance of chemical coagulation process formicroplastics removal from stormwater”. *Process Safety and Enviromental Protection*, Vol. 155, pp. 11-16. Australia.
- Artunduaga, S. R. G. (2002).** Los aditivos en los materiales plásticos. *Informador Técnico*, 65, 32-36.
- Garza, J. V., Orta, C. Á., Delgado, V. C., Morones, P. G., López, G. H., Mendoza, M. W., ... & Medina, J. P. (2017).** Antistatic films based on polymer nanocomposites. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (44), 8-9.
- M. Acha, W. Mianzan, Iribane, A. Gagliardini, Lasta, Daleo (2003).** “The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris”. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 46, pp. 197-202. Argentina.
- Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2021).** “Effect of microplastics in water and aquatic systems”. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19544-19562.

OPTIMIZACIÓN DE PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA DESCENTRALIZACIÓN Y REUSO

Maribel Graciela Martínez Wassaf, Yanina Alejandra Grumelli, Jorge Eduardo Castillo y Adriana Beatriz Welter

Facultad de Ciencias Químicas – Universidad Católica de Córdoba, Argentina
Av. Armada Argentina 3555. Tel 3514266666. maribel.martinez@ucc.edu.ar, dirlabcen@ucc.edu.ar, castillojorgeeduardo@yahoo.com.ar, adriana.welter@ucc.edu.ar

Introducción

El agua es la base para la supervivencia de los organismos vivos y para el desarrollo sostenible de nuestro planeta. El uso de agua dulce se ha multiplicado por seis en los últimos cien años y sigue creciendo a un ritmo anual de casi 1% desde los años 80 (AQUASTAT, n.d.). Gran parte de este aumento se debe a una combinación de factores, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y el cambio en los patrones de consumo. El 2030 Water Resources Group (2009) llegó a la conclusión que, de no cambiar la situación, el mundo registrará un 40% de déficit hídrico en 2030 (ONU-Agua, 2021). Paralelamente a la creciente escasez del recurso hídrico, nos enfrentamos a la disminución de su calidad y al riesgo que esto implica para las poblaciones. La carga de nutrientes, que generalmente va asociada a la carga de patógenos, es una de las principales fuentes de contaminación (UNEP, 2016). Se estima que a nivel global el 80% de todas las aguas residuales industriales y municipales se vierten al ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, con efectos nocivos para la salud humana y el ecosistema (WWAP, 2017). Esta proporción es mucho mayor en los países menos desarrollados que carecen en gran parte de instalaciones de saneamiento y de tratamiento de aguas residuales. Se ha calculado que en estos países solamente el 8% de las aguas residuales industriales o municipales se somete a algún tipo de tratamiento (Sato y col, 2013). Cada año aproximadamente 829.000 personas mueren de diarrea por haber bebido agua potable no segura o por falta de saneamiento o higiene en las manos, representando el 60% de todas las muertes por diarrea del mundo e incluyen cerca de 300.000 niños menores de cinco años (Prüss-Üstün y col, 2019), constituyendo la segunda causa de muerte (OMS, 2017). Según un estudio de Kapikian (1993) la principal causa de internación por diarrea en niños en países en desarrollo (55%) es de origen viral. Además, la enfermedad diarreica y enteropatía ambiental inhiben la absorción de nutrientes y generan desnutrición (Teague y col, 2014). Aproximadamente el 50% de toda la malnutrición está relacionada con repetidos cuadros infecciosos de diarrea o de parasitosis intestinal debidos al consumo directo de agua en mal estado o a la falta de saneamiento e higiene (Prüss-Üstün y col, 2008).

En Argentina, el 56.1% de la población cuenta con sistemas de cloacas, con un déficit en sistemas de saneamiento del 87.5% en barrios populares, un 65.2% y un 38,8% en zonas rurales dispersas y agrupadas respectivamente (Ministerio de Obras Públicas, 2021). Así, resulta difícil la implementación de sistemas tradicionales debido al alto costo y complejo mantenimiento por lo que surgen las tecnologías alternativas para remediar y reutilizar el agua. Los reactores a base de lombrices californianas (lombrifiltros) permiten disminuir considerablemente el contenido orgánico del líquido residual, al utilizarlo como etapa secundaria, bajando costos de instalación, operación y mantenimiento. Módulos de desinfección con tecnología UV-C presentan las ventajas de eliminación microbiológica comparable con el cloro, más usado tradicionalmente, además de la ausencia de subproductos clorados y otros residuos químicos de alta peligrosidad, un tamaño relativamente compacto en relación a otros alternativos como el ozono (Zhang y col, 2016).

Nuestro objetivo es comprobar la eficiencia de la combinación de tecnologías en la etapa secundaria y terciaria para el reuso del líquido tratado.

Materiales y Métodos

En el año 2017-2018 se diseñó e instaló en el Campus de la Universidad Católica de Córdoba (UCC), una Planta Piloto de Tratamiento de Líquidos Residuales Domésticos a escala real (Fig1 y Fig2). Se trata de una planta de tratamiento combinada de tecnologías alternativas que utiliza una cámara séptica seguida de tres tecnologías alternativas (biodiscos, MBBR y lombrifiltros) como etapa secundaria, que permite que sean utilizadas de manera aislada o combinadas entre sí. Seguidamente posee dos tanques, uno de sedimentación y otro de cloración, como etapa terciaria.

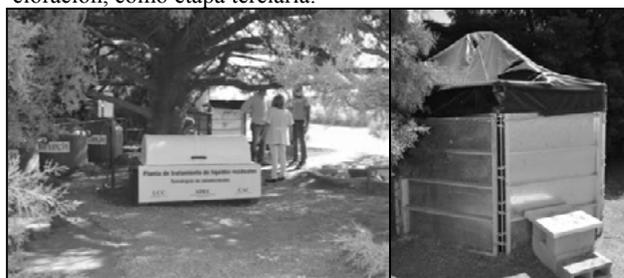


Figura 1.- a) Planta Piloto UCC, b) Lombrifiltro

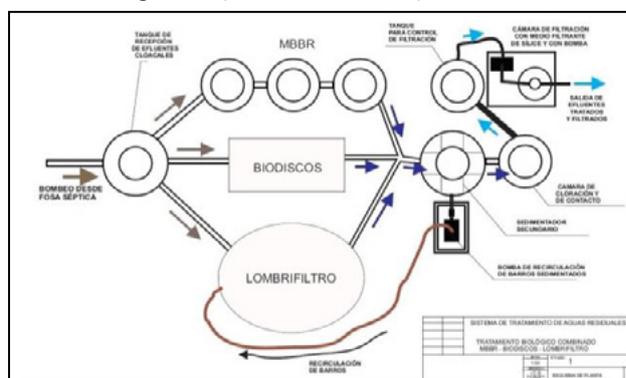


Figura 2.- Planimetría de la Planta de tratamiento (Campus UCC)

En el año 2021, para este estudio, se diseñó y construyó un prototipo de laboratorio de luz UV tipo C (UV-C: de 200 a 280 nm) para reemplazar el tratamiento de cloración (Fig3). Se tomó una muestra compensada semanal durante 10 semanas a la salida de la cámara séptica (CS), otra a la salida del lombrifiltro (LF) y otra luego del tratamiento por el prototipo UV-C. Para corroborar eficiencia del tratamiento secundario (CS y LF) se efectuaron análisis de laboratorio de parámetros fisico-químicos de acuerdo a APHA, 23 th edición incluidos en la normativa vigente en la provincia de Córdoba (Decreto 847/16): Demanda biológica de oxígeno (DBO5), Demanda química de oxígeno (DQO) y Sólidos sedimentables (SS). Para corroborar acción desinfectante se decidió testear la viricida, porque la resistencia bacteriana es menor a la viral, con Adenovirus 5 (ADV-5) según la Norma UNE-EN 144762014 + A2:2020 ya que en Argentina el

monitoreo y control viral no se encuentra legislado. Se hicieron pruebas a distintos tiempos (30, 10, 5, 3, 1 minutos y 30 segundos) exponiendo muestras de líquido residual (a 20°C ± 1°C) tratado por un lombrifiltro. Dicho líquido previamente había sido autoclavado y sembrado con ADV-5. Luego se realizó una serie de cultivos celulares del efluente irradiado para evidenciar inhibición del crecimiento. Se sembraron en paralelo, un efluente no irradiado como control interno de crecimiento y una solución de PBS (buffer fosfato salino) como control del efecto de la turbidez del efluente.

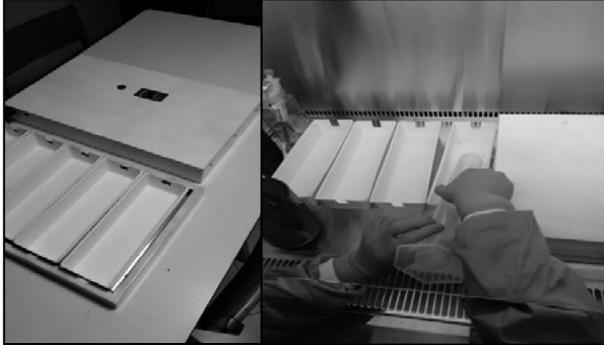


Figura 3.- a) Prototipo UV-C con 5 cubas y el temporizador, b) Siembra de las muestras dentro de cabina de flujo laminar

Los datos se analizaron estadísticamente con el programa Infostat 2020. Se utilizaron pruebas estadísticas como test de normalidad de Shapiro-Wilks modificado, cálculos de medidas de posición y dispersión, intervalos de confianza (95%) y prueba t ($\alpha=0.05$) con sus correspondientes valores de p con un 95% de confianza.

Resultados

La remoción de materia orgánica entre la CS y el LF fue significativa ($p<0.0005$) en todos los parámetros estudiados detallados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resultados de parámetros físico-químicos

	DBO5 [ppm]	DQO [ppm]	SS [mm]
CS	287.25±17.69	517.05±31.85	0.46±0.05
LF	42.63±14.03	68.17±17.50	0.13±0.05
Disminución (%)	85.16	86.82	72.97

Respecto a los resultados de la acción viricida, a 1 minuto de irradiación con el prototipo UV-C se logró un 100% de inhibición en la totalidad de las muestras (10/10). No se altera el efecto por la turbidez del líquido residual (Fig4).

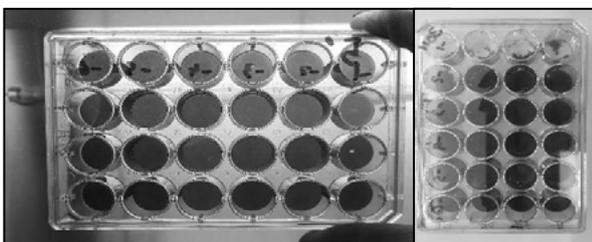


Figura 4.- Placas de Cultivo que muestran la formación de UFP (unidad formadora de placas- áreas blancas-) por el desarrollo viral.

Discusión y Conclusiones

La tecnología lombrifiltro resulta muy efectiva para el tratamiento ya que remueve más del 85% de la carga orgánica presente en el líquido a tratar. La eficiencia de las nuevas alternativas de tratamiento (LF) y su posibilidad de combinación con sistemas preexistentes (CS), es un valor agregado para el tratamiento, ya que posibilita el reuso del efluente tratado

(Decreto 847/16). Respecto a la utilización de luz UV-C como etapa terciaria del tratamiento demostraría lo beneficioso de la aplicación de esta tecnología para reemplazar el uso tradicional del cloro, sin los residuos tóxicos para la salud de las poblaciones derivados de dicho compuesto. Debemos realizar experimentos adicionales con otros modelos virales para obtener datos que respalden esta observación en un amplio espectro de resistencia viral. El hecho de que no se altera el efecto por la turbidez del líquido residual, posiblemente esté relacionado con que el efluente de salida del lombrifiltro posee valores bajos de sólidos sedimentables (0.13 ± 0.05 mm)

La implementación de un lombrifiltro combinado con tecnología UV-C aportaría una solución de tratamiento eficiente no sólo para la disminución de la carga orgánica sino también de la microbiológica, y de esta manera se obtendría un efluente limpio y seguro apto para el reuso como por ejemplo el riego agrícola.

Referencias Bibliográficas

AQUASTAT. (n.d). *AQUASTAT – FAO’s Global Information System on Water and Agriculture*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/aquastat/en/

Gobierno de la Provincia de Córdoba. (2016). *Decreto 847/16. Anexo único. Reglamentación de estándares y normas sobre vertidos para la preservación del recurso hídrico provincial*. <http://boletinoficial.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2016/07/847-dec.pdf>

Ministerio de Obras Públicas, Argentina. (2021). *Informe de coyuntura sobre Acceso e igualdad al agua y al saneamiento*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_coyuntura_sobre_acceso_e_igualdad_al_agua_y_al_saneamiento_0.pdf

OMS: Organización Mundial de la Salud. (2017). *Enfermedades diarreicas*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoealdisease#:~:text=Malnutrici%C3%B3n%3A%20os%20ni%C3%B1os%20que%20mueren,ni%C3%B1os%20menores%20de%20cinci%20a%C3%B1os>

ONU-Agua. (2021). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: el valor del agua, datos y cifras* (2021). <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021>

Prüss-Üstün, A., Bos, R., Gore, F. and Bartram, J. (2008). “Safer Water, Better Health: Costs, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health”. Geneva, World Health Organization (WHO). apps.who.int/iris/handle/10665/43840.

Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M., Gordon, B., Hunter, P. R., Medlicott, K. and Johnston, R. (2019). “Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low and middle-income countries”. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 222, No. 5, pp. 765–777. doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004.

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Zahoor, A. (2013). “Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use”. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, pp. 1–13. doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007.

Teague, J., Johnston, E. A. and Graham, J. P. (2014). “Water, sanitation, hygiene, and nutrition: Successes, challenges, and implications for integration”. *International Journal of Public Health*, Vol. 59, No. 6, pp. 913–921. doi.org/10.1007/s00038-014-0580-8.

UNEP (United Nations Environment Programme). (2016). *A Snapshot of the World’s Water Quality: Towards a Global Assessment*. Nairobi UNEP. [unep_wwqa_report_web.pdf](https://www.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf)

WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme).(2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO.

Zhang CM, Xu LM, Xu PC, Wang XC. (2016). “Elimination of viruses from domestic wastewater: requirements and technologies”. *World J Microbiol Biotechnol*. Apr;32(4):69. [doi: 10.1007/s11274-016-2018-3](https://doi.org/10.1007/s11274-016-2018-3).

TOLERANCIA DE DIFERENTES PORTAINJERTOS DE CIRUELO EUROPEO A CONDICIONES SALINAS

Mateo, Daiana¹, Puertas, Carlos¹, Weibel, Antonio¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Junín
E-mail: mateo.daiana@inta.gov.ar

Introducción

A nivel mundial existe una preocupación creciente por la disminución de superficie apta para cultivos debido a problemas de salinización y contaminación de suelos originados por causas diversas (Acharya et al., 2022). La salinidad es uno de los factores abióticos más importantes que limita el crecimiento de las plantas (Munns, 2002) (Schwarz et al., 2010). Los frutales de carozo son sensibles a sales, siendo el ciruelo de industria uno de los más tolerantes del género *Prunus*. Una alternativa para mejorar la tolerancia a elevada salinidad y otros estreses abióticos es el mejoramiento genético, sin embargo los mecanismos de tolerancia a estreses abióticos son complejos en las diferentes especies, lo que dificulta el éxito de estas estrategias. En este sentido se ha utilizado portainjertos compatibles a diversos cultivares de interés comercial y potencialmente tolerantes a diferentes estreses (Zrig et al. 2016; Ghrab et al., 2012). En este trabajo se han evaluado el comportamiento vegetativo y reproductivo de 5 portainjertos utilizados en frutales de carozo potencialmente tolerantes a estrés salino implantados a campo bajo riego por goteo. El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento a largo plazo de estas combinaciones de portainjertos y ciruelo europeo.

Materiales y métodos

Se realizó un experimento bifactorial, siendo los factores: portainjertos y nivel de sales en el agua de riego. El estudio incluyó 5 portainjertos: Garfinem 1, Hansen 2168, Mariana GF 81, Mariana 2624 y Mirabolán 29C injertados con ciruela de industria (*Prunus domestica* var. D'Agén 707). Estas combinaciones fueron sometidos a tres niveles de CINa en agua de riego, logrando una conductividad de 2,0 dS m⁻¹ (T1-testigo), 3,5 dS m⁻¹ (T2) y 5,5 dS m⁻¹ (T3). Los materiales fueron implantados en el año 2013 con riego por goteo, en el campo de la Estación Experimental de INTA Junín, Mendoza (-33.113515 S; -68.486645 O) (Figura 1). Se evaluaron parámetros vegetativos, fisiológicos, producción y calidad de fruta, en diseño de parcelas divididas con 5 repeticiones. El riego fue en exceso, con el objetivo de mantener los niveles salinos constantes en la zona explorada por las raíces (Pizarro Cabello, 1996). Se registró la conductividad eléctrica del suelo (extracto de saturación), con el objetivo de monitorear la variación de la conductividad eléctrica del mismo por acumulación de sales en los riegos sucesivos durante dos temporadas 2020-2021 y 2022-2023 (Figura 2). En este trabajo se presentan datos de cosecha de la temporada 2021, ya que durante el 2022, la producción fue muy baja debido a la ocurrencia de heladas primaverales en la provincia de Mendoza que afectó el cuaje en los frutales de carozo y produjo una caída importante en producción (setiembre y noviembre del 2022).

Resultados y discusión

En este estudio, el incremento de volumen de copa entre niveles salinos fue significativamente diferente, siendo mayor en T1 y T3. Se observa una tendencia a la disminución del crecimiento (Incremento y Volumen de copa) a medida que aumenta el contenido de sales en el agua (Tabla 1).

Martinez-Rodriguez et al. (2008) han encontrado correlación entre el efecto del portainjerto sobre el crecimiento y la tolerancia al estrés salino. En el primer año de evaluación, se ha observado, en promedio, una tendencia a mayor incremento del crecimiento en Mirabolán 29C y Mariana GF81, mientras que Mariana 2624 presentó el menor incremento, sin observarse diferencias significativas entre portainjertos en este periodo (Tabla 1). Zilkah et al. (2011) observaron resultados similares en un estudio en macetas a corto plazo. Así también Mariana GF81 mostró síntomas de elevada salinidad en hojas en el tratamiento extremo (T3) (Figura 2).



Figura 1. Imagen del ensayo ubicado en la Estación experimental agropecuaria INTA Junín.



Figura 2.- Síntoma de salinidad en hojas en Mariana GF81 (Febrero de 2023)

Por otro lado, para la variable eficiencia productiva (kg de fruta/m³ de volumen de copa), no se observaron diferencias significativas entre niveles salinos, mientras que hubo diferencias entre portainjertos en la cosecha 2021 (Tabla 1). Siendo los de mayor eficiencia Mariana GF81 y Mirabolán 29C; Mariana 2624

fue intermedio; mientras que Hansen 2168 y GxN15 los que tuvieron menor eficiencia. Los portainjertos con mayor eficiencia productiva generan plantas de menor tamaño sin afectar, o incluso aumentando, la productividad por planta, por lo que los montes serían más productivos.

Tabla 1. Promedios de la temporada 2021-2022. Para variables vegetativas (volumen de copa e incremento interanual de volumen de copa); reproductivas (Rendimiento) y la combinación de ambas (Eficiencia productiva)

Factores	Volumen de copa (m³)	Incremento o Vol. de copa (m³)	Rendimiento 2022 (kg/pl)	Eficiencia productiva (kg/m³)
T1	2,90 a	1,11 a	4,95	1,40
T2	1,67 b	0,85 ab	2,91	1,61
T3	2,36 ab	0,43 b	3,12	1,18
p-valor	0,01	0,03	0,17	0,50
Mar2624	1,91	0,39	4,31 ab	1,69 b
GxN15	3,35	0,62	2,80 a	0,89 a
Han2624	2,44	0,53	1,46 a	0,45 a
Mira 29C	2,42	0,93	6,16 b	2,35 b
MarGF81	2,72	0,81	5,98 b	2,56 bc
p-valor	0,91	0,26	0,0006	<0,0001
N Salino x Portainj.	ns	ns	ns	ns

En la Figura 3 se muestran los resultados del análisis de Conductividad eléctrica de la pasta saturada de suelo luego de un año de aplicación de los tratamientos de riego.

El potencial hídrico de tallo al mediodía resultó ser un buen indicador del estado hídrico de planta (Figura 4A y 4B). Estos resultados muestran el efecto fisiológico del aumento del nivel de sales en el agua y el suelo y cómo influye en su potencial agua (Figura 4A). Asimismo puede observarse que las diferencias se acentúan a medida que avanza el ciclo de cultivo. Los portainjertos se diferencian sobre todo en el comienzo del ciclo vegetativo (Figura 4B), siendo GxN15 y Hansen 2624 los que presentaron mejor estado hídrico.

En conclusión, es necesario continuar con estos estudios para evaluar que ocurre con estos portainjertos sometidos a condiciones salinas a largo plazo. De este modo, seleccionar portainjertos que mejor se adapten a las condiciones limitantes existentes en los campos a cultivar de acuerdo con el comportamiento observado en las condiciones experimentales.

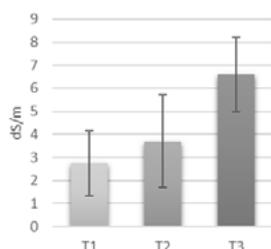


Figura 3.- Resultado de conductividad eléctrica del suelo medido al final de la temporada 2021-2022. Las barras de errores indican la desviación estándar.

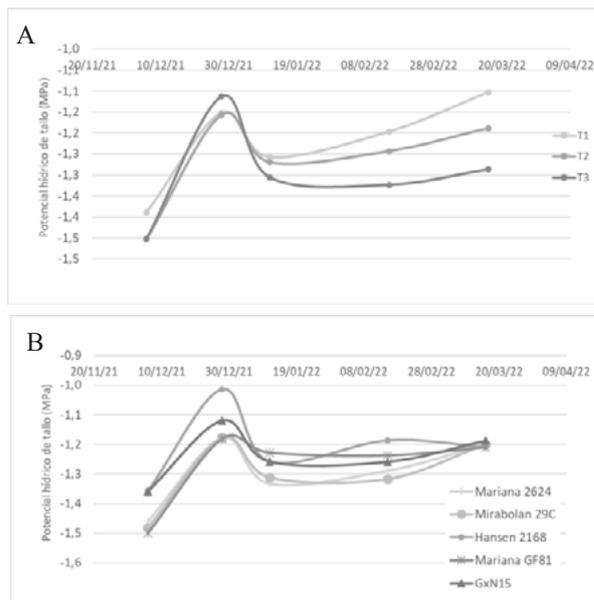


Figura 4. Potencial hídrico de tallo al mediodía (MPa) por nivel de sales (A) y por portainjerto (B).

Referencias

Acharya, B.R., Sandhu, D., Dueñas, C. et al. (2022). Morphological, physiological, biochemical, and transcriptome studies reveal the importance of transporters and stress signaling pathways during salinity stress in *Prunus*. *Sci Rep* 12, 1274 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05202-1>

Ghrab, M., Masmoudi, M. M., & Ben Mechlia, N. (2012). Rootstock effects on water relations of peach tree under contrasting watering conditions. In VII International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 1038 (pp. 81-88).

Martinez-Rodriguez, M.M., Estan, M.T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J.O., Flores, F.B., Campos, J.F., Al-Azzawi, M.J., Flowers, T.J., Bolarin, M.C., 2008. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany* 63, 392-401.

Munns R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25, 239-250.

Pizarro Cabello, F. 1996. Capítulo 4: Calidad de agua de riego. En: Pizarro Cabello F. (eds.) Riegos localizados de alta frecuencia. Madrid-Barcelona-México: Mundiprensa

Schwarz, D., Roupheal, Y., Colla, G., Venema, J.H., (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae* 127, 162-171.

Zilkah S., Yanai A., David I., Rotbaum A., Faingersh E. (2011) Evaluation of rootstocks' tolerance to irrigation with reclaimed sewage water: A rapid response of plum trees (*Prunus domestica* L.) to phytotoxicity of boron and chloride, *Israel Journal of Plant Sciences*, 59:2-4, 171-176, DOI: 10.1560/IJPS.59.2-4.171

EL NEXO EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS, LA AGRICULTURA IRRIGADA Y LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Miguel, R.E.¹ y Gareis, M.C.²

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Catamarca La Rioja, Estación Experimental Agropecuaria Chilecito. Ruta de la Producción Km 7,5, Tilimuqui, Chilecito, La Rioja.

Universidad Nacional de Chilecito, Instituto de Ambiente de Montaña y Regiones Áridas, Julián Amatte 22, Chilecito, La Rioja
E-mail: miguel.roberto@inta.gov.ar ; gareiscecilia@gmail.com

Introducción

El Nexo entre el agua, la energía y los alimentos constituye un enfoque para el análisis de la interrelación, interdependencia y complejidad entre subsectores. Por lo tanto, la planificación y las acciones efectuadas en alguno de estos impacta de diferente manera e intensidad en los otros (Embido y Martín, 2017). En este contexto, la planificación y la gestión intersectorial del Nexo constituye una herramienta para el desarrollo sostenible y la protección del ambiente.

La agricultura irrigada fundamenta el consumo de agua y energía en función del tipo de cultivo, las precipitaciones –como aporte meteórico de agua– y la suplementación con agua superficial o subterránea. Para las fuentes subterráneas es necesario –a excepción de acuíferos surgentes o manantiales– la utilización de bombas que hagan asequible el recurso; mientras que el agua superficial conducida por canales utiliza la gravedad para captar, almacenar y distribuir el recurso. El siguiente punto de relevancia es el grado de tecnificación, un productor que aplique riego gravitacional no requerirá de energía, pero será menos eficiente y productivo en el uso del agua; mientras que uno que aplique sistemas por aspersión, micro aspersión o goteo requerirá de energía para presurizar el sistema, pero hará un uso más eficiente y productivo del agua.

La energía utilizada para riego –por fuera de la de fuente superficial y sistema de riego gravitacional– proviene básicamente de dos fuentes: fósil directa a partir del uso de combustibles en motores de combustión interna; y eléctrica, en el caso argentino distribuida a partir del Sistema Interconectado Nacional con dependencia en combustibles fósiles. Existe también energía aplicada desde sistema fotovoltaicos, pero a priori de baja relevancia. La información de uso de energía fósil directa para riego no se encuentra disponible en las bases estadísticas y por lo tanto este trabajo sólo considera a la energía eléctrica para riego, que se encuentra discriminada para algunos años a escala de provincia y departamento.

El objetivo de este trabajo es analizar las implicancias del Nexo en la agricultura irrigada a escala provincial a partir de la aplicación de un indicador de electrodependencia y profundizar sobre las particularidades a escala departamental en la provincia con mayor electrodependencia. Además, enunciar las limitaciones que dificultan el abordaje del Nexo.

Metodología

Para el análisis se recurrió a un indicador Nexo para vincular la interdependencia entre el riego y la energía eléctrica en la producción de alimentos (Miguel y Gareis, 2021). Se analizó información secundaria de superficie irrigada obtenida de FAO (2015) y consumos de energía eléctrica a escala provincial en la República Argentina (Secretaría de Energía, 2016). Con la información se aplicó el indicador de energía eléctrica consumida por hectárea bajo irrigación a escala provincial efectuándose interpretaciones de los resultados. Luego, se profundizó a escala departamental sobre la provincia con mayor dependencia energética para irrigación. Se utilizó información del Censo Nacional Agropecuario 2018 (CNA 2018) e información proporcionada por la distribuidora de energía. En base a las interpretaciones y apreciaciones efectuadas se pronuncian algunas limitaciones de datos e información que dificultan el estudio y análisis del Nexo.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los datos de superficie irrigada en Argentina y el consumo de energía eléctrica para riego para el año 2015. La provincia de Mendoza presenta la mayor superficie irrigada –excluyendo a Buenos Aires (374.000 ha) cuyo riego se basa casi en su totalidad en energía fósil directa y no incluida en este análisis– seguida por Jujuy y Córdoba en tanto que el mayor consumo de energía eléctrica lo lideran las provincias de Mendoza, La Rioja y Catamarca. La aplicación del indicador de energía eléctrica consumida en relación a la superficie irrigada evidencia que la provincia de La Rioja es la de mayor consumo de energía eléctrica para riego por hectárea, seguida por Mendoza, Catamarca y San Juan. Es probable que provincias como Córdoba y San Luis también cuenten con superficie irrigada por uso de energía fósil directa, situación que queda encubierta por falta de datos. La marcada electrodependencia de La Rioja para la producción de alimentos se debe a que gran parte de la superficie se irriga con agua subterránea explotada de acuíferos profundos, los datos de FAO (2015) indican que alrededor de 52 % se regaría con agua subterránea, dato que posiblemente subestime el uso de esta fuente ya que, para el año 2020, solo el departamento de Chilecito contaba con alrededor de 21.000 ha bajo riego con agua subterránea (AHI Grupo Argentino, 2020). Por otra parte, si bien Mendoza no presenta el grado de electrodependencia de La Rioja, el 25 % de su superficie se riega con agua subterránea y además parte de los regantes con fuente superficial presurizan para aplicar sistemas de riego por aspersión, microaspersión o goteo. Lamentablemente, la información disponible del CNA 2018 (Tabla 6.1) no discrimina la fuente de agua utilizada, sólo encontrándose disponible el tipo de sistema de riego utilizado (gravitacional, aspersión, localizado, otros) situación que limita la posibilidad de análisis.

Tabla 1.- Superficie irrigada y consumo de energía eléctrica para riego en provincias argentinas para el año 2015.

Provincia	Superficie regada ha	Energía para riego MWh/año	Indicador MWh/ha/año
La Rioja	51.738	155.508	3,01
Mendoza	276.324	474.138	1,72
Catamarca	61.847	50.416	0,82
San Juan	95.704	72.204	0,75
San Luis	76.437	42.368	0,55
Cordoba	102.000	32.970	0,32
Rio Negro	79.320	24.264	0,31
Jujuy	117.299	32.293	0,28
Resto	888.855	80.404	0,09
Total	1.749.524	964.565	0,55

Fuente: Sup. irrigada, FAO (2015); Energía, Secretaría de Energía (2016)

A fin de profundizar en el análisis, se abordó el Nexo a escala departamental en la provincia con mayor electrodependencia para irrigación: La Rioja. Los resultados muestran que Chilecito es el departamento con mayor superficie regada, seguido por Capital, Arauco y Famatina. Cabe destacar que la superficie según el CNA 2018 parece marcadamente inferior a lo informado por otros medios no oficiales. Los departamentos con mayor consumo de energía eléctrica para riego son Chilecito, Arauco, Capital y Castro Barros. La aplicación del indicador muestra que el Departamento de San Martín, localizado al Sur

EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA EN ACUÍFEROS EXPLOTADOS PARA IRRIGACIÓN Y ABASTECIMIENTO POBLACIONAL EN EL OESTE DE LA RIOJA

Miguel, R.E.¹ y González Ribot, J.V.¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Catamarca La Rioja, Estación Experimental Agropecuaria Chilecito. Ruta de la Producción Km 7,5, Tilimuqui, Chilecito, La Rioja.

E-mail: miguel.roberto@inta.gov.ar; gonzalez.joaquín@inta.gov.ar

Introducción

El Oeste de la provincia de La Rioja se caracteriza por su marcada aridez, con precipitaciones inferiores a 200 mm y evapotranspiración que rondan los 1200 mm (Costa y Minetti, 2001) lo que conlleva a un déficit hídrico en gran parte del año, con caudales superficiales de gran variabilidad a lo largo del ciclo hidrológico y que son captados prácticamente en su totalidad para riego y consumo humano desde mediados del siglo XX. A partir de los años 1960 todo nuevo desarrollo productivo se sustentó en base al agua subterránea respaldados por estudios que advirtieron un importante potencial hidrogeológico, en particular de la cuenca Antinaco-Los Colorados y su valle central (Victoria, 1962, Sosic, 1971 y Rocca et al 1975). Sin embargo, estos trabajos también advirtieron sobre la necesidad de controlar la explotación y monitorear la variación piezométrica en pos de advertir una extracción mayor que la recarga del sistema.

No obstante, el desarrollo del Oeste de La Rioja ha mantenido un fuerte impulso que se observa por ejemplo en el crecimiento de la población que varió de 50.720 habitantes en 2010 a 60.175 en 2022 (18,6 %) y también de la superficie cultivada que pasó de unas 16.000 a 23.000 ha (44 %) en igual período (INDEC, 2010 y 2022; AIH Grupo Argentino, 2020). Todo esto, sustentado a partir de una única fuente, la explotación de agua subterránea a través de pozos profundos. Existen evidencias que el sistema acuífero en el valle central Antinaco-Los Colorados (en adelante VCALC) se encuentran bajo un proceso de explotación intensiva, concepto desarrollado por Custodio (2015), con un descenso en la piezometría y pérdida de reservas de agua subterránea (Poblete y Guimaraes, 2006; Silva et al. 2021; Miguel et al., 2022a; Miguel y González Ribot, 2022a; Miguel et al., 2022b; Miguel et al., 2022c). Sin embargo, hay áreas de la cuenca por fuera del valle Central, como el valle de Chilecito o valle de Guanchín-Sañogasta que presentan información puntual hidrogeológica o sobre las variaciones piezométricas debido a la explotación intensiva (Falcón et al., 2020; Miguel y González Ribot, 2002b).

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución piezométrica a partir de la estimación de la tasa de descenso anual en tres sistemas acuíferos explotados para riego y abastecimiento humano en el Oeste de la provincia de La Rioja para el periodo julio 2021-2022.

Metodología

Los sistemas acuíferos estudiados se localizan en la Cuenca Antinaco-Los Colorados, estos se denominan valle Central Antinaco-Los Colorados (57 pozos medidos), valle de Chilecito (9 pozos medidos) y valle Guanchín-Sañogasta (31 pozos medidos). En el caso del valle central y valle Guanchín-Sañogasta el principal uso de agua es para riego, mientras que en el valle de Chilecito el uso es principalmente para abastecer la red de agua potable de la ciudad y distritos (Figura 1). Se analizaron datos de precipitaciones para advertir potenciales variaciones de la recarga en los sistemas explotados desde el año 2011-2021 en dos estaciones de la Cuenca Guanchín-Sañogasta y en igual período para Chilecito AERO del Servicio Meteorológico Nacional en comparación con la información antecedente disponible. Para ello se efectuaron mediciones de

niveles piezométricos a boca de pozo en el período de menor explotación (julio) en los años 2020-2021 a fin de minimizar las implicancias del bombeo intensivo que ocurre en el período estival (diciembre-enero). Estos pozos, que constituyen la Red Publico Privada organizada y medida desde INTA EEA Chilecito, se detuvieron en la mayoría de los casos con al menos 12 horas de anticipación a fin de alcanzar un nivel estabilizado. Los datos de niveles piezométricos se sistematizaron en planillas Microsoft Excel© y se calcularon los descensos medios, desvíos y percentiles 0,05; 0,50 (mediana) y 0,95.

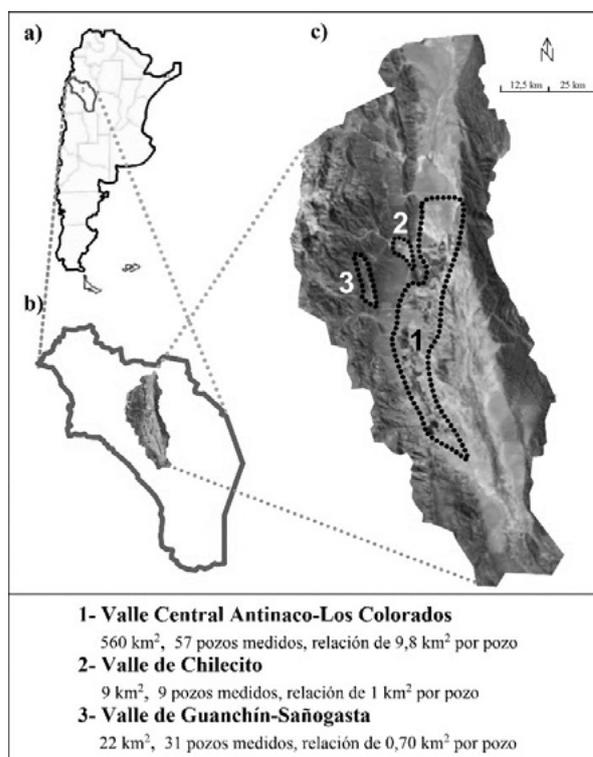


Figura 1.- a) La Rioja y Argentina b) La Rioja y Cuenca Antinaco-Los Colorados c) Cuenca Antinaco-Los Colorados y valles estudiados.

Resultados

Los datos de precipitaciones (Tabla 1) advierten que para Chilecito AERO no existen marcadas variaciones en el promedio para el período 2011-21 respecto a los datos antecedentes (1904-67). Por otro lado, los datos de las Estaciones de Sañogasta y Guanchín – localizadas a 15 km de distancia– presentan diferencias respecto a los antecedentes, sin embargo, los promedios de ambas estaciones para ambos períodos son similares (451 mm para 1975-1979 y 436 mm para 2011-2021). Si se considera que un 10 % del volumen precipitado aporta a la recarga (Sosic, 1971), los datos de precipitaciones indicarían que esta no se estaría afectada e influyendo marcadamente en la piezometría.

No obstante, se estima que la descarga artificial por bombeo en el valle Central ronda los 226 hm³ año⁻¹ (AIH Grupo Argentino, 2020) en Guanchín-Sañogasta al menos 18,9 hm³ año⁻¹ (Miguel y González Ribot, 2022b) y en Chilecito en alrededor de 5,5 hm³ año⁻¹. Si bien no se profundiza en el análisis de recarga-descarga, debido a la limitación del resumen extendido, se estima que la

descarga artificial actual supera en alrededor de un 85 % la recarga.

Tabla 1.- Precipitaciones promedio, máximas y mínimas (mm) en Chilecito, Sañogasta y Guanchín.

Localidad	Precipitaciones (mm)			
	Período	Promedio	Máximo	Mínimo
Chilecito	1904-67 ^{*1}	176	354	58
	2011-21	173	299	88,2
Sañogasta	1975-79 ^{*2}	284	449	98,5
	2011-21 ^{*3}	333	538	155
Guanchín	1975-79 ^{*2}	618	822	237
	2011-21 ^{*3}	538	763	310

^{*1}Costa y Minetti, 2001 ^{*2}Salvioli, 1980 ^{*3}Com. Pers. Sotomayor, F.

Tabla 2.- Variación de niveles piezométricos y su estadística descriptiva en valles de la Cuenca Antinaco-Los Colorados.

Δ Niveles piezométricos (m)			
Período 2021-2022	V _{ALC}	V _{Ch}	V _{GS}
Pozos - N.P.	57/57	9/9	20/31
Pozos + N.P.	0/57	0/9	11/31
Δ N.P. Promedio	-1,04	-1,62	-0,77
Desvió Estándar Δ N.P.	0,85	0,52	3,05
Mediana Δ N.P.	-0,96	-1,6	-0,58
Percentil 0,05 Δ N.P.	-2,75	-2,45	-6,03
Percentil 0,95 Δ N.P.	-0,144	-1,03	3,27

En este contexto, en los sistemas acuíferos explotados se advirtió una variación piezométrica ($m \text{ año}^{-1}$) de $-1,04 \pm 0,85$; $-1,62 \pm 0,52$ y $-0,77 \pm 3,05$ para valle Central, valle de Chilecito, y valle Guanchín Sañogasta; respectivamente (Tabla 2). En valle Central y valle de Chilecito la totalidad de los pozos manifestaron una variación de los niveles piezométricos (descensos) con valores de percentil 0,95 de $-2,75$ y $-2,45$, respectivamente, en tanto que el percentil 0,05 el valle Central presentó un valor de $-0,144$ y en el valle de Chilecito fue de $-1,03$. Es importante destacar que el percentil 0,05 en el valle Central se encuentra influenciado por un pozo de observación localizado al sur y donde la explotación agrícola más cercana se encuentra a 10 km. Sin embargo, se evidencia la potencial influencia del bombeo debido a que en este punto los niveles han variado $-1,2$ m en 7 años (2015-2022). Por otro lado, en el valle de Guanchín-Sañogasta el 65 % de los niveles en los pozos (20/31) registraron descensos, perteneciendo estos principalmente a Sañogasta –área de descarga del valle– mientras que Guanchín –área de cabecera del valle y donde se evidencian los mayores aportes de ríos– los niveles se han mantenido estables. Los percentiles y los desvíos indican una marcada amplitud de datos de variación de niveles piezométricos.

Conclusiones

Los tres sistemas acuíferos estudiados evidenciaron en el período 2021-2022 un descenso de la piezometría debido a un proceso de explotación intensiva. Esta información concide con estudios antecedentes que alertan sobre este proceso y advierten sobre la necesidad de reducir la explotación a fin de evitar los efectos indeseados ya advertidos: pérdida de reservas, aumento de costos de explotación, deterioro de infraestructura, abandono de pozos, cierre de fincas, concentración de tierras, alteración de caudales en manantiales, entre otros. La reducción de la explotación no es utópica, requiere aplicar la legislación vigente, control estatal, autocontrol privado, ajustar láminas de riego y reducir los volúmenes de dotación para consumo humano según lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud. Para ello urge una gobernanza basada en la construcción de escenarios prospectivos que evidencien la (in)sustentabilidad de la tendencia actual y la necesidad de construir un futuro deseado y posible.

Referencias

AIH Grupo Argentino (2020) Explotación intensiva de agua subterránea, ambientes diferentes, problemas semejantes. Ciclo de

seminarios sobre Explotación Intensiva de Agua Subterránea. Seminario N°2. 12 de noviembre de 2020. Expositores: Leandro Rodríguez Capitulo y Roberto Esteban Miguel. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=rSiOvAyyYDw&t=2310s> (último acceso el 25 de abril de 2023).

Custodio, E. (2015). Explotación intensiva y minera de las aguas subterráneas: situación general y particular de España: ¿una bendición o una calamidad? Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España), 108 (1-2), 13-20.

Costa, M. y Minetti, J.L. (2001). El agua: una limitante de la agricultura en La Rioja. *Avances de la producción vegetal del NOA* (1998 – 2001). pp 146-152

Falcón, C.M.; Horta, L.R.; Fernández, I.; Moreno, G.G. y Combina, A.M. (2020). Caracterización hidrogeológica del Valle del Río Guanchín Chilecito, La Rioja, Argentina. *Serie Correlación Geológica*. INSUGEO - 35 (2): pp 5-16.

INDEC (2012). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010: Censo del Bicentenario. Resultados definitivos. Serie B N° 2, Tomos 1 y 2.

Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Miguel, R.E., Clara, X y González Ribot, J.V. (2022a). Evolución hidrogeológica del Valle Central Antinaco-Los Colorados. Parte 1: Capayán y San Nicolás *Congreso Argentino de Hidrogeología*. 25 al 28 de octubre de 2022. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas del Congreso. Auge, M y Abouy, R. (Coord) Ed. Universidad Nacional del Sur EdiUNS 247-254 pp

Miguel, R.E., González Ribot, J.V. y García Maurizzio, R.F. (2022b). Evolución hidrogeológica del Valle Central Antinaco-Los Colorados. Parte 2: Tilimuqui, Malligasta y Anguinan. *Congreso Argentino de Hidrogeología*. 25 al 28 de octubre de 2022. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas del Congreso. Auge, M y Abouy, R. (Coord) Ed. Universidad Nacional del Sur EdiUNS. 255-263 pp.

Miguel, R.E. y González Ribot, J.V. (2022a). Evolución hidrogeológica del Valle Central Antinaco-Los Colorados. Parte 3: Nonogasta. *Congreso Argentino de Hidrogeología*. 25 al 28 de octubre de 2022. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas del Congreso. Auge, M y Abouy, R. (Coord) Ed. Universidad Nacional del Sur EdiUNS. 264-272 pp.

Miguel, R.E., González Ribot, J.V. y Canelo H.N. (2022c). Evolución hidrogeológica del Valle Central Antinaco-Los Colorados. Parte 4: Vichigasta y Catinzaco. *Congreso Argentino de Hidrogeología*. 25 al 28 de octubre de 2022. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas del Congreso. Auge, M y Abouy, R. (Coord) Ed. Universidad Nacional del Sur EdiUNS. 273-281 pp.

Miguel R.E. y González Ribot, J.V. (2022b) Sustentabilidad de la explotación de agua subterránea en la Cuenca Guanchín-Sañogasta, Chilecito, La Rioja Groundwater exploitation sustainability in the Guanchín-Sañogasta Basin, Chilecito, La Rioja. *Revista Estudios Ambientales*. Volumen 10 N°2, 115-132 pp.

Poblete, M.A.; Guimaraes R.E. (2006). Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco - Los Colorados. Centro Regional de Aguas Subterráneas. IT-251. pp 28.

Rocca, J.A.; Ortiz, A.; Zambrano, J.; Taballione, C.; Torres, E.; Robles, J.O.; Victoria, J.A.; Pellegrino, J.; Salvioli, G.; Bosch, E.; Martinis, N.; Coria, E.; Lohn, P.; García Perón, E.; Ferres, C.; Álvarez, A.; Frontera, H.; Aberastain, S.; Toro, M.A. y Nally, J. (1975). "Investigación del agua subterránea en el Valle Antinaco-Los Colorados, Provincia de La Rioja". Publicación N° P-067. INA CRAS. Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano, Subsecretaría de Recursos Hídricos. pp. 350.

Salvioli, G. 1980. Información pluviométrica: Área Antinaco-Los Colorados. Instituto Nacional del Agua, Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA-CRAS) Área Hidrología, Informe N° 18, diciembre de 1980. 14 pp.

Silva, S; Poveda, M.E.; Rodríguez, C.I. y Miguel, R.E. (2021). Características y evolución de manantiales captados para usos múltiples en el distrito de Vichigasta, La Rioja, Argentina. *Revista ASAGAI. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. N° 47 pp. 17-30.

Sosic, M. (1971). "Descripción hidrogeológica del Valle de Antinaco-Los Colorados, prov. de La Rioja". Buenos Aires. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 123. pp. 51.

Victoria, J. (1962) "Capítulo 4: Provincia geológica de los bolsones de los llanos occidentales" Editor: Victoria, J. "Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Recursos Hidráulicos Subterráneos" Consejo Federal de Inversiones 55-73. Buenos Aires. Editorial CFI.

EFFECTO DE LECHOS NO CONVENCIONALES EN HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL URBANA

Laura Modini¹, Ana Pizarro, Manuel Arnold, Mariel Zerbato

Cátedra Tratamiento de Efluentes, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Edificio FBCB, ciudad universitaria UNL, Ruta Nacional N° 168, km 472, Santa Fe, 3000, Argentina.

¹E-mail: lmodini@fbc.unl.edu.ar

Introducción

El vertido de aguas residuales domésticas sin depurar al mar, ríos y lagos y la infiltración de excretas provenientes de pozos negros y redes cloacales mal mantenidas constituyen una de las causas principales de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. A fin de proteger la salud pública y ambiental, el tratamiento de las aguas residuales debe ser una prioridad. En la actualidad, el humedal construido (HC) es una de las tecnologías que más se usa para el saneamiento de agua en pequeñas urbanizaciones y áreas rurales. Los HC son sistemas de depuración extensivos que consisten en canales de escasa profundidad, con plantas acuáticas, por donde el agua a tratar fluye libremente (humedal de flujo libre) o a través de un medio granular (humedal de flujo subsuperficial) (García Serrano & Corzo, 2008). En los humedales de flujo subsuperficial, el sustrato juega un rol importante en la depuración del agua. Tradicionalmente, los materiales de relleno más ampliamente usados han sido arena, suelo y grava, pero no resultan efectivos para remover nutrientes (Lu et al., 2016). Para mejorar esta capacidad, se prueban continuamente nuevos materiales como lecho de humedales, siendo importante que estén disponibles localmente para un aprovechamiento sustentable de los recursos. En este trabajo se propuso usar 2 sustratos no convencionales, coque y lodo de alumina, en la construcción de humedales de flujo subsuperficial vertical a escala micropiloto y evaluar su efecto sobre la eficiencia de los sistemas construidos para tratar agua residual urbana real.

Materiales y Métodos

Agua residual urbana: El efluente cloacal crudo fue suministrado semanalmente por la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la municipalidad de Santo Tomé (Santa Fe, Argentina). Previo a su uso, se dejaba sedimentar 2 horas.

Macrófitas acuáticas: Se trabajó con la especie emergente *Schoenoplectus* sp., obtenida de un ambiente natural húmedo de la ciudad de Santa Fe (Argentina).

Tabla 1.- Caracterización comparativa de los materiales del lecho

Parámetros	Coque	Lodo
pH	6,79	6,29
Densidad aparente (g/mL)	0,7	0,6
Porosidad	0,50	0,75
Sólidos fijos (% p/p)*	0,42	68,85
Sólidos volátil (% p/p)*	98,43	16,11
Humedad (% p/p)	1,15	15,04

*base húmeda

Sustratos: El coque calcinado (granulometría: 1-3 mm) fue donado por la empresa Mecaf Argentina SA (Las Parejas, Santa Fe). El lodo de aluminio, originado en la planta potabilizadora de Desvío Arijón que usa sulfato de aluminio como coagulante, fue suministrado por Aguas Santafesinas SA (ASSA). En el

laboratorio, el lodo se acondicionó previamente (secado, triturado y tamizado) para obtener partículas de tamaño entre 1 y 3 mm. Las propiedades fisicoquímicas de ambos materiales (Tabla 1) se determinaron siguiendo las técnicas propuestas por Smith and Doran (1996): pH, Carter and Gregorich (2007) y Flores Delgadillo and Alcalá Martínez (2010): densidad aparente, porosidad, humedad, sólidos totales fijos y volátiles. El análisis de materiales inorgánicos en el lodo acondicionado fue tercerizado y el resultado expresado como g/100g fue: Al: 7,8; Ca: 0,16; P: 0,16; Fe: 2,5; Mg: 0,25.

Diseño, construcción y operación de los humedales: Se construyeron 2 humedales de flujo subsuperficial, de lecho simple, a escala micropiloto, usando un tubo de PVC de 70 cm de altura y 20 cm de diám., con una placa perforada en la base (falso fondo). Uno de los reactores se rellenó con una capa de 55 cm de coque, mientras que en el otro se usó lodo de aluminio. En cada uno se plantaron 3 ejemplares de *Schoenoplectus* sp. En ambos casos, el volumen útil del reactor fue aproximadamente de 5 L. Las unidades experimentales se situaron en un ambiente semiprotegido con luz y ventilación natural.

Los HC se operaron con un régimen de flujo vertical ascendente y se alimentaron en forma continua con el efluente cloacal, a través del falso fondo, mediante una bomba peristáltica (Apema, Argentina). El tiempo de residencia hidráulico fue de 40 horas.

Muestreo y ensayos: Durante un periodo de 10 meses consecutivos se realizaron 26 muestreos, con una frecuencia mínima semanal. La temperatura ambiente durante este periodo varió entre 8 °C y 36 °C. En el agua cruda y tratada se analizaron los siguientes parámetros: pH, color, turbiedad, Sólidos Suspendidos Totales (SST), conductividad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrato, nitrito, amonio, Fosforo Reactivo Total (FRT), Fosforo Reactivo Soluble (FRS), Coliformes Totales (CT) y *E. coli*. Todas las técnicas se llevaron a cabo por métodos estandarizados de aguas y aguas residuales, de acuerdo con APHA et al., 2012. La remoción de cada contaminante (eficiencia) se calculó como la diferencia porcentual entre la concentración de entrada y la de salida.

Adicionalmente, se determinó el porcentaje de cobertura de las plantas estimando la superficie ocupada por cada ejemplar, dentro del área del humedal, al inicio y al final de la experiencia.

Análisis de datos: Para cada tratamiento, los resultados fueron reportados como mediana (m) y Rango Semi-Intercuartil (RSI). Para comparar la eficiencia del tratamiento entre ambos humedales se usó la prueba *U* de Mann-Whitney. El grado de significancia fue $\alpha = 0,05$.

Resultados y Discusión

Los diferentes sustratos juegan un rol importante en la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en el agua residual. Dependiendo de las características, el sustrato puede adsorber contaminantes inorgánicos y proporcionar una gran superficie para la actividad microbiana y la formación de una biopelícula (Lu et al., 2016).

En la tabla 2 se presentan las características del agua residual urbana y las eficiencias de remoción de contaminantes del

humedal de lodo (HC-Lodo) y el humedal de coque (HC-Coque).

Tabla 2.- Características del agua residual urbana (cloacal sedimentado) y eficiencias (%) de los humedales construidos (HC) usando coque y arena como sustratos. Los valores se expresan como mediana \pm rango semi-intercuartil

Parámetros	Cloacal	Eficiencia (%)	
		HC-Coque	HC-Lodo
pH	7,31 \pm 0,10	-	-
Color (UCV) ^a	40,0 \pm 2,5	62,5 \pm 7,7	33,3 \pm 32,3
Turbiedad(UNT)	47,1 \pm 19,6	76,0 \pm 16,0	81,2 \pm 35,2
SST (mg/L)	45,0 \pm 22,5	90,0 \pm 17,3	85,0 \pm 15,2
DQO (mgO ₂ /L)	177,6 \pm 30,8	77,0 \pm 7,4	75,5 \pm 6,1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	56,8 \pm 3,4	19,8 \pm 5,1	17,5 \pm 7,0
NO ₂ ⁻ (mg/L)	< 0,03	-	-
NO ₃ ⁻ (mg/L)	< 2,0	-	-
PRT (mg P/L) ^a	4,7 \pm 0,3	6,7 \pm 7,9	>97,9 \pm 0,2
PRS (mg P/L) ^a	4,3 \pm 0,3	5,3 \pm 9,3	>97,7 \pm 0,1
Log CT	7,4 \pm 0,3	\geq 98,1 \pm 1,6	\geq 99,0 \pm 1,1
Log <i>E coli</i> ^a	6,8 \pm 0,2	97,2 \pm 3,0	99,0 \pm 1,4

^aIndica diferencia significativa entre eficiencias de HC ($\alpha = 0,05$)

Ambos sistemas de humedales fueron similarmente eficientes para remover DQO (Tabla 1) y proporcionaron un tratamiento estable.

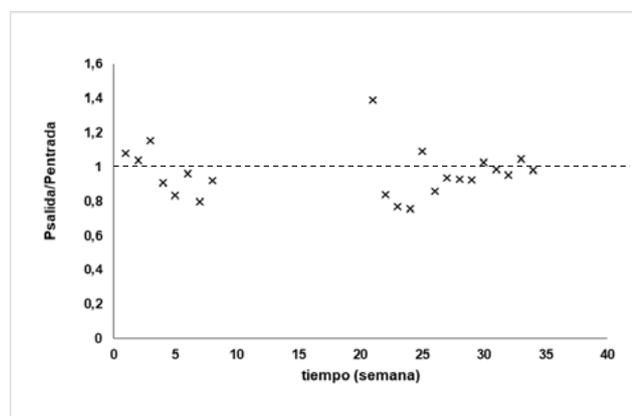


Figura 1.- Proporción entre fosforo reactivo soluble efluente (Psalida) y fosforo reactivo soluble influente (Pentrada) para el humedal de coque. En la línea discontinua Psalida/Pentrada = 1. Los valores por encima de esta línea indican liberación de fosfatos.

HC-Lodo fue superior ($p < 0,001$) a HC-Coque para eliminar FRT y FRS, siendo las concentraciones de salida inferiores al límite de cuantificación (0,1 mg/L) de la técnica empleada. Lo expuesto se podría atribuir principalmente al contenido de aluminio y hierro del lodo. En contraste, HC-Coque expulsó esporádicamente fosforo (Figura 2), lo cual indica que el lecho se encontraba saturado. Esto último se tradujo en una eficiencia de remoción de fosfatos muy baja por HC-Coque (Tabla 2). La elevada absorción de fosforo por HC-Lodo junto con el régimen de alimentación ascendente provocó un retraso en el desarrollo de las plantas. En efecto, al finalizar el periodo de ensayos el porcentaje de cobertura en HC-Lodo era 4,9 % mientras que en HC-Coque alcanzó 18,5 %.

La eliminación de amonio por ambos sistemas fue baja (Tabla 1), lo cual es una característica observable en HC con lecho permanentemente inundado (Vymazal, 2007). Sin embargo, HC-Coque presentó mayor nitrificación ($p = 0,003$), duplicando la concentración de nitrato en el efluente con respecto a HC-Lodo (19,6 \pm 13,7 mg NO₃⁻/L vs 8,1 \pm 7,6 mg NO₃⁻/L). Es probable que el mayor número de plantas en HC-Coque aportara más oxígeno a través de la rizosfera favoreciendo la nitrificación.

Con respecto a los parámetros bacteriológicos, si bien ambos sistemas mostraron una elevada reducción de microorganismos coliformes, el porcentaje de remoción de *E coli* en HC-Lodo fue ligeramente superior ($p = 0,025$).

Conclusiones

Los HC son soluciones basadas en la naturaleza donde el material del lecho es un tema de investigación actual. Al seleccionar un sustrato se deben considerar también otros factores (por ej. el régimen hídrico) que en conjunto pueden afectar la eficiencia del tratamiento y/o el ecosistema del humedal.

Los humedales construidos con lecho de coque y lodo de alúmina resultaron eficientes para eliminar DQO, turbiedad, SST y bacterias coliformes del agua residual urbana. HC-Coque fue superior para remover color, mientras que HC-Lodo destacó en la remoción de fosfatos. La eliminación de amonio fue baja para ambos sistemas, pero HC-Coque presentó mayor nitrificación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Litoral por financiar esta investigación mediante el Programa Curso de Acción para la Investigación y Desarrollo (CAI+D), convocatoria 2020, Resolución C.S. N° 400/19. A Mecaf Argentina, ASSA y la Municipalidad de Santo Tomé, por los materiales provistos.

Referencias

- APHA (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. American Public Health Association. Washington, USA.
- Carter, M. R. and E. G. Gregorich (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.
- Flores Delgadillo, L. and J. R. Alcalá Martínez (2010). *Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos*. Universidad nacional autónoma de México.
- García Serrano, J. and A. Corzo Hernández (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474>
- Lu, S., Zhang, X., Wang, J., Pei, L. (2016). "Impacts of different media on constructed wetlands for rural household sewage treatment". *Journal of Cleaner Production*, 127: 325-330.
- Smith, J.L. and J.W. Doran (1996). "Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality análisis". En Doran, J.W. y A.J. Jones Eds. *Methods for assessing soil quality*, 49: 169-185. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA
- Vymazal, J. (2007). "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands". *Science of The Total Environment* 380 (1-3), 48-65.

EFICIENCIA EN BIODEGRADACIÓN DE VINAZA Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA FÚNGICA POR UNA CEPA NATIVA DE *PICNOPORUS SP.*

Moraña, L.⁽¹⁾, Farfán, Cl.⁽¹⁾, Lozano, V.^(1,2), Alvarez Dalinger, F.^(1,2), Borja, Cl.⁽¹⁾,
y Salusso, M.⁽¹⁾

(1) Facultad de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Salta. (2) CONICET Argentina
E-mail: lilymorana@gmail.com

Introducción

La agroindustria azucarera es históricamente una de las actividades económicas más importantes del NOA. La producción de caña de azúcar en Argentina viene incrementando sostenidamente, en la zafra 2015 sumó 17,7 millones de toneladas, aumentando a casi 23,5 millones de toneladas en el año 2021, el 100% de ésta producción se concentra en la región NOA, correspondiendo un 11,80% a la Provincia de Salta (Estadísticas del Centro Azucarero Argentino, 2015 y 2021). Entre los subproductos de la producción de azúcar, se destaca principalmente la producción de bioetanol a partir de fermentación de “melaza” (Nishihara Hun et al., 2015). Como resultado del proceso se obtiene, además de bioetanol, un residuo líquido muy oscuro llamado “vinaza” que presenta una altísima carga orgánica, de nutrientes y color que le confieren un elevado potencial contaminante. (Acelas et al., 2008).

Los hongos Basidiomycetes de “Putridión Blanca”, como *Picnoporus sp.*, poseen una gran capacidad de degradar compuestos xenobióticos ambientalmente persistentes (Hammel, 1982) de difícil degradabilidad, y utilizarlos como fuente de energía y/o nutrientes. Todo esto gracias a una compleja batería enzimática (Páres y Juárez, 2012).

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar la producción de biomasa y el potencial biodegradativo de una cepa aislada del hongo nativo *Picnoporus sp.*, sobre el efluente vinaza, bajo condiciones controladas de laboratorio.

Materiales y metodología

Se realizó un bioensayo a escala de laboratorio, utilizando vinaza del Ingenio El Tabacal a tres concentraciones (5, 10 y 25%), cada tratamiento con 4 réplicas, utilizando biorreactores de 250 mL en donde se colocaron 100 mL de cada medio correspondiente y se inocularon con una cepa del hongo *Picnoporus sp.* previamente aislada de la localidad de Vaqueros (Salta). Estas unidades experimentales se ubicaron aleatoriamente en estufa a temperatura de 27 ± 1°C. (Figura N° 1).



Figura 1.- (a) *Picnoporus sp.* (b) Cepa aislada. (c) Biorreactores.

Al inicio del bioensayo se procedió a la caracterización de los efluentes de vinaza midiendo: pH, conductividad eléctrica, color verdadero, Demanda Química de Oxígeno (DQO), formas inorgánicas de nitrógeno y de fósforo reactivo soluble, según técnicas de APHA (2005).

Luego de 60 días de incubación, se evaluó la producción de biomasa (en mg) y la eficiencia de *Picnoporus sp.* como agente biodepurador, esto último se realizó midiendo la remoción de

DQO [1] y de Color Verdadero (CV) [2], según las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Remoción DQO} = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} \times 100 \quad [1]$$

$$\% \text{ Remoción Color} = \frac{CV_i - CV_f}{CV_i} \times 100 \quad [2]$$

Resultados

Caracterización de la vinaza

El efluente utilizado se caracterizó por su color marrón oscuro, altos valores de conductividad eléctrica, pH ácido, altos valores de carga orgánica y de nutrientes inorgánicos. (Tabla N° 1).

La carga de sales disueltas, expresada en valores de conductividad eléctrica, de la vinaza de El Tabacal (VET = 9242 µS/cm) fue inferior a las obtenidas en estudios realizados en vinazas de otros países de la región (México: 19500 µS/cm, Colombia: 17000 µS/cm), (García y Rojas, 2006).

La demanda química de oxígeno (DQO), presentó valores iniciales de 45320 mg/L. Valores comparables a los obtenidos para vinazas por otros investigadores (Zúñiga Cerón y Gandini Ayerbe, 2013).

El valor elevado de color verdadero se debe a una variedad de compuestos recalcitrantes como melanoidinas, compuestos fenólicos, ácidos húmicos y sulfuro metálicos, característicos de los efluentes de destilerías.

Tabla 1.- Caracterización de la vinaza utilizada proveniente del ingenio El Tabacal.

Parámetro	Unidades	VET	
pH		4,18	
Color Verdadero	UPT-Co	64200	
C.E.	uS/cm	9242	
Nitrógeno	NH3	mg/L	520
	NH3-N	mg/L	344
	NH4	mg/L	310
	NO3	mg/L	100
	NO3-N	mg/L	20
Fósforo	PO4	mg/L	39,5
	PO4-P	mg/L	13
SO4	mg/L	700	
DQO	mg/L	45320	

Producción de Biomasa Fúngica

Se obtuvieron valores de entre 35,7 y 366,3 mg de peso seco del hongo. Entre cada uno de los tratamientos se hallaron diferencias estadísticamente significativas; VET 5%=38,93 mg; VET 10%=92,68 mg; VET 25%=249,48 mg, siendo este último en donde se notó un mayor desarrollo del hongo (Tabla 2).

Se encontraron múltiples utilidades en la producción de biomasa de *Picnoporus sanguineus*, Borderes et al. (2011) observaron

actividad antioxidante en los metabolitos secundarios de los extractos del hongo. Los extractos acuosos y metanólicos de *Picnoporus* se usan como agentes de biocontrol contra hongos fitopatógenos muchos de los cuales causan pérdidas económicas importantes (Teoh et al., 2011). Algunas especies de hongos como *Picnoporus sp.* degradan madera y producen pigmentos, generalmente derivados de ácidos polipíricos y terpenilquinones (Velíšek y Cejpek, 2011).

Tabla 2.- Producción de biomasa de *Picnoporus sp.* en los distintos tratamientos de vinaza.

Tratam.	Media en mg	DE	
VET 5%	38,93	2,80	A
VET 10%	92,68	4,79	B
VET 25%	294,48	49,93	C

Letras diferentes significan diferencias significativas $p < 0,01$

Eficiencia en micorremediación

Los “Hongos de Pudrición Blanca” poseen una extraordinaria capacidad para sintetizar y secretar enzimas ligninolíticas inespecíficas, contando con un potencial único para biorremediar los compuestos coloreados presentes en las vinazas, altamente resistentes a la degradación microbiana (Mohana et al., 2007).

Tabla 3.- Remoción de color por *Picnoporus sp.* en los distintos tratamientos de vinaza.

Tratam.	Media en %	DE	
VET 5%	43,69	1,61	A
VET 10%	54,45	9,90	A
VET 25%	47,60	15,74	A

Letras diferentes significan diferencias significativas $p < 0,01$

Los porcentajes de remoción del color, variaron entre el 24,51% al 60,31%. Si bien el tratamiento en el que se observó el promedio más alto fue en la dilución al 10% (VET-10%), estas diferencias de remoción no fueron estadísticamente significativas con respecto a las medias de los otros tratamientos (Tabla N° 3). Eficiencias superiores de remoción (60%) se encontraron utilizando *Picnoporus coccineus* en micelio inmovilizado (Chairattanamanokorn et al 2005). También se logró mayores porcentajes de remoción utilizando *Pleurotus ostreatus* en vinaza de igual procedencia y concentraciones similares (Gil Rolón, M. 2018).

Tabla 4.- Remoción de DQO por *Picnoporus sp.* en los distintos tratamientos de vinaza

T	Media en %	DE	
VET 5%	69,95	3,84	A
VET 10%	78,53	0,37	B
VET 25%	75,13	1,78	B

Letras diferentes significan diferencias significativas $p < 0,01$

En cuanto a la remoción de materia orgánica, medida a través de la DQO, los resultados variaron entre el 65,25% y el 78,79%. Los tratamientos realizados a mayores concentraciones de vinazas (VET 10% y VET 25%) probaron ser los más eficientes en cuanto a los promedios de remoción obtenidos, con medias de 78,53% y 75,13% respectivamente, ambos tratamientos no se diferenciaron entre sí desde el punto de vista estadístico. Porcentajes similares se obtuvieron al trabajar con *Pleurotus ostreatus* utilizando vinaza del mismo ingenio y a los mismos porcentajes de dilución (Gil Rolón M., et. Al., 2017). Mientras que, el tratamiento en

donde se utilizó la vinaza más diluida (VET 5%), presentó una eficiencia promedio de remoción de DQO significativamente menor (69,95%), y comparable a lo obtenido por Ahmed, 2016 en vinaza al 25% utilizando una cepa de *Pycnoporus sp.* aislada de ambientes contaminados de Tucumán (Tabla N° 4).

Referencias

- Acelas I.,** (2008). “Cinética de la degradación anaerobia termofílica de vinazas de caña”. Tesis de Maestría, Facultad de Química, UNAM, México.
- Ahmed, P.M.** 2016. Biorremediación de vinazas de destilerías de alcohol, por microorganismos autóctonos aislados de ambientes contaminados. Tesis Doctorado en Cs. Biológicas. Facultad de Bioquímica, Química y farmacia. UNTucuman.
- APHA. (2005).** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 ed.
- Borderes, J., A. Costa, A. Guedes, and T. L. B. Ballod.** 2011. Antioxidant activity of the extracts from *Pycnoporus sanguineus* mycelium. Braz. Arch. Biol. Technol. Int. J. 54: 1167-1174.
- Chairattanamanokorn, P.; Imai, T.; Kondo, R.; Sekine, M.; Higuchi, T. & Ukita, M.** 2005. Decolorization of alcohol distillery wastewater by thermotolerant white rot fungi. Applied Biochemistry and Microbiology, 41(6), pp.583–588.
- Estadísticas del Centro Azucarero Argentino,** años 2015 a 2022. <https://centroazucarero.com.ar/produccion-de-azucar-2020-2029>
- García A. O. y Rojas C. A.** (2006). Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. Revista Tecnicaña. V 10, no 17: 3-13.
- Gil Rolón, Martín.** (2018). “Biodepuración de vinazas de caña de azúcar por microorganismos”. Tesis Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Gil Rolón, Martín; Moraña, L. B.; Salusso, M.M.; Massié, A.** (2017). “Biodegradación de vinazas de caña de azúcar por *Pleurotus ostreatus* y *Chlorella vulgaris*”. III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- Hammel KE.** (1982). “Oxidation of Aromatic Pollutants by Lignin Degrading Fungi and Their Extracellular Peroxidases” In: Siegel H, Siegel A. (eds). Metal ions in Biological Systems, vol. 28. Degradation of environmental pollutants by microorganisms and their metalloenzymes. Marcel Dekker, New York, 41.
- Mohana, S.; Desai, C. & Madamwar, D.** 2007. Biodegradation and decolorization of anaerobically treated distillery spent wash by a novel bacterial consortium. Bioresource Technology, 98(2), pp.333–339.
- Nishihara Hun, A., Mele, F., Pérez, G.** 2015. “Perfil ambiental de la industria azucarera de la provincia de Tucumán obtenido a partir de la Técnica del Análisis del Ciclo de Vida”. Rev. Ciencia y Tecnología de Cultivos Industriales, 64-77. Año 5 N° 7, 2015.
- Páres, R. y Juárez, A.** (2012), *Bioquímica de los microorganismos*, Editorial Reverté S.A. ISBN: 978-84-291-9187-5.
- Velíšek, J., K. Cejpek.** 2011. Pigments of higher fungi: A review. Czech J. Food Sci. 29: 87-102.
- Teoh, Y. P., M.M. Don, and S. Ujang.** 2011. Media selection for mycelia growth, antifungal activity against wood-degrading fungi, and Gc-Ms study by *Pycnoporus sanguineus*. BioRes. 6: 2719-2731.
- Zuñiga Cerón, V. y Gandini Ayerbe, M.A.,** (2013). “Environmental characterization of stillage from sugar cane waste from the production of etanol”. Dyna, V 80,(177): 124-131.

CUANTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS DE LA CUENCA URBANA MATANZA-RIACHUELO

Magali MORENO, Santiago GOIN, Alicia F. de IORIO y Martha BARGIELA

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente.

Cátedra de Química Inorgánica y Analítica. Buenos Aires, Argentina.

E-mail: magmoreno@agro.uba.ar; sgoin@agro.uba.ar; aiorio@agro.uba.ar; bargiela@agro.uba.ar

Introducción

Los microplásticos (MPs) son contaminantes emergentes y corresponden a las partículas plásticas menores a 5 mm de diámetro. Debido a su ubicuidad, principalmente por su ligereza, insolubilidad y alta persistencia, los MPs están presentes en todo el mundo y en todos los compartimentos ambientales. Su concentración en el ambiente esta relacionada con el uso del suelo y la densidad poblacional (Kunz et al., 2023).

La preocupación por este tipo de contaminación es cada vez mayor debido a sus efectos adversos asociados y a la alta tasa de liberación de plásticos al ambiente. Entre los efectos se destacan los daños físicos como obstrucciones y abrasiones en organismos acuáticos por bioacumulación, la toxicidad por aditivos empleados durante la fabricación del plástico como retardantes de llama y plastificantes y el transporte por adsorción de otros contaminantes como metales pesados o de microorganismos generadores de enfermedades (Gola et al., 2021).

Resulta indispensable contar con información de base acerca de la abundancia de este tipo de contaminante para poder estudiar su dinámica en el ambiente y elaborar estrategias de remediación y mitigación a futuro. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es cuantificar y clasificar la presencia de MPs en aguas del Matanza-Riachuelo, cuenca urbana de alta relevancia socio-ambiental.

Metodología

Se tomaron muestras de agua superficial por triplicado en sitios de la cuenca alta, media y baja, las cuales poseen distintos usos del suelo (Figura 1 y 2). La cuenca alta presenta un paisaje rural con actividades agropecuarias, la cuenca media posee un paisaje mixto urbano-rural y en la cuenca baja predomina el paisaje urbano y priman las actividades industriales y de servicios.

- Sitio 1 (S1): afluente del arroyo Morales a 400 metros de la Ruta 6 (cuenca alta).
- Sitio 2 (S2): arroyo Rodríguez en su intersección con la ruta 3 (cuenca alta).
- Sitio 3 (S3): río Matanza en su intersección con la ruta 3 (cuenca alta).
- Sitio 4 (S4): río Matanza en su intersección con la autopista Ricchieri, en el tramo no rectificado (cuenca media).
- Sitio 5 (S5): río Matanza-Riachuelo en su tramo rectificado cercano al Club Regatas de Avellaneda (cuenca baja).



Figura 1.- Sitios de muestreo.

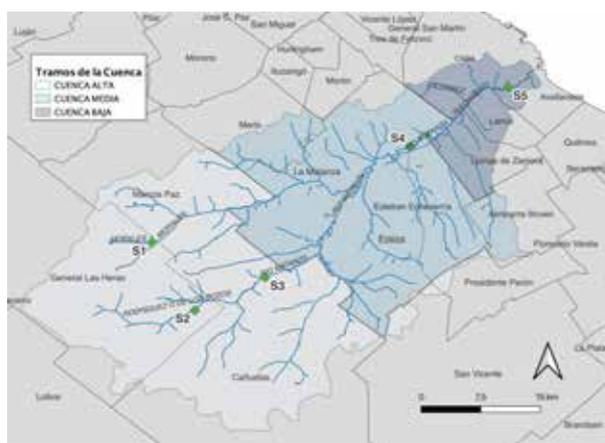


Figura 2.- Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Las muestras se procesaron en laboratorio. Primero, se realizó una digestión oxidativa con peróxido de hidrógeno al 30% para eliminar la materia orgánica que pueda interferir en la identificación de los MPs (Simon-Sánchez et al., 2019). Luego, se filtraron al vacío con filtros de fibra de vidrio de 1 µm de poro y se dejaron secar a temperatura ambiente para su posterior cuantificación y caracterización.

Para la identificación, se empleó la técnica de identificación visual con microscopio óptico (Olympus CX31) utilizando como guía los criterios de Hidalgo-Ruz et al. (2012) para determinar la cantidad y tipo de MPs encontrados en cada muestra.

Durante las etapas de procesamiento e identificación se utilizó el protocolo de prevención de contaminación en el laboratorio propuesto por Crawford y Quinn (2017).

En cuanto al análisis estadístico, se realizaron el análisis de la varianza (ANOVA) con nivel de significancia del 5% y el test de Tukey para evaluar diferencias significativas entre los sitios de muestreo.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron presencia de MPs en todos los sitios bajo estudio con diferencias estadísticamente significativas entre el sitio 1 de la cuenca alta y el sitio 5 correspondiente a la cuenca baja (Figura 3). Los fragmentos y fibras fueron los tipos más abundantes en todos los sitios (Figura 4).

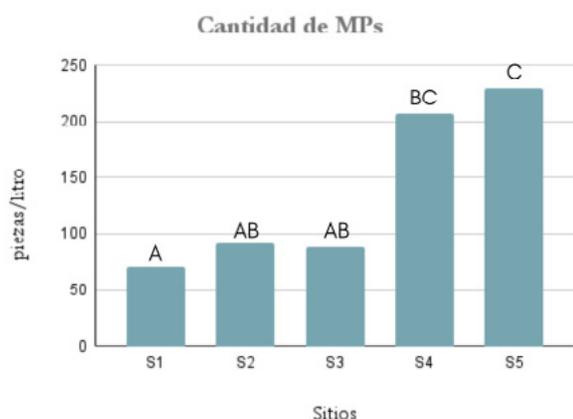


Figura 3.- Cantidad de MPs presentes en cada sitio de muestreo. Las medias con una letra común no son estadísticamente diferentes.

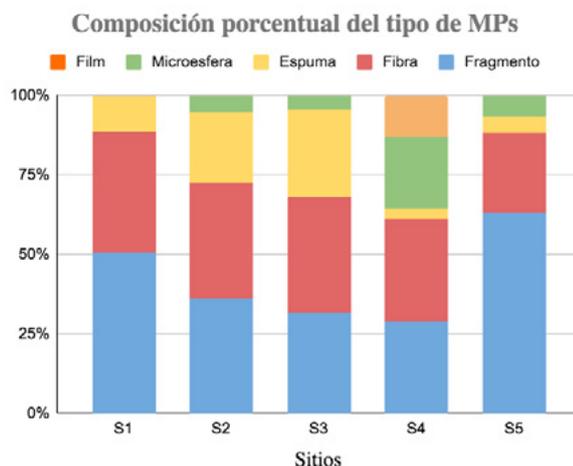


Figura 4.- Composición porcentual del tipo de MPs presente en cada sitio de muestreo.

La concentración de MPs en la cuenca alta, media y baja resultó ser más elevada a la reportada por otros autores para aguas superficiales de una cuenca urbana con similares características (Fan et al., 2022).

Conclusión

En todos los tramos de la Cuenca existe presencia de MPs, demostrando la ubicuidad de este contaminante. Asimismo, la cuenca baja presenta la mayor concentración de MPs evidenciando también la relación entre la abundancia de este contaminante y el grado de presión antrópica.

Es necesario normalizar las metodologías de determinación de MPs en el ambiente. Los MPs son contaminantes emergentes y su estudio se encuentra en continuo desarrollo. En consecuencia, tanto la metodología de identificación como la expresión de los resultados aún no están estandarizados, lo que dificulta la comparación entre distintos estudios.

Resulta de interés trabajar, además del tipo de forma y sus características físicas, con la estructura química de los plásticos. Analizar químicamente los MPs aportaría a la fiabilidad de los

resultados y a determinar el tipo de polímero para inferir en el origen de los plásticos presentes en las muestras analizadas.

El presente trabajo muestra un panorama inicial sobre el grado de afección de la Cuenca Matanza-Riachuelo por estos contaminantes emergentes.

Agradecimientos: Este trabajo se realizó en el marco del proyecto UBACyT “Cuenca Matanza-Riachuelo: Dinámica de contaminantes en relación con los usos de la tierra. Alternativas de remediación” y forma parte de los objetivos de la beca Estímulo RESCS-2021-1414-E-UBA-REC.

Referencias Bibliográficas

Crawford, C. B.; Quinn, B. (2017). “Microplastic Collection Techniques”. *Microplastic Pollutants*. Ed. Elsevier Science. Amsterdam. Págs. 179-202.

Fan, Y.; Zheng, J.; Deng, L.; Rao, W.; Zhang, Q.; Liu, T.; Qian, X. (2022). “Spatiotemporal dynamics of microplastics in an urban river network area”. *Water Research*. 212, 118116.

Gola, D.; Tyagi, P. K.; Arya, A.; Chauhan, N.; Agarwal, M.; Singh, S. K.; Gola, S. (2021). “The impact of microplastics on marine environment: A review”. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100552.

Hidalgo-Ruz, V.; Gutow, L.; Thompson, R.C.; Thiel, M. (2012). “Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification”. *Environmental Science & Technology*, 46:3060-3075.

Kunz, A.; Schneider, F.; Anthony, N.; Lin, H. T. (2023). “Microplastics in rivers along an urban-rural gradient in an urban agglomeration: Correlation with land use, potential sources and pathways”. *Environmental Pollution*, 121096.

Simon-Sánchez, L.; Grelaud, M.; Garcia-Orellana, J.; Ziveri, P. (2019). “River Deltas as hotspots of microplastic accumulation: The case study of the Ebro River (NW Mediterranean)”. *Science of the total environment*, 687, 1186-1196.

MODELACIÓN NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE UN EVENTO DE FLORACIÓN ALGAL EN EL EMBALSE SAN ROQUE, CÓRDOBA, ARGENTINA

Muchiut, Jonathan^{1,3}; Rodríguez, María Inés²; Ruibal Conti, Ana Laura²; Ruiz, Marcia²; Rodríguez, Andrés^{1,3}

¹ Laboratorio de Hidráulica, FCEFYN-UNC

² Área Limnología aplicada y Calidad de Agua, Instituto Nacional del Agua, Subgerencia del Centro de la Región Semiárida

³ IDIT, CONICET-UNC

jonathan.muchiut@unc.edu.ar

Introducción

El embalse San Roque experimenta floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas y de dinoflagelados. Los nutrientes llegan a este cuerpo de agua a través de sus afluentes y de la ciudad aledaña, Villa Carlos Paz, cuyos líquidos urbanos son parcialmente tratados (aproximadamente un 30% de los mismos) y vertidos al embalse, mientras que el resto ingresa al embalse por otros medios.

Desde el año 1999, el Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (INA-CIRSA) mide mensualmente en puntos estratégicos tanto en los tributarios como en el embalse mismo (Figura 1), contribuyendo a formar una base útil para la gestión del recurso hídrico (Rodríguez et al., 2013). Se han aplicado herramientas numéricas para entender la hidrodinámica del embalse (Buscaglia et al., 2000), por un lado, y el transporte de algunas sustancias (Morillo, 2002; Bustamante et al., 2002), por el otro. Sin embargo, hasta la fecha no existe ningún trabajo que integre ambas disciplinas. Este trabajo pretende ser el primero en su tipo, haciendo hincapié en lo que respecta a floraciones algales.

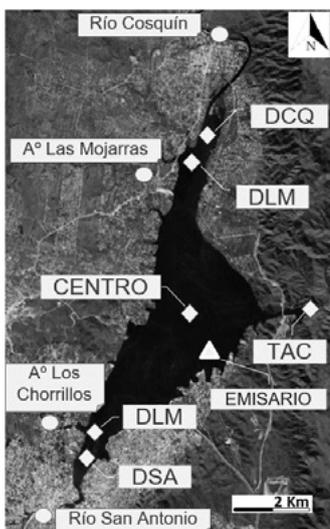


Figura 1.- Embalse San Roque. Los círculos y rombos muestran puntos de medición. El triángulo es el punto de vertido de la planta depuradora.

Objetivos

El objetivo general de este trabajo es el de aumentar el conocimiento relacionado al desarrollo de floraciones algales en el embalse San Roque. Para ello se propone implementar la herramienta numérica tridimensional Delft3D en el embalse durante la floración algal del año 2017, calibrar parámetros de interés y, posteriormente, evaluar el mismo evento variando condiciones hidráulicas y de cantidad/distribución de nutrientes, a fin de hacer un análisis de sensibilidad frente a estas acciones.

Metodología

Delft3D es un modelo numérico tridimensional que resuelve la hidrodinámica de cuerpos de agua, la morfología del fondo y el transporte de sustancias. Para este trabajo se ha utilizado el modelo de cierre $k-\epsilon$ y el flujo de calor con el esquema de temperatura en exceso. El dominio fue dividido en 40300 celdas computacionales cuadradas de 25 m de lado y 10 capas en la vertical (coordenadas σ). El período modelado comienza el 01/01/2017 y termina el 01/05/2017, con un intervalo de tiempo de 12 s.

Calibrado el modelo numérico, se procede a simular el mismo evento: A) variando el nivel de agua embalsado, y B) cambiando la cantidad y/o distribución de nutrientes aportados por el emisario. En el primer grupo se tiene: A.1) nivel de agua 1 m por debajo del real y A.2) nivel de agua 1 m por encima del real. En el segundo grupo se tiene: B.1) no existe tratamiento y todo el líquido ingresa al embalse por el río San Antonio; B.2) hay un trasvase de los líquidos actualmente tratados; B.3) el total de los líquidos producidos por Villa Carlos Paz son tratados bajo norma (Decreto 847/16 de la provincia de Córdoba); B.4) el líquido tratado actualmente por la planta contiene 10% menos de fósforo.

Los datos de caudales de agua, precipitación, evaporación, viento, radiación solar y temperatura del aire fueron obtenidos de registros de estaciones localizadas en las inmediaciones del lago. Los niveles embalsados y caudales erogados fueron aportados por la Secretaría de Recursos Hídricos de Córdoba (SRH), mientras que los eliminados por vertedero fueron estimados (Morillo, 2002). Las variables relacionadas a la calidad del agua fueron obtenidas de la base de datos del INA-CIRSA (tributarios y puntos internos del lago) y de la SRH (líquido aportado por el emisario). Los grupos taxonómicos evaluados son las diatomeas, flagelados, dinoflagelados, cianobacterias y clorófitas.

Resultados

Las mediciones de campo realizadas mensualmente en los puntos de control del embalse se superponen a los resultados numéricos, obtenidos de manera continua, para calibrar el modelo numérico. Las variables de comparación son: clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto, nitrógeno (en NH_4 , NO_2 y NO_3), fósforo (en PO_4) y profundidad de Secchi. Se han calibrado parámetros físicos, estequiométricos y fisiológicos para los grupos algales y sus fenotipos E, N y F. En particular, la Tabla 1 muestra los fisiológicos para las cianobacterias, pudiéndose encontrar las tablas completas en Muchiut (2022).

Tabla 1.- Parámetros fisiológicos calibrados para las cianobacterias.

Fenotipos	Producción		Mortalidad		Respiración	
	tasa [1/d]	coeficiente [-]	tasa [1/d]	coeficiente [-]	tasa [1/d]	coeficiente [-]
E	38	0,06	0,025	1,08	0,006	1,01
N	44	0,05	0,035	1,07	0,008	1,01

P	51	0,05	0,035	1,07	0,008	1,01
---	----	------	-------	------	-------	------

En la Figura 2 se presenta el campo superficial de clorofila-a (día 01/03/2017) para el evento modelado. Se observa una densificación sobre la zona sureste del lago, comenzando en la desembocadura del río San Antonio y llegando a la garganta del embalse, con valores que alcanzan los 500 mg/m³. Con respecto a la competencia algal, en la Figura 3 muestra el porcentaje relativo de cada taxón modelado en el punto Centro del embalse. En ambos extremos de la ventana temporal estudiada se observa cierto equilibrio entre los taxones, mientras que en el evento de florecimiento algal principal existe una dominancia clara (cercana al 95%) de las cianobacterias sobre el resto.

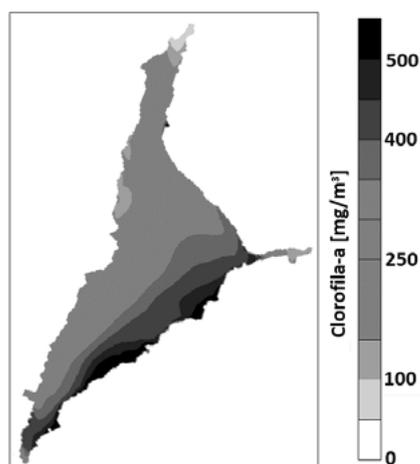


Figura 2.- Campo superficial de Cl-a para el evento modelado.

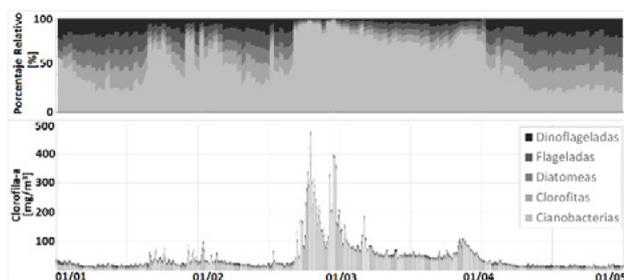


Figura 3.- Ejemplo de Fotografía (en escala de grises).

Comparando con el evento modelado, para el caso A.1) se observa un aumento apreciable de clorofila-a superficial (+12%) y para el caso A.2) se observa una leve disminución en la misma (-8%).

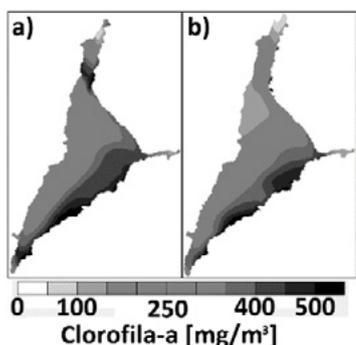


Figura 4.- Campo superficial de Cl-a para a) A.1 (1 m de agua por debajo del real) y b) A.2 (1 m de agua por encima del real).

Para los casos B.1), B.2) y B.4) no existen cambios

significativos en la cantidad ni distribución de clorofila-a superficial. Sin embargo, el caso B.3) presenta una mejora evidente en las condiciones del centro hacia el sureste del embalse, con disminuciones que alcanzan el 65% de la biomasa algal.

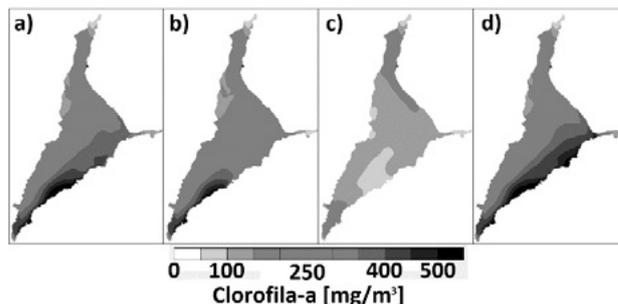


Figura 5.- Campo superficial de Cl-a para a) B.1 (sin tratamiento), b) B.2 (trasvase), c) B.3 (planta mejorada) y d) B.4 (disminución P).

Conclusiones

En este trabajo se han utilizado mediciones mensuales *in situ* del INA-SCIRSA para desarrollar y ajustar un evento de floración algal ocurrido en el año 2017 con el software Delft3D, calibrando las variables intervinientes. El modelo reproduce satisfactoriamente el evento estudiado.

Se han encontrado aumentos y reducciones de aproximadamente 10% de la cantidad de carbono en fitoplancton para niveles embalsados un metro por debajo por encima del medido, respectivamente. Por otro lado, se ha observado que el vertido de los líquidos tratados en la planta depuradora con su capacidad y eficiencia actual no es una mejora frente al vertido del total de los líquidos producidos por Villa Carlos Paz en el río San Antonio, ya que contribuye con el aporte de nutrientes en una zona donde aún es posible el incremento de la biomasa algal. Trasvasar los efluentes de la planta o disminuir el fósforo sólo durante este evento no presenta mejoras a corto plazo, debiéndose estudiar los efectos luego de varios períodos anuales. Por último, tratar la totalidad del caudal líquido cloacal de Villa Carlos Paz y cumplir con los estándares de calidad vigentes consigue reducciones de la biomasa algal de hasta un 65%. Esto es consecuencia tanto de la disminución de aporte de la biomasa en la desembocadura del río San Antonio como a la limitación de nutrientes en la zona de la garganta del embalse necesarias para su crecimiento.

Referencias

- Buscaglia, G. C., López, F., Arnica, D. L. (2000) "Modelado 3D de flujos turbulentos inducidos por vientos en cuerpos de agua". Asociación Argentina de Mecánica Computacional.
- Bustamante, M. A., Morillo, S., Rodríguez, M. I., Granero, M., Ruiz, M., Freyer, I., Busso, F., Bonfanti, E., Girbal, A. (2002). "Estudios para la evaluación de la eutroficación del embalse San Roque mediante la observación, medición y aplicación de herramientas numéricas". Seminario "Calidad de agua en los Embalses de Córdoba". Cba., Arg.
- Morillo, S. (2002) Evaluación de parámetros de calidad en el embalse San Roque mediante la utilización de un modelo unidimensional DYRESM-CAEDYM. Informe interno. CIRSA-INA. Cba., Arg.
- Muchiut, J. (2020) *Procesos Hidrodinámicos y su relación con floraciones algales en el embalse San Roque, Córdoba, Argentina*. Tesis de Maestría, 141 pp., FCEfYN, UNC.
- Rodríguez, M. I., Ruiz, M., Nadal, F., Halac, S., Olivera, P., Busso, F., Bonfanti, E. (2013) "Monitoreo y calidad de agua del embalse San Roque (Cba, Argentina)". XXIV Congreso Nacional del Agua (CONAGUA), San Juan, Arg.

INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE MICROALGAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS

Nashiro A.¹, Kucher H.^{1,2}, Gonzalez C.², Fabrizio de Iorio A.¹, Mauro E.², Rearte T.A.^{1,3}

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Química Inorgánica y Analítica, Av. San Martín 4453, CABA, Buenos Aires, Argentina. ²Agua y Saneamientos Argentinos (AySA), Centro de Investigaciones, Tucumán 752, CABA, Buenos Aires, Argentina.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

E-mail: tarearte@agro.uba.ar

Introducción

En Argentina, el 43,9% de la población tiene déficit de cobertura de saneamiento (Ministerio de Obras Públicas, 2019). Para zonas urbanas se espera la extensión de la red de tratamiento cloacal, sin embargo, para zonas rurales es necesario considerar modelos alternativos ya que, debido a la distancia y la dispersión poblacional, la conexión a esta red no es factible. En los últimos años se ha prestado especial interés al uso de microalgas para el tratamiento de efluentes debido a los bajos costos de operación de estos sistemas, a los beneficios ambientales de estos tratamientos (secuestro de carbono y recuperación de nutrientes), y a la posibilidad de valorizar la biomasa generando así beneficios económicos y ambientales.

En este marco se llevó adelante un proyecto de instalación y operación de una planta piloto de microalgas para el tratamiento de aguas residuales. El objetivo del proyecto es el desarrollo de un tratamiento no convencional con potencial aplicación en barrios y poblaciones rurales o urbanas de baja densidad poblacional. La etapa piloto permite la optimización y validación previa a su transferencia al territorio.

- Económico: reactor de baja complejidad tecnológica y menor costo de operación.

- Optimizado: reactor con control de pH, oxígeno disuelto e inyección de dióxido de carbono y aire que mejoran la productividad de biomasa.

- Alta eficiencia: reactor diseñado para el manejo de microalgas filamentosas, con control de pH, oxígeno disuelto e inyección de dióxido de carbono y aire. Además posee un filtro que permite separar la biomasa del agua tratada dentro del mismo reactor, disociando los tiempos de retención hidráulica y de sólidos. La ventaja de esto último resulta en la capacidad de tratar mayor volumen por unidad de superficie y tiempo.

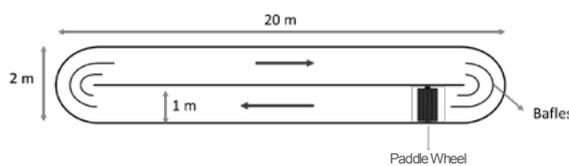


Figura 2.- Dimensiones de los reactores raceway construidos.

Diseño de la Planta Piloto

La Planta Piloto se emplazó en el partido de La Matanza, Provincia de Buenos Aires, en el predio de la Planta Depuradora Sudoeste de AySA, de modo de utilizar una corriente real de efluente (Figura 1).

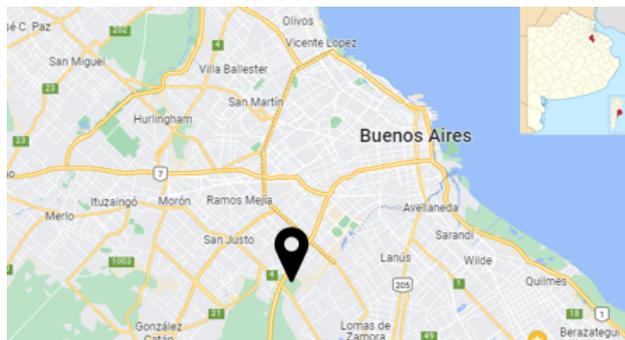


Figura 1.- Ubicación de la Planta Depuradora Sudoeste de AySA.



Figura 3.- Fotografía de los 3 reactores construidos.

El agua residual de ingreso a los reactores proviene del tratamiento primario (desbaste, desarenado, y sedimentación primaria) en la planta depuradora sudoeste de AySA, con el objetivo de reducir los valores de nitrógeno amoniacal, fósforo disponible y demanda biológica de oxígeno (DBO).

El fundamento del tratamiento de aguas residuales con microalgas se basa en la adaptación de consorcios microalgas-bacterias capaces de crecer en aguas residuales de forma controlada mediante el uso de reactores que permitan un aprovechamiento eficiente de la radiación solar. Los reactores elegidos para este tipo de uso son de tipo "raceway", debido a sus bajos costos de construcción y operación. Se trata de piletas abiertas de baja profundidad con un sistema de paletas (*paddle wheel*) que mantienen el cultivo en movimiento, evitando así su sedimentación.

Se construyeron tres reactores raceway de 20m x 2m x 0,5m (Figuras 2 y 3) constituyendo cada uno un escenario posible. Éstos son:

Operación de la Planta Piloto

Se estableció un cronograma de operación de los reactores optimizado y económico que consistió en distintas combinaciones de dos factores: tiempo de retención hidráulica (TRH) y altura del líquido en el reactor (Tabla 1).

Tabla 1.- Cronograma de operación.

TRH [días]	Altura 10 cm [fecha]	Altura 20 cm [fecha]
5	6/3 al 16/3	17/3 al 4/4
2,9	13/4 al 18/4	5/4 al 12/4
2	19/4 al 25/4	26/4 al 4/5

El tiempo de duración de cada régimen de operación –esto es, de cada una de estas combinaciones- se estableció en al menos 2 TRH, siendo un poco mayor en algunos casos por cuestiones logísticas (fines de semana, falta de disponibilidad horaria de algún muestreador). En los últimos 3 días de operación de cada régimen, previo a pasar al siguiente, se tomaron muestras de cada reactor. Las mismas fueron centrifugadas con centrifuga de disco, separando así la biomasa del efluente tratado. A su vez, se tomó muestra del efluente de ingreso de modo de conocer los valores iniciales y poder establecer la eficiencia del tratamiento respecto de la remoción de N amoniacal, fósforo reactivo soluble, y DBO.

Por otro lado, se realiza un monitoreo diario de los reactores registrando productividad de biomasa ($g.L^{-1}.día^{-1}$) y densidad óptica.

Resultados y discusión

A continuación, se exponen los resultados obtenidos para los distintos tratamientos y reactores operados:

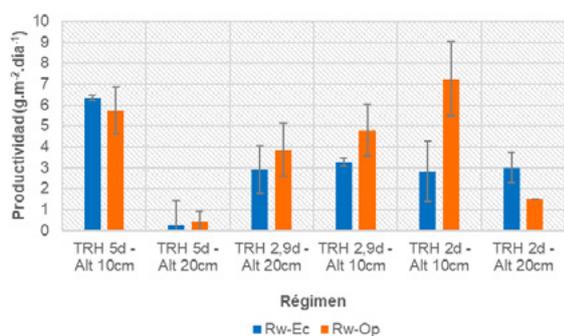


Figura 4.- Productividad de biomasa para cada reactor bajo distintos regímenes de operación.

La Figura 4 muestra que, excepto para el régimen TRH 5d - Alt 10cm y TRH 2d - Alt 20cm, la productividad en Rw-Op tiende a ser mayor que en Rw-Ec. Esto indicaría que la inyección de CO₂ y aireación favorece la producción de biomasa.

Cabe aclarar que, durante el período del régimen TRH 5d - Alt 20cm se registraron fuertes lluvias y días nublados, por lo que la baja productividad estaría atribuido a factores climáticos.

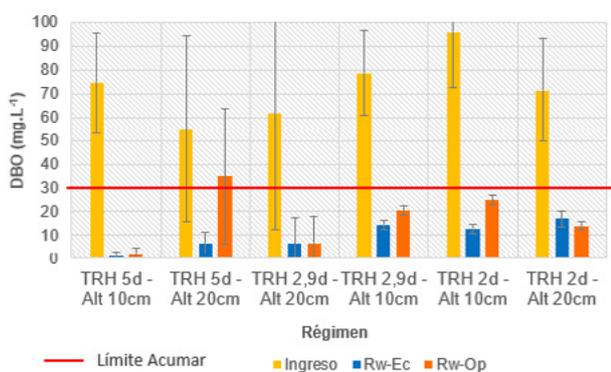


Figura 5.- Concentración de DBO al ingreso y a la salida de los reactores bajo distintos regímenes de operación.

A partir de las figuras 5 y 6 podemos observar que tanto en el Rw-Ec como Rw-Op hay remoción de materia orgánica (DBO) y nutrientes (amonio y fósforo). Los porcentajes de remoción alcanzan el 94% para amonio, y alrededor del 50% para fósforo (en ambos reactores).

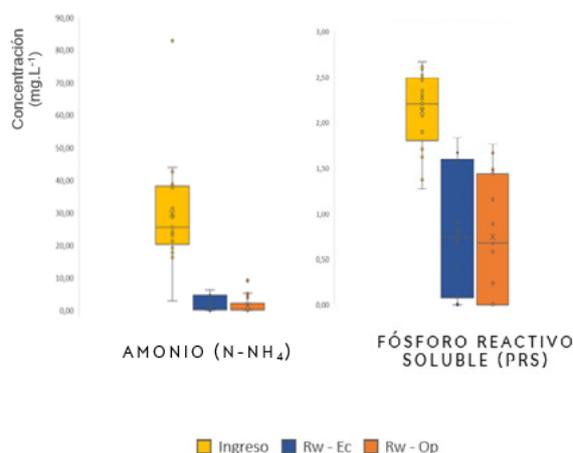


Figura 6.- Dispersión de datos de ingreso y de salida de amonio y fósforo reactivo soluble para cada tipo de reactor.

En el caso de la DBO se logran valores por debajo del límite establecido por Acumar (Res. 283/19), excepto para el régimen TRH 5d - Alt 20cm donde, si bien la DBO inicial es más baja (seguramente debido a aportes pluviales sobre la red colectora por las lluvias mencionadas), no se observó una remoción suficiente en el Rw-Op. Esto podría atribuirse a la baja productividad de biomasa microalgal por lo que no se estarían formando buenos consorcios con bacterias que degraden la materia orgánica.

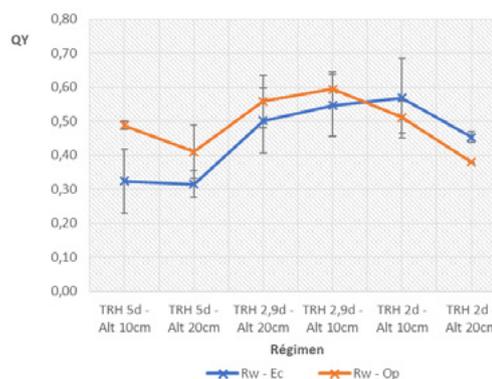


Figura 7.- Quantum yield (Qy) para cada reactor bajo distintos regímenes de operación.

El Quantum yield (Qy) (Figura 7) es un estimador del estado fotosintético de los cultivos. Se observa que hasta TRH 2,9d - Alt 10cm, el reactor Rw-Op presentó mejor estado que el Rw-Ec, y luego se invierte, coincidiendo con lo observado en el gráfico de productividad.

Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento indicarían la factibilidad de aplicación de este tipo de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, alcanzando la máxima capacidad de tratamiento ($0,1m^3.m^{-2}.d^{-1}$) en el régimen TRH 2d - 20cm.

Referencias

Ministerio de Obras Públicas Argentina (2019). *Informe de coyuntura sobre Acceso e Igualdad al agua y saneamiento*. Publicación en sitio web. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_coyuntura_sobre_acceso_e_igualdad_al_agua_y_al_saneamiento_0.pdf. Ultimo acceso: 15-04-2023.

Rearte, T.A., Rodríguez, N., Sabatté, F., Fabrizio de Iorio, A.R. (2021). *Unicellular microalgae vs. filamentous algae for wastewater treatment and nutrient recovery*. *Algal Research*. 59. 1-11

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LA EXPOSICIÓN A AGROQUÍMICOS EN AGUA DE CONSUMO DE ESCUELAS RURALES

Bethania Nicora^{1,2}, Rosario S. Barranquero^{2,3}, Natalia E. Othax^{3,4},
Fanny S. Martens⁵, Natali Lazzaro⁶

¹ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA) ² Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), UNCPBA-CICPBA ³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) ⁴ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA) ⁵ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Agencia de Extensión Rural Tandil ⁶ Círculo de Ingenieros Agrónomos de Tandil (CIAT)

E-mail: Bethania Nicora: bnicora@fch.unicen.edu.ar Rosario S. Barranquero: rbarra@fch.unicen.edu.ar Natalia E. Othax: nataliaothax883@gmail.com Fanny S. Martens: martens.silvia@inta.gob.ar Natali Lazzaro: lazzaronatali@gmail.com

Introducción

En el contexto global de dependencia a los agroquímicos en las actividades agropecuarias, Argentina se encuentra dentro de los cuatro países que registran mayor consumo, superando actualmente los 500 millones de kg en un total de 36 millones de hectáreas cultivadas (Hu, 2020; INTA, 2022). Los residuos de estas sustancias, que se han encontrado en la atmósfera, el suelo, el agua y los alimentos, incluso en regiones alejadas de donde se aplicaron, pueden tener eventuales consecuencias nocivas sobre la salud (CONICET, 2009; Maggi et al., 2019).

A nivel global, la mayoría de las regulaciones sobre pesticidas¹ en aguas subterráneas no aseguran la protección de la salud humana debido al establecimiento de niveles permisibles altos, así como presentan inconsistencias con las regulaciones de suelos, agua potable y salud por falta de integración en sus definiciones (Li, 2018). En la escala nacional las políticas de regulación de agroquímicos denotan una tendencia histórica fuertemente asociada al incremento de la productividad, sin contemplar una conceptualización de manejo integral, siendo reciente la incorporación del cuidado al ambiente y a la salud (Molpeceres, 2022).

A menudo, los niveles límites de agroquímicos en agua de consumo se calculan en base a escenarios de exposición a riesgos para la salud y a datos de toxicología. Un modelo ampliamente utilizado es el de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) que consta de cuatro etapas: evaluación de la exposición, evaluación de la toxicidad, cuantificación del riesgo y gestión del riesgo. La primera etapa requiere caracterizar la exposición identificando sustancias químicas, fuentes de emisión, poblaciones expuestas, y cantidad, frecuencia y vías de exposición. Es esencial garantizar una caracterización precisa y fiable en esta etapa para evitar sub o sobreestimaciones en su posterior cuantificación (USEPA, 1989).

En línea con esto, el objetivo del trabajo fue realizar una caracterización preliminar de la exposición a agroquímicos en agua de consumo de escuelas rurales del partido de Tandil (región pampeana, provincia de Buenos Aires), con la finalidad de disminuir la incertidumbre en la gobernanza del agua respecto a este tema, así como brindar información para la definición de regulaciones más precisas y adecuadas a las necesidades locales.

Materiales y métodos

Se realizó una encuesta a directoras y docentes de las veintiséis escuelas rurales del partido, enviada por mail en formato de

¹ Se entiende por pesticida a todo compuesto químico utilizado para matar plagas, plantas no deseadas (malezas) y vectores de enfer-medades que, por su naturaleza, son potencialmente tóxicos para otros organismos, incluidos los humanos (Miglioranza et al., 2021).

formulario en línea, con el objetivo de obtener información detallada sobre la matrícula estudiantil, el personal, los usos del agua subterránea, el consumo de agua, y el uso de pesticidas en las escuelas y en campos aledaños.

Se considera una caracterización preliminar de una posible exposición dado que aún no se dispone de resultados de determinaciones de agroquímicos en el marco de la investigación, no obstante, existe un trabajo antecedente donde se ha detectado presencia de los mismos en el medio hídrico subterráneo de escuelas rurales (Canziani et al., 2020).

Dado que se presentan diversos entornos de exposición, se optó por seleccionar una muestra de escuelas que sea representativa de los escenarios más críticos, considerando dos situaciones: que el patio de la escuela linde con una fuente de exposición (campo agrícola) y que además tenga pozo propio de captación de agua subterránea dentro de su predio. La información provista por las encuestas contribuyó a esta selección.

Una vez definida la muestra, se realizaron entrevistas semiestructuradas a ingenieros agrónomos con el objetivo de obtener información sobre las características de los cultivos realizados y el uso de agroquímicos en los campos adyacentes a las escuelas seleccionadas. Estas se complementaron a través de consultas realizadas a integrantes de la Mesa de Escuelas Rurales de Tandil y, finalmente, mediante un trabajo de campo que permitió corroborar y ampliar la información relevada.

Resultados

Se obtuvieron 34 respuestas de la encuesta realizada a directoras y docentes del total de escuelas. La información adquirida permitió definir la muestra y, sobre ella, describir las poblaciones expuestas.

La muestra quedó conformada por siete escuelas, con una población total de 173 estudiantes que abarcan un rango de edades de 2 a 18 años, y 91 adultos, cuyas edades oscilan entre los 20 y 50 años. Estas cifras corresponden al ciclo lectivo 2023 y están sujetas a variaciones, pudiendo ser actualizadas. Los usos del agua subterránea se correspondieron principalmente con la higiene, limpieza y uso en sanitarios, y en menor medida con el consumo directo y la preparación de alimentos. Sólo dos escuelas manifestaron utilizar el agua subterránea para el consumo, mientras que las otras reciben agua de bidón para tal fin. En cuanto a la frecuencia de exposición, se registró para los alumnos 5 días a la semana, mientras que para los adultos 5 días o menos, variando en diferentes casos según el cargo desempeñado. Respecto al uso de pesticidas en las escuelas no se registró actividad de este tipo y cuando se preguntó por el uso en campos aledaños, la mayoría manifestó desconocer si ocurre, o suponer que se realizan fumigaciones fuera del horario escolar. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la información correspondiente a la muestra.

Tabla 1.- Resumen de los datos obtenidos mediante la encuesta.

Escuela	Matrícula	Personal	Usos del agua subterránea
6	48	50	Cocina, sanitarios, limpieza
12	8	5	Sanitarios, limpieza
18	10	6	Sanitarios, limpieza
30	24	10	Limpieza, riego, bebida de animales
33	53	11	Sanitarios, limpieza
60	23	6	Consumo, cocina, sanitarios, limpieza
64	7	3	Consumo, cocina, sanitarios, limpieza

Posteriormente se concretaron tres entrevistas con ingenieros agrónomos que asesoran campos aledaños de cuatro escuelas de la muestra, lo cual se complementó con consultas a integrantes de la Mesa de Escuelas Rurales de Tandil y con la observación directa en el campo. Esta información permitió describir los escenarios de exposición de cada escuela, aunque se resumen en conjunto debido a limitaciones de extensión. Se registraron cultivos y barbechos con aplicación terrestre de agroquímicos, incluyendo papa, cebada, maíz, girasol, sorgo y soja. Entre las principales sustancias aplicadas se identificaron 2,4-D, Glifosato, Dicamba, Atrazina, Metsulfuron-metil, Clorpirifós, Abamectina, Metolaclo, Paraquat, Imazapir, Fomesafen y Metribuzin. Las cantidades y momentos de aplicación variaron según los cultivos y prácticas agronómicas de cada campo, pero en general se aplican entre septiembre-febrero y abril-julio.

Discusión

La información obtenida mediante la encuesta, junto a un análisis de antecedentes del área de estudio, permitió realizar una caracterización general de los escenarios de exposición del total de escuelas y seleccionar su muestra. Si bien los datos presentados de la muestra reflejan con precisión las condiciones del momento en que se recopilaron, correspondiente al ciclo lectivo 2023, resulta fundamental su actualización periódica ya que están sujetos a variaciones en el tiempo. Sumado a esto, se descartó la posibilidad de uso de herbicidas en las escuelas como método de control de malezas en los patios, así como información que se esperaba obtener de las escuelas respecto al uso de agroquímicos por parte de los campos vecinos.

Por otro lado, aunque no se pudieron concretar todas las entrevistas deseadas, la información proporcionada por los informantes clave fue suficiente para detallar las fuentes de exposición, correspondientes a los campos que rodean las escuelas con sus respectivos cultivos, sustancias y frecuencias de aplicación, las cuales fueron coherentes con trabajos antecedentes del área de estudio (Canziani et al., 2020; Pena Gómez et al., 2021).

Cabe mencionar que se identificó como limitante la escasez de información antecedente y cierta reticencia a proporcionar información específica sobre el uso de agroquímicos, tanto por parte de las escuelas como de los ingenieros contactados. En este sentido, se destacan como aspectos a mejorar considerando la intención de dar continuidad al estudio con las etapas siguientes del análisis de riesgo a la salud.

Conclusiones

La información relevada fue suficiente para cumplir con el objetivo propuesto de realizar una caracterización preliminar de la exposición a agroquímicos en agua de consumo de escuelas rurales. Se determinó para el ciclo lectivo 2023 una población

total de 173 alumnos de 2 a 18 años y 91 adultos de 20 a 50 años. Se identificaron las vías de ingesta y contacto dérmico como las principales vías de exposición a partir del uso del recurso hídrico subterráneo. Respecto a la frecuencia de exposición, es de 5 días a la semana para los alumnos e igual o menor para los adultos, en función del cargo que éstos desempeñan. Los principales cultivos fueron papa, cebada, maíz, girasol, sorgo y soja y las sustancias aplicadas 2,4-D, Glifosato, Dicamba, Atrazina, Metsulfuron-metil, Clorpirifós, Abamectina, Metolaclo, Paraquat, Imazapir, Fomesafen y Metribuzin, siendo los meses de septiembre-febrero y abril-julio los de mayor aplicación. Debido a la limitación de extensión no se pudo profundizar en cada aspecto mencionado ni en las particularidades que presenta cada escuela, sino que se expusieron a modo de resumen general.

Se concluye que este análisis proporciona información de base relevante para la realización de las etapas de evaluación de la exposición y toxicidad y, finalmente, de cuantificación del riesgo a la salud. La finalidad de este estudio, y de su continuidad, es proporcionar información relevante para disminuir la incertidumbre en la gobernanza del agua, particularmente respecto al riesgo a la salud por agroquímicos en agua de consumo, y contribuir en la discusión y definición de regulaciones adaptadas a las necesidades locales.

Referencias bibliográficas

- Canziani, G., Aparicio, V.C., Cortelezzi, A., De Gerónimo, E., Fontanarrosa, M.S., Tisnés, A., Alba, B., Adaro, M.E., Castets, F., Cepeda, J., Córdoba, M., Delgado, S., Gómez, R.Q., Fernández San Juan, R., Kazlauskas, L.G. y Schimpf, K.G. (2020). "Informe sobre agroquímicos plaguicidas en escuelas rurales del partido de Tandil". Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. [disponible on-line: bit.ly/InformeEcoAgricultura]
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). (2009). "Evaluación de la Información Científica Vinculada al Glifosato en su Incidencia sobre la Salud Humana y el Ambiente".
- Hu, Z. (2020). "What Socio-Economic and Political Factors Lead to Global Pesticide Dependence? A Critical Review from a Social Science Perspective". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8119. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218119>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2022). "Los productos fitosanitarios en los sistemas productivos de la Argentina. Una mirada desde el INTA".
- Li, Z. (2018). "A health-based regulatory chain framework to evaluate international pesticide groundwater regulations integrating soil and drinking water standards". *Environment International*, 121, 1253-1278. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.047>
- Maggi, F., Tang, F.H.M., La Cecilia, D. y McBratney, A. (2019). "PEST-CHEMGRIDS, global gridded maps of the top 20 crop-specific pesticide application rates from 2015 to 2025". *Scientific Data*, 6, 170. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0169-4>
- Miglioranza, K.S.B. (2021). *Agroquímicos. Informes de revisión. Área: Disponibilidad y contaminación del agua, suelos y aire*. Red de Estudios Ambientales Bonaerenses, Nodo Mar del Plata (REAB-MDP). <https://mardelplata-conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2021/02/Informe-de-revision-Agroquimicos-1.pdf>
- Molpeceres, C. (2022). "Políticas públicas y sistemas agroalimentarios en Argentina: entre agroquímicos y agroecología (1990-2020)". *Eutopia. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, (21), 74-99. <https://doi.org/10.17141/eutopia.21.2022.5285>
- Pena Gómez, P.R., Fernández San Juan, R., Vázquez, P. y Cortelezzi, A. (2021). "Red de comercialización y uso de plaguicidas en el partido de Tandil, sector del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina". *Revista Huellas*, 25(2), Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2021-2522>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I: Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA EN LA CUENCA DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT (VIRCH)

Nievas El Makte Marina^{1,2*}, Faleschini Mauricio¹, Polifroni Rosana¹, Torres Américo¹, Fazio Ana¹, Marino Germán³, Baulde Diego³, Amado Hebe³, Marino Ana⁴ y Salvo Fabiana³.

¹ Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR, CCT-CONICET CENPAT), Puerto Madryn, Chubut, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Chubut, Puerto Madryn, Argentina

³ Dirección Provincial de Salud Ambiental (DPSA), Ministerio de Salud de la Provincia del Chubut, Trelew, Argentina

⁴ Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable (MAYCDS) de la Provincia de Chubut, Rawson, Argentina

* E-mail: nievas@cenpat-conicet.gov.ar, marina_nievas1@yahoo.com.ar

Resumen

El sistema hídrico del VIRCH comprende 135 km del cauce inferior del río Chubut. Posee una vasta red de canales de riego y drenaje que irriga por inundación 20.000 has, para el desarrollo de actividades agrícola-ganaderas y frutihortícolas de gran importancia económica y de provisión de alimentos en Chubut. El río se utiliza también como fuente de agua potable para las ciudades de Rawson, Puerto Madryn, Trelew, Gaiman y Dolavon. En esta región se han detectado problemas sanitarios asociados a enfermedades transmitidas por alimentos y por el agua (ETAs), en particular de Síndrome Urémico Hemolítico (SUH), registrando Chubut altos índices de incidencia a nivel nacional. En agosto de 2021 se declaró en Chubut la emergencia hídrica y en el verano de 2022 se produjo una bajante histórica del caudal del río Chubut. En este trabajo se realizó un relevamiento de calidad de agua del río Chubut y las principales descargas de efluentes y de canales de drenaje del sistema de riego en el verano 2022, a fin de evaluar posibles impactos antrópicos. Para ello se realizó la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a lo largo de 210 km de cauce, desde el Dique Florentino Ameghino hasta Playa Unión. Se evaluaron 29 estaciones de muestreo en el río y 6 descargas. Las descargas de canales de drenaje del sistema de irrigación causaron aumentos significativos de la conductividad eléctrica, aporte de nutrientes y de bacterias fecales, obteniéndose concentraciones máximas de 1 a 4,6 10³ *C. fecales* y 4,6 a 24 10² *E. coli* en los canales de drenajes del sector oeste del VIRCH (zonas A y C), región que concentra la mayor actividad agrícola-ganadera y frigoríficos. Estos resultados resaltan la necesidad de implementar a futuro medidas de manejo de los drenajes, particularmente en época de emergencia hídrica.

Introducción

El abastecimiento de agua del Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH) está controlado por el Dique Florentino Ameghino (DFA) (Figura 1). El sistema de riego del VIRCH se abastece a partir de dos tomas ubicadas 60 km aguas abajo del DFA, sobre cada una de las márgenes del Río Chubut (RCH) definiendo los distritos operativos de riego Norte y Sur, respectivamente. Cada distrito se subdivide a su vez en dos zonas de riego cada uno, dividiendo el VIRCH en 4 zonas de servicio de riego (A, B, C y D). En total existen algo más de 360 km totales de canales de riego, entre canales principales, secundarios y terciarios, que permiten regar unas 20.000 has correspondientes a 1.814 regantes. El sistema de riego se completa con un sistema de canales de drenaje de aproximadamente 150 km. Estos canales colectan el agua por escurrimiento de las cuatro zonas de riego del VIRCH y la descargan al cauce principal del RCH por gravedad o bombeo, según la geografía. Además, se encuentran sobre el RCH a lo largo del VIRCH, cinco tomas de agua para plantas potabilizadoras que abastecen a la mayoría de la población del noreste del Chubut. El objetivo de este trabajo fue analizar la calidad del agua de la cuenca inferior del río Chubut en el verano 2022 a fin de evaluar posibles impactos antrópicos.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Se evaluó en este trabajo la calidad del agua del RCH en el verano 2022 a lo largo de su cauce inferior entre el DFA (43°21' 12,2" S, 65°39'59,0"O) y su desembocadura en el Océano Atlántico en el puerto de Rawson (PRW, 43° 20' 31,68"S, 65° 03' 12,66"O). Se realizaron para este trabajo muestreos durante dos semanas en febrero de 2022, evaluando 29 estaciones ubicadas a lo largo de 210 km de cauce del RCH. En este recorrido el río atraviesa las poblaciones y ciudades (de oeste a este) de: Villa Ameghino, 28 de Julio, Dolavon, Gaiman, Trelew, Rawson y Playa Unión (Figura 1). Se evaluaron, además, los canales de drenaje del sistema de riego de las zonas A (nor-oeste, E25), Zona C (sur-oeste, E30), Zona B (nor-este, E20), y zona D (sur-este, E19), la descarga de un efluente cloacal tratado en la ciudad de Rawson (E3), y la descarga de un canal de riego en la ciudad de Trelew (E15B).

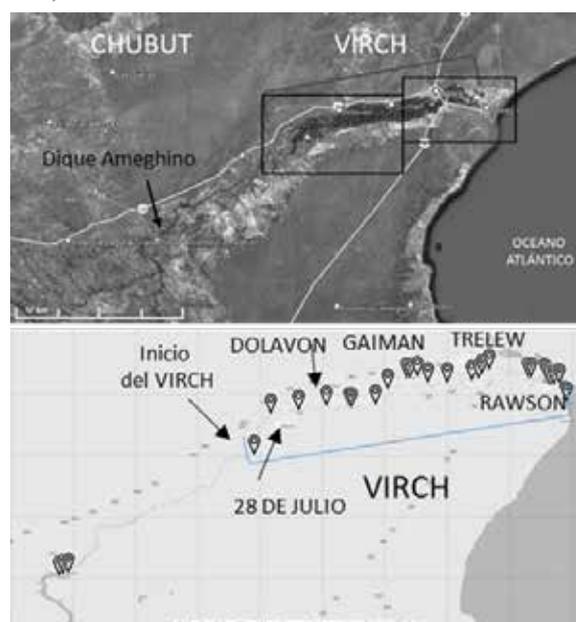


Figura 1.- Sitio de estudio. Cauce inferior del Río Chubut (superior), y estaciones de muestreo utilizadas en este estudio (inferior).

Muestreos

El muestreo se realizó en una embarcación, y en los sectores no navegables se tomaron las muestras desde la costa. En cada estación se tomaron 4,5 litros de agua superficial.

Determinaciones analíticas

La calidad del agua se evaluó mediante la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. La temperatura, conductividad eléctrica específica (CE), concentración de oxígeno disuelto (OD), pH y potencial de óxido reducción (ORP) se determinaron *in situ* utilizando una sonda multiparámetro YSI MPS556. El contenido de sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno

(DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) se determinaron de acuerdo a APHA *et al.* (2017). El contenido de sólidos totales disueltos se evaluó a partir de la CE. La contaminación microbiológica se evaluó determinando la concentración de bacterias coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y Enterococos fecales y el contenido de nutrientes mediante la determinación de amonio, nitrato+nitrato, y fosfato de acuerdo a APHA *et al.* (2017). Se evaluó además el contenido de clorofila-a y feopigmentos mediante medición de fluorescencia para estimar la biomasa de fitoplancton (Strickland y Parson, 1972).

Resultados y discusión

Caracterización físico química

La temperatura del agua del río desde el DFA hasta PRW se encontró en el rango de 19,9 a 22,8°C sin mostrar una tendencia, y la de las descargas entre 19,2 y 24,8°C. La CE varió en el río desde 0,26 en el DFA hasta 9,9 mS/cm en el PRW, y sin tener en cuenta las estaciones del estuario, esta variación fue de 0,26 a 0,51 desde el DFA hasta la ciudad de Rawson, observándose un incremento del 96% en este parámetro. Los canales de drenaje del VIRCH presentaron CE en el rango de 0,51 - 2,32 mS/cm, mientras que la descarga del canal de riego en Trelew la CE fue de 0,22 mS/cm. La CE del RCH no mostró variación significativa (0,26-0,28 mS/cm) entre el DFA y 28 de Julio (aproximadamente 90 km de cauce), sugiriendo que en ese tramo ni la evaporación ni el aporte de corrientes subterráneas tuvieron efectos importantes. En cambio la CE tuvo un incremento sostenido a lo largo del VIRCH, siendo esta variable fuertemente influenciada por las descargas de canales de drenaje del sistema de riego que causaron en todos los casos incrementos, y por las descargas de los canales de riego que mostraron disminuciones en la CE del río (Figura 2). El pH en el agua del río varió en el rango 7,1 a 8,5, mostrando valores estables en el rango 7,8-8,5, a lo largo del cauce inferior excepto en los últimos 20 km antes de la desembocadura en la zona de influencia de la ciudad de Rawson donde cayó entre 7,1 y 7,4. El ORP mostró valores aeróbicos para todas las estaciones analizadas en el rango de +130 a +190 mV, a excepción de la estación E6 con +107 mV en la ciudad de Rawson. La turbidez del RCH varió entre 10 y 79 NTU, con valores de 10-18 desde el inicio del VIRCH hasta Gaiman, y con una tendencia creciente sostenida desde Trelew hasta la desembocadura. Los valores de DQO resultaron menores a 16 mgO₂/L, para todas las estaciones del río en el tramo DFA y Trelew elevándose a alrededor de 23 mgO₂/L en la zona de influencia de Rawson, con sólo dos estaciones con valores mayores: el Puerto de Rawson y la descarga del efluente cloacal tratado (37 y 69 mgO₂/L, respectivamente), mientras que los canales de drenaje estuvieron en el rango 12-19 mgO₂/L. En consonancia con los valores de DQO, la DBO₅ de todas las estaciones resultó menor a 5 mgO₂/L, a excepción de la estación E3 correspondiente a la descarga cloacal tratada que fue de 24 mgO₂/L (DBO/DQO=0,35). Los sólidos totales se encontraron en el rango de 120-467 mg/L en el cauce del RCH, a excepción de las tres estaciones correspondientes al estuario, en cambio, los canales de drenaje del VIRCH presentaron un contenido variable entre 400 y 7300 mg/L, con valores de materia orgánica variable entre 2 y 24%. Las mayores concentraciones de nutrientes se encontraron en la descarga E3 con valores dos órdenes superiores a los del nivel basal del RCH para amonio y más de un orden superior para nitrato+nitrato y fosfato. En menor medida también tuvieron valores mayores a los del RCH una estación de Rawson con evidencia de contaminación fecal, y los canales de drenaje de las zonas de riego del VIRCH A, B y C.

Caracterización microbiológica

El contenido de bacterias indicadoras de contaminación fecal fue variable a lo largo del RCH, encontrándose valores elevados en varias estaciones: un sitio en Villa Ameghino; dos estaciones en

la zona agrícola oeste (28 de julio); la zona intermedia comprendida entre la Angostura y Gaiman que presentó las concentraciones más elevadas encontradas en el RCH (2,4 10³ de *C. totales* y *C. fecales* y de 4,6-11 10² de *E. coli* NMP/100ml), un sitio en la ciudad de Rawson; y la estación marino costera. Para riego de verduras se requiere <10³ NMP/100ml de *C. fecales* y para riego en contacto con la población <200 NMP/100ml, mientras que para actividades recreativas <200 NMP/100ml de *C. fecales* (Decreto 1540/2016).

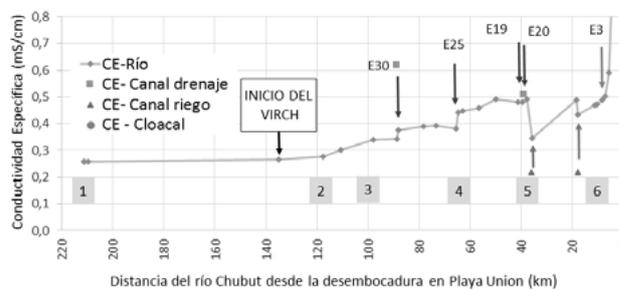


Figura 2.- Conductividad específica del cauce inferior del RCH y descargas. Localidades: (1) Dique Florentino Ameghino, (2) 28 de Julio, (3) Dolavon, (4) Gaiman, (5) Trelew, (6) Rawson. Canales de drenaje de las zonas del VIRCH: E30, zona C (sur-oeste); E25, zona A (norte-oeste); E20, zona B (norte-este); E19, zona D (sur-este). E3, descarga de aguas residuales urbanas tratadas de Rawson, ▲ descargas de riego.

Los canales de drenaje de riego de la zona oeste del VIRCH tanto norte (A) como sur (C) presentaron las mayores concentraciones de *C. totales* y *C. fecales* encontradas en este estudio (4,6 10³ para *C. totales* y *C. fecales* y de 2,4 10³ de *E. coli* en el drenaje E25 (zona norte-oeste) y 1,1 10³ de *C. totales* y *C. fecales* y 4,6 10² *E. coli* para el drenaje E30, zona sur-oeste). En cambio para los drenajes de las zonas este (norte y sur), estos valores fueron <300, <50 y <25 NMP/100ml para *C. totales*, *C. fecales* y *E. coli*, respectivamente. Si se considera a los drenajes de riego por inundación como efluentes de la actividad agrícola-ganadera, las estaciones E25 y E30 superan en 18 veces y en 4 veces, respectivamente, los valores permitidos para descargas de efluentes en cuerpos hídricos receptores (Decreto 1540/2016).

Conclusiones. La fuente de agua que alimenta al VIRCH, el DFA, no mostró signos de contaminación antrópica significativos. En su recorrido desde el DFA hasta su desembocadura el río Chubut sufre un desmejoramiento en la calidad del agua afectado por las descargas que recibe, que se evidencia en aumentos de la CE y en concentraciones elevadas de bacterias indicadoras de contaminación fecal. En particular, las descargas de los drenajes del riego de la zona oeste del VIRCH, sector que concentra la mayor actividad agrícola-ganadera. Estos resultados resaltan la necesidad de implementar a futuro medidas de manejo de los drenajes y de otros vertidos, especialmente considerando las bajantes del caudal del río como la sufrida en el verano 2022. El presente trabajo constituye una evaluación de calidad de agua de la estación crítica de verano que se recomienda complementar con estudios estacionales a lo largo del año, con el fin de brindar una herramienta que facilite el diseño e implementación de medidas de manejo.

Referencias Bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. R.B. Baird, A.D. Eaton, E.W. Rice, Eds., 23rd Edition, APHA, Washington, USA.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fishery Research Board of Canada, second ed. Bulletin 167, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, (310 pp).
- Decreto Provincial N° 1540 (2016). Reglamentación Parcial de la Ley XI N° 35 "Código Ambiental de la Provincia del Chubut". B.O.AÑO LIX - N° 12547, Chubut, 20 de Octubre de 2016.

ESTUDIO DE METALES Y METALOIDES EN SEDIMENTOS DEL RÍO TERCERO (CTALAMOCHITA) CÓRDOBA

O'Mill Patricia^{1,2}, Roqué Mariana S.¹, Calvimonte Helena^{1,2}, Herrero Horacio S.J.^{1,2}, Carnicelli Gabriel E.¹, Loss Lucila¹, Gabriel Jaeggi¹, Cossavella Ana M.²

¹Administración Provincial de Recursos Hídricos. Humberto Primo 607. Cp. 5000. Córdoba, Argentina

²Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Avda. Vélez Sarsfield 1611. Cp. 5016.

patricia.o.mill@unc.edu.ar, marianasoledadroque@gmail.com, helena.calvimonti@unc.edu.ar

horacio.herrero@unc.edu.ar, gabecarnicelli@gmail.com, inglucilaloss@gmail.com, gabriel.jaeggi@mi.unc.edu.ar, acossav@gmail.com

Introducción

El presente trabajo tiene, como objetivo principal, actualizar el estudio de metales en sedimentos en el río Tercero (Ctalamochita). El mencionado río es el segundo más caudaloso de la provincia de Córdoba; nace en el Embalse Piedras Moras y, luego de recorrer más de 200 km, se une al río Saladillo dando origen al río Carcarañá. Es utilizado como fuente de agua de consumo, recreación, y como receptor de efluentes.

Las cuencas hídricas son receptoras de descargas de origen antrópico, y los metales tienden a depositarse en los sedimentos de los ríos (Correa C., et al, 2020). Los estudios se enfocan para determinar si la calidad de agua y sedimentos se ven influenciados o alterados por los vertidos de aguas residuales industriales y urbanas.



Figura 2.- Extracción de muestras con draga Ekman.

Materiales y métodos

Se extrajo una muestra de sedimentos en cada uno de los seis puntos localizados a lo largo del recorrido del río Tercero (Ctalamochita) en marzo y noviembre del 2021 y marzo del 2022. Los sitios de monitoreo fueron seleccionados teniendo en cuenta la localización y tipo de los establecimientos industriales que vierten sus efluentes y las ciudades ubicadas en sus márgenes. Éstos son: Balneario Almafuerle (BA), Balneario Río Tercero (BIII), Puente Los Potreros (PLP), Puente Cárcano (PC), Monte Leña (ML) y Monte Buey (MB) (Figura 1).

Las muestras de sedimentos fueron recolectadas con una draga Ekman (Figura 2) y colocados en recipientes. En cada punto de muestreo se enjuagaron previamente los recipientes y el material de trabajo con agua del río.

Además, se extrajeron muestras de agua para realizar determinaciones físico químicas y microbiológicas y se realizaron mediciones de parámetros *in situ*, pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez, con equipos portátiles de medición: peachímetro-conductímetro Hanna HI 98129 oxímetro Hanna HI 98193 y turbidímetro HAnna HI 93414.



Figura 1.- Sitios de muestreo.

Para analizar los metales de los sedimentos, los mismos se secaron a temperatura ambiente, luego se tamizaron con una malla acrílica de 63 μm . Cinco gramos del material tamizado se trataron con 50 mL de HCl 0,5 M (J.T. Backer). Los controles fueron preparados con agua ultra-pura (Arium 611 UV system, Sartorius, Germany). El análisis de los metales se realizó con ET-AAS (Espectrómetro de absorción atómica, AAnalyst 600, equipado con un auto muestreador AS 800, Perkin Elmer, USA) para elementos trazas, en concentraciones de partes por billón (ppb, $\mu\text{g L}^{-1}$), o FAAS (Espectrómetro de absorción atómica con llama aire – acetileno, Perkin Elmer 3110, USA) para metales abundantes, concentraciones de partes por millón (ppm, mg L^{-1}). Este protocolo detallado es propio del laboratorio.

Los metales medidos fueron Cromo (LD: 0,35 $\mu\text{g g}^{-1}$, LQ: 1,10 $\mu\text{g g}^{-1}$); Manganeso (LD: 0,40 $\mu\text{g g}^{-1}$, LQ: 1,20 $\mu\text{g g}^{-1}$); Plomo (LD: 0,3 $\mu\text{g g}^{-1}$, LQ: 1 $\mu\text{g g}^{-1}$); Zinc (LD: 0,07 $\mu\text{g g}^{-1}$, LQ: 0,21 $\mu\text{g g}^{-1}$); Arsénico (Límite de Detección (LD): 0,002 $\mu\text{g g}^{-1}$, Límite de Cuantificación (LQ): 0,006 $\mu\text{g g}^{-1}$); Cadmio (LD: 0,001 $\mu\text{g g}^{-1}$, LQ: 0,0037 $\mu\text{g g}^{-1}$) y Mercurio (Límite de Detección (LD): 0,026 $\mu\text{g g}^{-1}$, Límite de Cuantificación (LQ): 0,058 $\mu\text{g g}^{-1}$).

En cada sitio de muestreo se realizan aforos de caudal superficial mediante el uso de técnicas modernas, utilizando un Perfilador de Corriente Acústica Doppler (Marca SonTek, Modelo River Surveyor M9). Es un instrumento robusto y altamente preciso diseñado específicamente para medir caudales en ríos, corrientes de agua con flujo altamente tridimensional, profundidades y llevar a cabo batimetrías.

Debido a que en nuestro país no existe reglamentación con valores guías para el contenido de metales en sedimentos, es que se utilizaron los niveles de riesgo definidos por las autoridades de Canadá para la protección y gestión de la calidad de los sedimentos acuáticos (Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente CCMA, 2001).

Dichos niveles de riesgo se clasifican en Nivel Sin Efecto (NEL), Nivel de Bajo Efecto (LEL) y Nivel de Efecto Severo (SEL).

Resultados

Los sitios de muestreo que presentan los valores más altos de metales son PLP y PC, sin embargo, las concentraciones de los metales analizados en sedimentos no superan los niveles establecidos por normativa canadiense (Tabla 1). En la mayoría de las muestras recolectadas en el primer sitio de muestreo, BA, los valores se encuentran por debajo del límite de detección de la técnica. En la Figura 3, se observa que el arsénico muestra un aumento progresivo a lo largo del río, pero el mismo tiene origen natural (Carro Pérez y Francisca 2009).

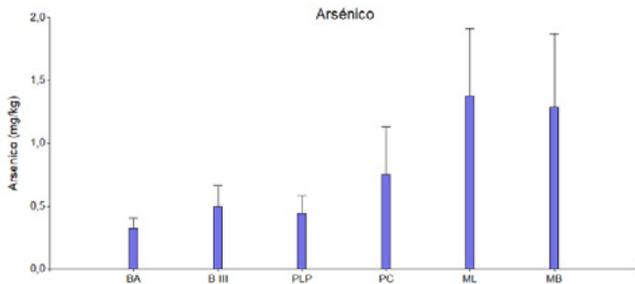


Figura 3.- Variación espacial de la concentración de Arsénico en los sedimentos del río Tercero, promedio de las tres fechas de muestreo (Ctalamochita).

En las Figuras 4 y 5, se observa la distribución espacial de la concentración en sedimentos de Cromo y el Mercurio a lo largo del río. A diferencia del arsénico cuyo origen es natural, se destaca un aumento aguas abajo de la ciudad de Río Tercero, para luego disminuir su valor en el último sitio de muestreo.

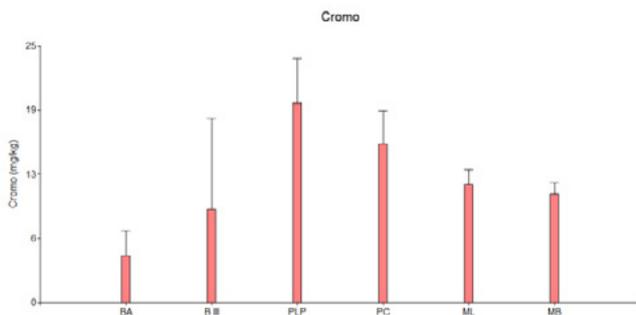


Figura 4.- Variación espacial de la concentración de Cromo en los sedimentos del río Tercero promedio de las tres fechas de muestreo (Ctalamochita).

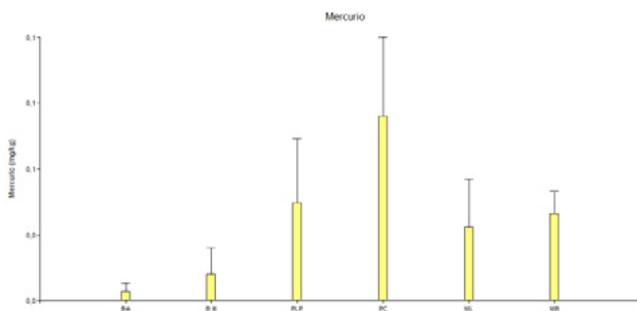


Figura 5.- Variación espacial de la concentración de Mercurio en los sedimentos del río Tercero, promedio de las tres fechas de muestreo (Ctalamochita).

En la Tabla 1, se resumen los límites establecidos por el CCMA, y los valores promedio detectados de metales en sedimentos en los dos sitios donde se detectó más concentración.

Comparando los resultados de estos muestreos con los de los años 2015 y 2016, se observa que solamente el arsénico no presenta diferencias entre los distintos muestreos, los otros metales se destacan por exhibir concentraciones más altas en el muestreo de septiembre del 2015.

En cuanto al caudal, se destaca que se detectan mayores concentraciones de arsénico en momentos de menor caudal, especialmente a partir de la localidad de Bell Ville.

Tabla 1.- Concentraciones de metales en el periodo de estudio en dos sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Valores Guía CCMA [mg/kg]	Puente Los Potreros [valores promedio]	Puente Cárcano [valores promedio]
As	5,9	0,44±0,3	0,76±0,5
Cd	0,6	0,14±0,08	0,14±0,03
Cr	37,3	19,61±7,6	15,59±4,6
Hg	0,17	0,04±0,04	0,07±0,04
Pb	35	5,4±0,5	5,6±4,5
Zn	123	13,7±6,6	64±3

Conclusiones

Todas las concentraciones de los metales analizados en las muestras de sedimentos en diferentes localizaciones del río Tercero (Ctalamochita), se hallaron por debajo de los valores guía establecidos en la normativa canadiense. Sin embargo, se observó un incremento de las mismas en los sitios de muestreo ubicados aguas abajo de localidades e industrias.

El arsénico medido en sedimentos evidenció un incremento progresivo a lo largo del río, detectándose mayores concentraciones en época de estiaje, especialmente en la zona sur este de la cuenca.

El aumento progresivo a lo largo del río, especialmente luego de zona industrializadas, de plomo, mercurio y cromo, manifiestan una contaminación antrópica, ya que estos metales no son propios de la composición de los suelos de la zona.

Referencias

Correa C., y Olivera L. "Determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos x en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac-Perú, para períodos de estiaje y lluvia" Rev. Acta Nova. v.9 n.4 Cochabamba marzo 2020.

Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999 updated 2001.

Franco M Francisca, Magalí E Carro Perez, Assessment of natural arsenic in groundwater in Cordoba Province, Argentina, Environmental Geochemistry and Health, 12-2009.

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE EUTROFIZACIÓN EN EMBALSES MULTIPROPÓSITOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

O'Mill Patricia^{1,2}, Bazán Raquel del V.², Calvimonte Helena^{1,2}, Herrero Horacio S.J.^{1,2}, Roque Mariana S.¹, Jaeggi Gabriel¹, Laboratorio de Aguas³.

¹Administración Provincial de Recursos Hídricos. Humberto Primo 607. Cp. 5000. Córdoba, Argentina. patricia.o.mill@unc.edu.ar
²Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Avda. Vélez Sarsfield 1611. Cp. 5016., Córdoba, Argentina.

³Ministerio de Servicios Públicos.

raquel.bazan@unc.edu.ar, helena.calvimonte@unc.edu.ar, horacio.herrero@unc.edu.ar, msroque@gmail.com, gabriel.jaeggi@mi.unc.edu.ar, laboratorioaguascba@gmail.com

Introducción

Históricamente los ríos y embalses han sido las principales fuentes de agua potable, alimentación, recreación y generación de energía. Sin embargo, la intervención antrópica ha generado efectos adversos en la calidad del agua de los sistemas acuáticos naturales y artificiales (Villabona, V. et al, 2020). El objetivo principal de este trabajo es determinar el estado trófico de los diferentes embalses de la provincia de Córdoba. Para ello se emplea el índice de Carlson, para evaluar el estado trófico, por ser el más ampliamente utilizado (Carlson, 1977). El mismo se obtiene mediante una transformación logarítmica de los valores obtenidos de la profundidad de visión del disco Secchi (DS), concentración de fósforo total (PT), y clorofila "a" (Cl-a).

Materiales y Métodos

Para cumplir con el objetivo propuesto, se realizaron monitoreos programados en 14 (catorce) embalses: San Roque (SR), Río Tercero (E III), Piedras Moras (PM), Segunda Usina (SU), La Falda (LF), Pichanas (Pch), Achiras (Ach), Las Lajas (LL), La Viña (LV), La Quebrada (LQ), San Jerónimo (SJ), El Cajón (EC), Cruz del Eje (CE) y Los Molinos I (LM), (Figura 1). Este último, se llevó a cabo en conjunto con la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (FCEFN-UNC) y la empresa Aguas Cordobesas S.A. (concesionaria del servicio de agua potable para la ciudad de Córdoba).

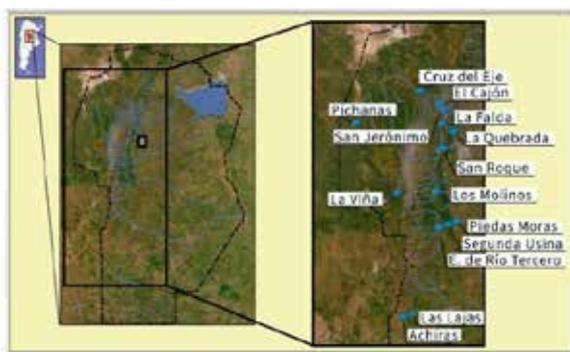


Figura 1.- Ubicación relativa de los embalses estudiados.

Se midieron parámetros in situ: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad, mediante sonda multiparamétrica Aquared AP-2000 y transparencia mediante profundidad de disco Secchi. Se tomaron muestras para la determinación de nutrientes, fitoplancton y clorofila-a. La metodología de toma de muestra, conservación y análisis, se tomó de APHA, AWWA & WEF (2017). Para establecer la condición trófica de los embalses se utilizó el Índice Trófico de Carlson (ITC). El cual se calcula con concentraciones de de PT, Cl-a y la medida del DS, mediante la aplicación de las ecuaciones [1], [2] y [3], respectivamente.

$$ITC (PT) = (14,42 \ln(PT) + 4,15) [1]$$

$$ITC (DS) = (60 - 14,41 \ln (DS) [2]$$

$$ITC (Cl - a) = (9,81 \ln(Cl - a) + 30,6) [3]$$

Los ITC se calcularon usando datos del centro de cada embalse (por considerarse un punto representativo) durante las temporadas cálidas de los últimos 6 (seis) años. Los datos de PT y Cl-a correspondieron a muestras tomadas subsuperficialmente (0,2 a 0,5 m de profundidad).

Se utiliza la Tabla 1 para comparar el resultado obtenido, en la cual se muestra que el cálculo del índice de Carlson resulta en un valor numérico entre 0 y 100, es decir abarcando rangos de trofia desde oligotrófico al hipertrófico. Además, se asigna un color y descripción para cada estado según (MMA 2011 y MMA 2013).

Tabla 1.- Rango de valores del ITC y descripción correspondiente.

Estado	Rango	Color	Descripción
Hipereutrófico	> 70	Rojo	Productividad limitada por la disponibilidad de luz, abundantes macrófitas, anoxia en hipolimnion
Eutrófico	>50-70	Pink	(50-60) Eutrofia cianobacterias dominan, muchas macrófitas. (60-70) Eutrofia Algas abundantes, problemas con oxigenación en el hipolimnion.
Mesotrófico	40-50	Naranja	Disminución de la transparencia, algas aumentan, oxigenación en hipolimnion puede disminuir durante el verano.
Mesotrófico-Oligotrófico	30-40	Verde	Aumenta productividad primaria
Oligotrófico	< 30	Azul	Agua transparente, muy buena oxigenación en el hipolimnion

Resultados

En la Figura 2 se presentan los valores medios de ITC y su desvío durante el periodo en estudio.

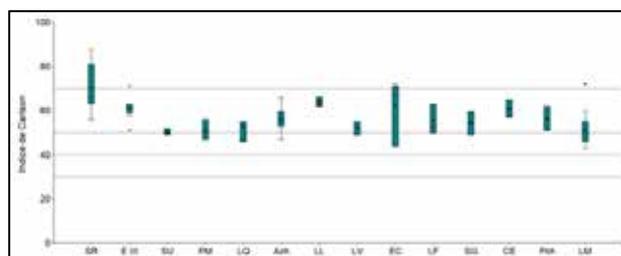


Figura 2.- Índice de Carlson en los distintos embalses.

Se observa que el embalse SR, es el único que presenta en varias ocasiones, estado de hipereutrofización, mientras que los demás embalses se mantienen en niveles de eutrofia (por arriba de 50) durante el periodo estudiado. Se destaca que ningún embalse se encuentre entre la oligotrofia y mesotrofia.

En la Tabla 2 se exhiben los valores promedios y su desviación estándar, mínimos y máximos del ITC para las temporadas cálidas durante el periodo en estudio (2017-2022). También se muestra la edad del embalse (definida como la resta entre el corriente año y el de finalización de la obra), el área del espejo de agua y el uso de suelo en la cuenca.

Tabla 2.- Resumen de ITC, edad y área del embalse y uso de suelo.

Embalse	ITC			Edad [años]	Área [km ²]	Uso de Suelo*
	Media	Mín	Máx			
Achiras	56 ±7	47	66	16	51,3	Pasturas naturales manejadas (ganadería)
Cruz del Eje	61±4	57	65	83	10,9	Monte, matorral, arbustal.
Río III	61±5	51	71	87	46,3	Cultivo extensivo anual, monte, arbustal, zona urbana.
El Cajón	63±13	44	72	30	1,45	Monte, arbustal, zona urbana.
La Falda	55±7	50	63	43	0,15	Monte, arbustal, zona urbana.
Las Lajas	64±3	62	66	16	0,23	Pasturas naturales manejadas (ganadería). Pastizal natural con rocas
Los Molinos	51±6	43	72	70	21,1	Pasturas naturales manejadas (ganadería), zonas urbanas.
La Quebrada	52±5	46	55	47	0,3	Reserva hídrica natural.
La Viña	52±4	49	55	79	8,43	Monte, arbusto, zona urbana
Pichanas	56±8	51	62	45	4,40	Pastizal natural con rocas, arbustales y matorrales.
Piedras Moras	51±5	47	56	44	58,9	Ganadería, Agricultura, monte
San Jerónimo	54±8	49	60	68	0,02	Monte, arbustal, zona urbana.
San Roque	70±11	56	88	79	15,01	Zona urbana.
Segunda Usina	50±2	49	52	68	0,86	Monte, arbustal, pastizal natural.

*Fuente: www.mapascordoba.gov.ar

Comparando la composición fitoplanctónica entre los diferentes embalses, se observa que en el embalse SR la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por cianobacterias (potencialmente productoras de toxinas), del género *Dolichospermum sp.* con una abundancia mayor al 93 %.



Figura 3.- Abundancia relativa del fitoplancton del embalse SR.

Por otro lado, en el embalse PM, se observó una mayor biodiversidad representada en un 47% por *Sphaerocystis sp.*,

seguida por *Aulacoseira sp.* (21%) y *Ceratium sp.* (20%). Durante el periodo estudiado no se observaron cianobacterias (Figura 4).

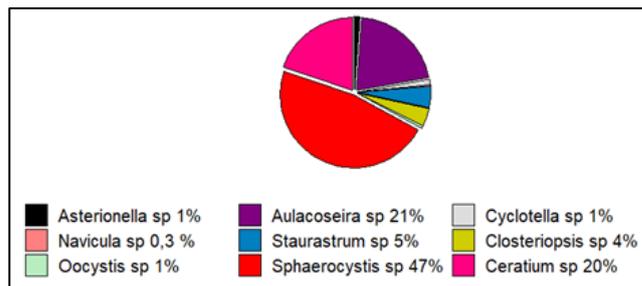


Figura 4.- Abundancia relativa del fitoplancton del embalse PM.

Conclusiones

En base a la clasificación trófica de Carlson (1977) se observa que la mayoría de los embalses se encuentra en un estado eutrófico a excepción del embalse San Roque, que alcanza un estado de hipereutrofia.

El valor del ITC promedio para todos los embalses es de 50, ninguno atraviesa el estado ideal de oligotrofia. Se observa que los menores valores de ITC se registraron en el embalse Segunda Usina, le siguen Piedras Moras, Los Molinos, La Viña y La Quebrada, el cual se ubica en una reserva natural. Por el contrario, el San Roque en que predominan zonas urbanizadas en su cuenca y perillago presentó mayor ITC.

Si bien el ITC fue desarrollado para usar en lagos que tienen pocas plantas acuáticas arraigadas y poca turbiedad no algal, permitió valorar la calidad del agua de los principales embalses multipropósitos de la provincia a partir de tres parámetros, concentración de PT, Cl-a y transparencia de disco Secchi, esta última medida de una manera sencilla y práctica.

Los programas de monitoreo llevados a cabo resultaron ser útiles para determinar el estado trófico de los cuerpos de agua a través del tiempo, evaluar su cambio y sentar las bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos de la provincia.

Referencias Bibliográficas

APHA, AWWA, WEF. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater, 23th edition, Washington, D.C.

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.

Ministerio del Medio Ambiente. 2011. Informe del Estado del medio Ambiente 2011. Capítulo 8 Recursos Hídricos. www.mma.gov.cl.

Ministerio del Medio Ambiente. 2013, Primer Reporte del Estado del medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. www.mma.gov.cl.

Villabona, González S., Benjumea-Hoyos C. (2020). “Variables fisicoquímicas y biológicas de mayor influencia en el estado trófico de cinco embalses andinos colombianos” *Rev. Acad. Colomb. Ciencia Ex. Fis. Nat* 44(171):344-359.

IMPACTO DEL USO DE SUELO EN LOS TRIBUTARIOS DEL EMBALSE RÍO III

O'Mill Patricia^{1,2}, Bonansea, Matías³, Herrero Horacio S.J.^{1,2}, Calvimonte Helena^{1,2}, Roqué Mariana S.¹, Loss Lucila¹, Laboratorio de Aguas⁴.

1: Administración Provincial de Recursos Hídricos. Humberto Primo 607. Cp. 5000. Córdoba, Argentina

2: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Avda. Vélez Sarsfield 1611. Cp. 5016.

3: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ruta Nacional 36 km 601 (5800) Córdoba Argentina.

4: Ministerio de Servicios Públicos.

patricia.o.mill@unc.edu.ar, mbonansea@hotmail.com, horacio.herrero@unc.edu.ar, helena.calvimonte@unc.edu.ar, marianosoledadroque@gmail.com, inglucilaloss@gmail.com, laboratorioaguascba@gmail.com.

Introducción

Muchos problemas de contaminación de sistemas acuáticos son causados por cambios en los parámetros de coberturas y usos del suelo en las cuencas hidrográficas, a medida que aumenta la presión demográfica y la actividad económica (Seeboonruang, 2012). Así, la calidad de agua superficial, está controlada tanto por procesos naturales, como por actividades antropogénicas a través de fuentes puntuales (efluentes industriales y residuales) y difusas, como escurrimientos agrícolas y de áreas urbanas (Bonansea, et al. 2016).

El embalse de Río Tercero está ubicado en las Sierras Chicas, provincia de Córdoba. Fue construido con fines de retención de crecientes, aprovechamiento hidroeléctrico, abastecimiento de agua potable y turismo. Los ríos La Cruz, Quillínz, Grande, Amboy y Santa Rosa, son sus principales afluentes. Mientras que el río Tercero es su único efluente.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la relación entre los usos del suelo y las cargas de nutrientes aportadas por los afluentes del Embalse.

Materiales y Métodos

Desde el año 2015, se llevan a cabo un monitoreo estacional en el embalse del Río Tercero y sus afluentes (figura 1). En cada sitio de muestreo se registra la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbiedad, y se extraen muestras para determinaciones bacteriológicas y fisicoquímicas. Las muestras de agua se analizan mediante la metodología de APHA, AWWA & WEF (2017). También se realizan aforos en los 5 tributarios, donde se miden caudales, con técnicas modernas, utilizando un Perfilador de Corriente Acústica Doppler (Marca SonTek, Modelo River Surveyor M9) que es un instrumento robusto y altamente preciso diseñado específicamente para medir caudales en ríos, corrientes de agua con flujo altamente tridimensional, profundidades y llevar a cabo batimetrías.

En este estudio se evaluaron las cargas de fósforo total, nitrógeno total (como la suma del nitrógeno de nitrato, nitrito y amonio) de cada río, en los años 2018 a 2022. Estos resultados fueron comparados con las coberturas y usos del suelo de esta cuenca obtenidos a partir del mapa de Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (www.https://www.idecor.gob.ar/), el cual fue reclasificado en 6 categorías (sistema acuático, vegetación nativa, roca expuesta, pinares, uso agropecuario y uso urbano).

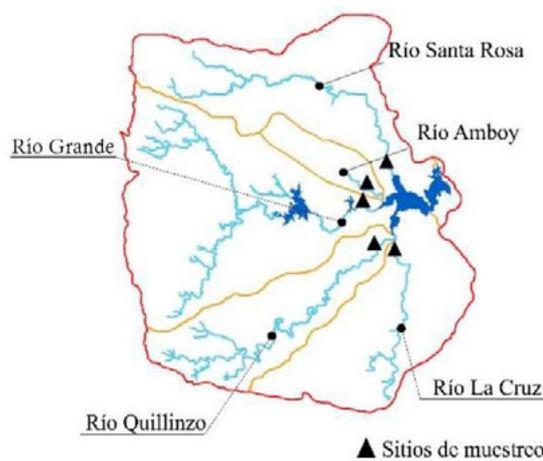


Figura 1.- Sitios de muestreo.

Resultados

Los caudales y otras variables medidas en los tributarios se exhiben en la tabla 1. El arroyo Amboy es el menos caudaloso de los cinco y el Arroyo Corto es el que más agua aporta al embalse.

Tabla 1.- Valores medios para el periodo estudiado.

Río	Caudal [m ³ /s]	pH [U]	CE [uS/cm]	PT [ug/L]	NT [ug/L]
Quillínz	6,45	8,3	166	23	263
La Cruz	2,76	8,3	593	37	596
Grande	11	8	85	37	210
Amboy	0,3	8,4	346	20	268
San Rosa	4,13	8,4	305	25	493

Considerando el tiempo de estudio se observa que los ríos Santa Rosa y La Cruz son los que aportan mayor carga de nitrógeno total (Fig. 2). En la Fig. 3, se observa que el río La Cruz es el que tiene mayor concentración de fósforo total. Mientras que el río Grande es el que presenta las cargas más bajas tanto de fósforo como nitrógeno.

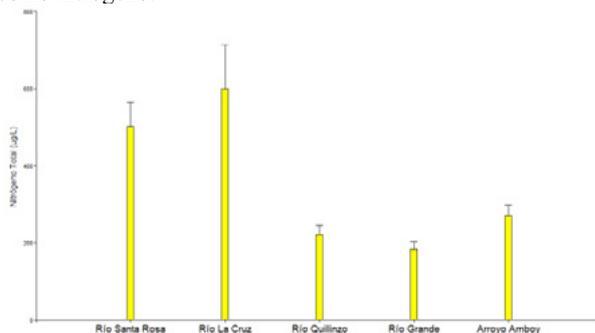


Figura 2.- Distribución espacial de la concentración de nitrógeno en los Tributarios (promedio de fechas de estudio).

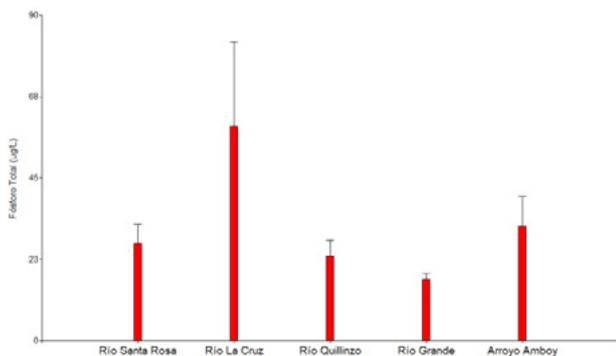


Figura 3.- Distribución espacial de la concentración de fósforo en los tributarios (promedio de fechas de estudio).

La contribución relativa de cada especie de nitrógeno inorgánico, se muestran en la figura 4. Se observa que tanto en el río La Cruz como Santa Rosa, predominan el nitrato, el cual podría estar asociado a fuentes agrícolas. El Arroyo Amboy se destaca por presentar mayor contribución de amonio en las especies de nitrógeno. La contribución de amonio al agua, se asocia a aguas residuales domésticas, escorrentías, entre otras fuentes.

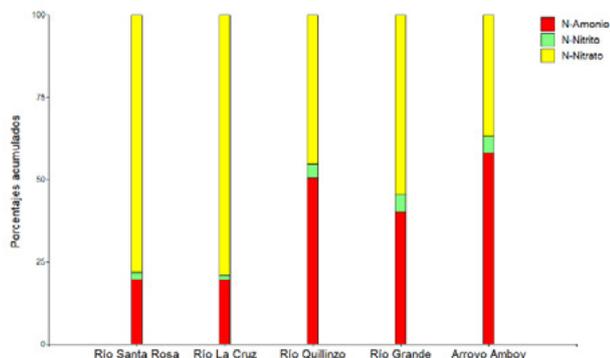


Figura 4.- Variabilidad de las concentraciones relativas de las especies de nitrógeno inorgánico disueltas, para cada tributario.

La Fig. 5 muestra el mapa de coberturas y usos del suelo para la cuenca del embalse Río Tercero. Mientras que en la Fig. 6 se observa la superficie ocupada por cada categoría en cada una de las sub-cuencas. Se destaca que la cuenca del río Grande es la que presenta la mayor superficie de monte nativo. La cuenca del río La Cruz, posee una superficie mayor al 50% destinada a uso agrícola, y en contraste se observa que la cuenca del Río Quillínz es el que presenta el menor uso de suelo para este fin. La cuenca del río Santa Rosa posee la mayor superficie destinada a uso urbano.

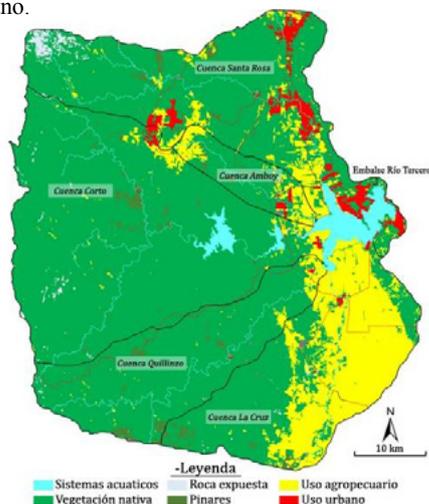


Figura 5.- Uso de suelo y cobertura de la cuenca del Río III.

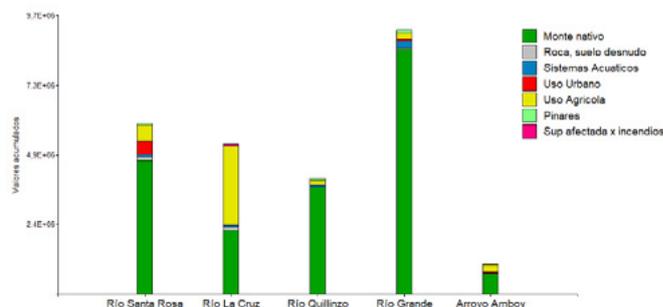


Figura 6.- Coberturas y usos del suelo de las distintas sub-cuencas que conforman la cuenca del embalse Río Tercero.

Comparando los resultados de nutrientes con el mapa de uso de suelo, se observa que las sub-cuencas que presentan una mayor actividad antrópica, son las que aportan las concentraciones más elevadas de nitrógeno y fósforo total al embalse.

Conclusiones

Se observó que los ríos más afectados por las actividades humanas, como La Cruz y Santa Rosa, presentaron los valores más altos de nutrientes, mientras que el Río Grande, que recorre vegetación autóctona, resultó ser el que presenta menos concentración de nutrientes.

Los tributarios que más caudal aportan al embalse son el Río Grande y río Santa Rosa.

Se destaca que la cuenca del río Santa Rosa es la que mayor superficie destina para uso urbano, y la cuenca del río La Cruz más de la mitad para uso agrícola. Por otro lado, las cuencas de los ríos Quillínz y Grande son las que presentan más superficie de monte nativo.

Si bien se requiere mayor investigación sobre los procesos de transporte y de retención de nutrientes desde la cuenca al cuerpo de agua, se puede observar degradación de la calidad del agua debido a actividad humana

Referencias

APHA, AWWA, WEF. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater, 23th edition, Washington, D.C.

Bonansa, M. and Ledesma, C. (2016) "Assessing the impact of land use and land cover on water quality in the watershed of a reservoir" Applied Ecology and Environmental Research 14(2): 447-456.

Seeboonruang, U. (2012): A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. – Journal of Environmental Management 101: 134-142.

EVOLUCIÓN HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA SUBTERRÁNEA LOS BERROS NORTE EN UN PERIODO DE 60 AÑOS

Irene Ortega, Silvia Mérida y Fernanda Carelli

Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS), Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
iortega@ina.gov.ar, smerida@ina.gov.ar, mfcarelli@ina.gov.ar

Introducción

La radicación de numerosos emprendimientos rurales con grandes extensiones cultivadas (ampliación de la frontera agrícola) avanza en el uso del agua subterránea sin contar con una explotación planificada que asegure la sustentabilidad del recurso hídrico. Este fenómeno que se viene produciendo a lo largo de varios años en la zona de estudio, es lo que motivó la realización de esta investigación que abarca algunos de los aspectos importantes a tener en cuenta para preservar el acuífero. Por otro lado, la crisis hídrica que viene atravesando la provincia desde hace varios años, ha animado a diversos investigadores a ampliar los conocimientos en temáticas de cuantificación y regulación del acuífero subterráneo ya que se sabe que es la principal reserva de agua dulce. Este trabajo, pretende evaluar los cambios en la calidad hidroquímica del agua y generar información que ayude a delinear la futura planificación y explotación del uso del agua subterránea en la zona de interés. Para ello, se presentan las características hidroquímicas de la cuenca subterránea Los Berros Norte considerando los antecedentes con que cuenta la Subgerencia Centro Regional de Aguas Subterráneas (SCRAS) y los datos de los monitoreos más recientes realizados en los años 2019, 2021 y 2022. Como resultado la comparación entre ambos grupos de datos determinará si se ha producido un cambio en la química de la cuenca en estudio.

Ubicación y marco hidrogeológico

La zona de estudio está ubicada al suroeste del área limitada entre el cerro Valdivia, el río de la Flecha, y las localidades de Cieneguita y Cañada Honda (Fig. 1). Está integrada en casi su totalidad por sedimentos gruesos aportados principalmente por los ríos de la Flecha y del Agua, que originaron dos amplios conos aluviales, en cuya unión se ubica la localidad de los Berros. La recarga principal provendría desde el oeste, de los ríos de la Flecha y del Agua y el movimiento del agua subterránea se efectuaría hacia el este-noreste, en dirección aproximadamente normal al flujo en la subcuenca Tulum inferior (Rocca, 1969).

Metodología

Los datos históricos (41 perforaciones) se tomaron entre los años 1967 y 1992, mientras que, los datos actuales (8 perforaciones) durante los años 2019, 2021 y 2022 midiéndose en campo, Conductividad Eléctrica (CE) y pH.

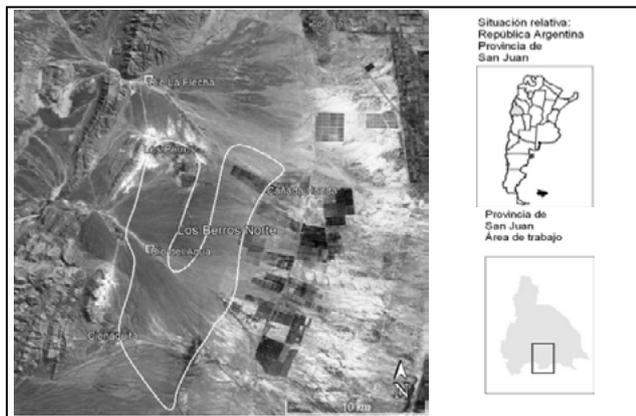


Figura 1.-Zona de Estudio. Cuenca Los Berros Norte

Los análisis efectuados en el Laboratorio de Hidroquímica de la SCRAS, se realizaron siguiendo las técnicas descriptas en "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 1998) e incluyeron las siguientes determinaciones: Sólidos Disueltos Calculados (SDC), Alcalinidad Total (AT), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^{+}), Carbonato (CO_3^{--}), Bicarbonato (HCO_3^{-}), Sulfato (SO_4^{-}), Cloruro (Cl^{-}), Nitrato (NO_3^{-}) y Boro (B); expresándose la CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, la AT en mg/l de CaCO_3 y finalmente los SDC y la concentración de los diferentes iones determinados en mg/l . Estos análisis permitieron caracterizar hidroquímicamente a la cuenca utilizando el Diagrama de Piper (Piper, 1944), para lo cual se consideraron los siguientes iones principales Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{-} y Cl^{-} . Además, se evalúa la calidad del agua para riego, utilizándose para ello el Diagrama de Salinidad del United State Salinity Laboratory (USSL) (Richards, 1954) y la clasificación de Flannery, modificada por Lohn (Lohn, 1970). Este sistema considera simultáneamente a 3 parámetros para clasificar el agua, siendo el más desfavorable el que define finalmente la clase: 1) La salinidad total en función de la CE específica del agua (un nivel alto de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad del agua para el cultivo debido a la presión osmótica, y causa la reducción del rendimiento). 2) El contenido de Na^{+} respecto al de Ca^{++} y Mg^{++} , en base a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) (altos niveles de RAS podrían resultar en un daño de la estructura del suelo y en problemas de infiltración de agua, el suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire). 3) El contenido de B (el cual es un nutriente esencial, pero puede ser tóxico en concentraciones ligeramente mayores a las necesarias para el crecimiento óptimo. La tolerancia al B varía con el clima, suelo y variedad de cultivo).

Resultados y discusión

Según la caracterización hidroquímica realizada con Diagrama de Piper y analizando los datos históricos se determinó que el agua en la cuenca es de tipo **sulfatada-cálcica sódica y sulfatada-cálcica clorurada (Fig. 2a)**. Este tipo de agua se presenta en general en toda la cuenca, sin embargo, se han podido identificar algunas diferencias. En la zona noroeste predomina el tipo de agua Sulfatada Cálcica como es de esperarse por la mineralización del lugar que lleva a las principales industrias caleras a ubicarse en ese sitio. Mientras que en la zona suroeste predominan los tipos de agua sulfatada sódica y clorurada sódica, debido probablemente a la calidad del agua superficial o de recarga en esa zona.

Al analizar los datos actuales se identificó un tipo de agua **sulfatada sódica (Fig. 2b)**. Determinándose mayores contenidos de sulfato que de sodio en la zona noroeste de la cuenca y mayores contenidos de sodio que de sulfato en la zona noreste.

De la figura 2, se puede concluir que, si bien ambos gráficos no son exactamente iguales debido la densidad de datos analizados en cada grupo, los puntos siguen el mismo patrón de distribución y los iones mayoritarios están presentes en ambos grupos.

En el análisis de aptitud del agua para riego realizado con el Diagrama de Salinidad, los datos históricos, figura 3a, mostraron que el agua es principalmente (80% de las perforaciones) de aptitud **Buena a Regular, clases III-C3S1 y III-C3S2**. En aproximadamente el 20 % restante el agua es de aptitud **Regular**

a Mala, clases IV-C4S2 y IV-C4S3 e Inútil, clase V-C5S4 en 1 sola perforación. Las perforaciones comprendidas en la clasificación C4S2 y C4S3, con elevados valores de CE (2434 a 4680 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y RAS de 5.2 a 8.8 son, en su mayoría, pozos cavados de poca profundidad (3 a 6 metros). La CE de los pozos C3S1 y C3S2 está comprendida entre 1073 y 2110 y los índices RAS entre 2.2 y 7.2. Al analizar las concentraciones de B, se observa que en 2 de las perforaciones con aptitud Buena a Regular se supera el valor máximo de tolerancia para cultivos sensibles. Por otro lado, algunas de las perforaciones con aptitud Regular a Mala presentan concentraciones de B elevadas para cultivos sensibles y semitolerantes. Finalmente, la perforación de aptitud Inútil no resultaría apropiada para cultivos sensibles al B.

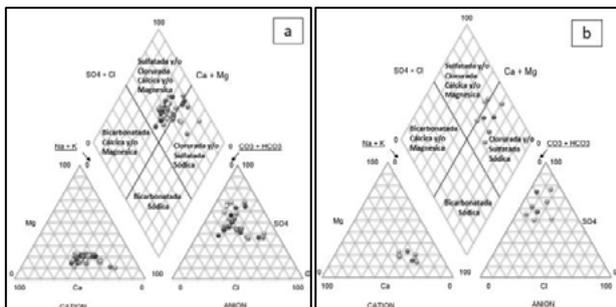


Figura 2.-Diagrama de Piper de la cuenca: a. Datos históricos. b. Datos actuales.

Evaluando los datos actuales, figura 3b, es importante aclarar que las perforaciones analizadas se ubicaron todas en la zona norte de la cuenca. Los resultados obtenidos mostraron que el agua para riego es de aptitud Buena a Regular, clases III-C3S1 y III-C3S2 en el 63% de las perforaciones. El resto de las perforaciones ubicadas en la zona norte son de aptitud Regular a Mala, clase IV-C4S2 e Inútil, clase V-C5S4. Además, se observó que las perforaciones con aptitud Buena a Regular presentaron concentraciones de B aptas para todo tipo de cultivo. Por su parte una de las perforaciones con aptitud Regular a Mala no sería apta para cultivos sensibles al B.

En la Figura 3 se muestra la aptitud del agua para riego tanto en los datos actuales como en los históricos. En ambos gráficos se puede observar el mismo comportamiento concluyendo que no se advierten modificaciones químicas a lo largo del período analizado. Continuando con los demás parámetros, al analizar los valores máximos, promedio y mínimos de CE y SDC tanto valores actuales como históricos, ver Tabla 1, se observa que el comportamiento de ambos parámetros es similar ya que la CE depende de los sólidos que se encuentran disueltos en agua. En ambos casos vemos un aumento en los valores máximos y promedio, mientras que los mínimos presentan una leve disminución.

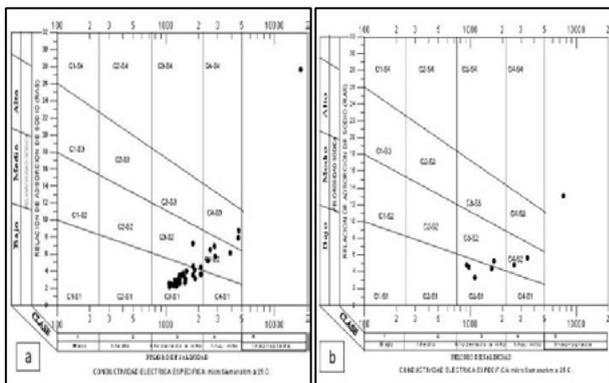


Figura 3.- Diagrama de clasificación para aguas de riego del USSL. a. Datos históricos. b. Datos actuales.

Tabla 1.-Valores máximos, promedio y mínimos de CE y SDC. Datos

Valor	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		SDC (mg/l)	
	Actuales	Históricos	Actuales	Históricos
Máx	7540	4680	5530	3537
Prom	2479	1791	1610	1214
Mín	921	1073	571	662

Respecto al HCO_3^- , vemos en la Tabla 2 que, al comparar los datos históricos con actuales, las concentraciones disminuyen lo que provoca una disminución en la AT. Este comportamiento podría entenderse por la ausencia de aguas de recarga recientes en las aguas monitoreadas en los últimos años

Tabla 2.-Valores máximos, promedio y mínimos de HCO_3^- y AT. Datos Actuales e Históricos

Valor	HCO_3^-		AT (mg/l CaCO_3)	
	Actuales	Históricos	Actuales	Históricos
Máx	396	441	324	362
Prom	256	304	210	249
Mín	165	191	135	168

En las Tablas 3 y 4 se presentan algunos iones principales. Vemos que a lo largo del período analizado SO_4^- y Na^+ muestran un aumento, mientras que Cl^- y Ca^{++} disminuyen. Esto coincide con el tipo de agua resultante de la caracterización hidroquímica ya que en los datos históricos el agua presentaba un pequeño porcentaje de tipo clorurada cálcica mientras que en la actualidad el tipo de agua es netamente sulfatada sódica.

Tabla 3.- Valores máximos, promedio y mínimos de SO_4^- y Cl^- . Datos Actuales e Históricos

Valor	SO_4^- (mg/l)		Cl^- (mg/l)	
	Actuales	Históricos	Actuales	Históricos
Máx	3130	1660	489	939
Prom	807	461	152	175
Mín	240	221	26	43

Tabla 4.- Valores máximos, promedio y mínimos de Ca^{++} y Na^+ . Datos Actuales e Históricos

Valor	Ca^{++} (mg/l)		Na^+ (mg/l)	
	Actuales	Históricos	Actuales	Históricos
Máx	316	325	1200	670
Prom	123	139	332	209
Mín	39	76	125	93

Finalmente es importante mencionar que los valores de NO_3^- , si bien no superan el máximo permitido para consumo ni en los datos históricos ni en los actuales; si se observa un aumento en los valores promedio y mínimos debido probablemente a la actividad antrópica en la zona por lo que se debería continuar monitoreando para llevar un control de este parámetro.

Referencias Bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Ed. 20, USA.
- Custodio E., Llamas M. R. (1983). *Hidrología Subterránea*. 2° Edición. Barcelona, 1983.
- Lohn P. (1970). *Calidad del agua para riego – Su clasificación*. Plan Agua Subterránea. Consejo federal de Inversiones. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. San Juan, Argentina.
- Piper A. M., A (1994). *Graphic Procedure in The Geochemical Interpretation of Water-Analyses*. Transactions, American Geophysical Union. Volume25, Issue6, June/September 1944, Pages 914-928.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline AlkaliSoils, Agriculture*, 160, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Rocca, J. Á. (1969). P-031. *Geología de los Valles de Tulum y Ullum-Zonda*. San Juan, Argentina. INA-CRAS.

MEJORA SUSTANCIAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE RÍO HONDO, CUENCA DEL RÍO SALÍ-DULCE, DURANTE LOS ÚLTIMOS 12 AÑOS

Ostengo, María L., Jaime, Mariana E., Schilman, Bettina L.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Avda. Brígido Terán N°650, San Miguel de Tucumán, Tucumán, C.P. 4000. Cel: (0381) 6451206. Mail: lauraostengo@gmail.com

Introducción

La Cuenca del Río Salí-Dulce es una cuenca endorreica, que nace en la Provincia de Salta como Río Tala, atraviesa la Provincia de Tucumán con el nombre de Río Salí y desemboca en el Embalse de Río Hondo (ERH), el que es también alimentado por cauces hídricos que nacen en la Provincia de Catamarca. Desde su salida del ERH, el Río Salí se convierte en el Río Dulce, nombre con el que recorre toda la Provincia de Santiago del Estero, convirtiéndose, en su tramo inferior, en los Bañados RAMSAR del Río Dulce. Finalmente, sus aguas se vierten en la Laguna de Mar Chiquita, al norte de la Provincia de Córdoba. La cuenca abarca unos 80.000 Km² y, en ella, viven más de 2 millones de personas.

El Embalse de Río Hondo, un espejo de agua que limita las Provincias de Tucumán y Santiago del Estero al sudeste, es alimentado por cursos hídricos tucumanos de diferente envergadura: Ríos Salí, Chico/Medina y Marapa, Arroyos Matazambi y Mista, Canal de desagüe pluvial Troncal y de sus respectivos afluentes.

Tucumán, posee una gran variedad climática y geomorfológica, con un amplio espectro altitudinal, térmico, pluvial e hidrológico, lo cual dio lugar al desarrollo de importantes centros urbanos, acompañado de una intensa actividad agropecuaria y agroindustrial, donde prima, además de la caña de azúcar y el limón, el arándano, la frutilla y cultivos extensivos de soja, maíz, trigo y poroto, la horticultura y el tabaco. El polo industrial está constituido por ingenios azucareros, sucro-alcoholeros, citrícolas y otras industrias alimenticias, textiles, papeleras, etc., cuyos efluentes (que se suman a los domiciliarios), son vertidos, con diferentes niveles de tratamiento, a los cauces hídricos de Tucumán y al ERH, afectando su ecoequilibrio acuático. Por su volumen y naturaleza, en especial, orgánica, históricamente, los materiales acarreados por los efluentes, provocaban la abrupta disminución de los niveles de oxígeno de las aguas y el aumento de nutrientes en los cuerpos de agua, dando lugar, especialmente en el ERH al desarrollo de extensas proliferaciones algales y, en ocasiones, incluso a mortandades masivas de peces. Además de los impactos antrópicos, los factores naturales de la región también pueden afectar la calidad de las aguas del ERH. Cada verano, un significativo volumen de sedimentos inorgánicos y orgánicos entra al embalse mediante los ríos que nacen en las altas montañas de Catamarca, donde se producen copiosas precipitaciones estivales. Este fenómeno provoca un pronunciado aumento en la turbidez de la columna de agua, impidiendo la penetración solar y, por ende, alterando los procesos metabólicos de la flora acuática (fotosíntesis). Esto acelera la descomposición del material orgánico remanente, en ocasiones consumiendo la totalidad del oxígeno disuelto disponible, provocando anoxia, inviable para la supervivencia de las especies acuáticas del ERH.

Lograr una mejora en la calidad de las aguas del embalse, así como de los demás cuerpos de agua de la cuenca, fue una de las misiones primordiales de las provincias que la integran en el marco del Comité de la Cuenca del Río Salí-Dulce.

Desde el año 2001, comenzaron a implementarse los Programas Nacionales de Producción Limpia (2001-2003) y de Reconversión Industrial (2006-hoy), mediante acuerdos público-privados voluntarios, con el principal objetivo de

convertir la actividad industrial de Tucumán en sustentable para el medio ambiente.

A fines del año 2011, se firmaron dos importantes acuerdos: uno para la prevención de la contaminación de origen orgánico en el Embalse Río Hondo, entre la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Tucumán (SEMA) y los titulares de diez ingenios azucareros, que fue aprobado por la Res. 518/SEMA/27-12-2011 y convertido en la Ley 8470 de la Prov. de Tucumán, 02-01-2012, quedando establecido el “Plan vinaza cero-ceniza cero a cursos de agua, a partir de la zafra 2012 y vuelco cero del agua proveniente del lavado de caña, desde el año 2013”. El segundo acuerdo, tuvo carácter interprovincial e interinstitucional, entre la SEMA y la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero, con la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación como garante de su cumplimiento. El mismo enfatizó la premisa de trabajar, coordinadamente, en la reducción de la contaminación de origen industrial del Embalse de Río Hondo y sus tributarios.

Se describe aquí el impacto que tuvo la firma de dichos acuerdos a fines de 2011 en la calidad de las aguas del ERH.

Material y Métodos

Desde el año 2012, un equipo conformado por profesionales y técnicos de la Dirección de Monitoreo y Laboratorio Ambiental y la Dirección de Recursos Hídricos de la SEMA y de la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero, lleva a cabo un programa de seguimiento sistemático de la calidad del agua en 31 sitios estratégicos: 8-ERH, 12-afluentes, Tucumán, 8-Río Dulce, Santiago y 3-Laguna Mar Chiquita y tributarios, Córdoba (**Figura 1**).

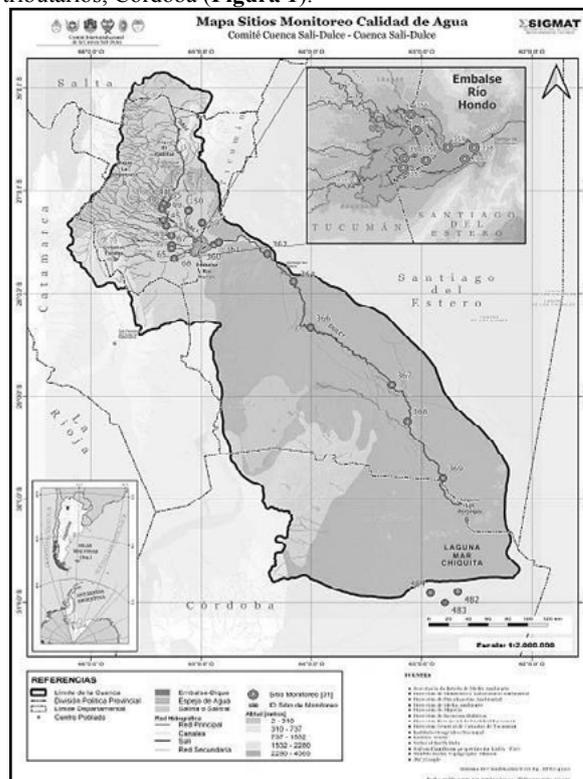


Figura 1.- Ubicación de los 31 sitios de monitoreo conjunto Tucumán-Santiago del Estero en la Cuenca del Río Salí-Dulce. En el recuadro superior-derecho, se observa, en detalle, el Embalse de Río Hondo y los 8 sitios de monitoreo dentro de su espejo de agua.

La SEMA, por su parte, monitorea periódicamente los vertidos industriales durante las zafras sucro-alcoholeras.

En cada sitio, se realizan mediciones *in situ* de parámetros físico-químicos con equipos uni y multiparamétricos: temperaturas ambiente y agua, potencial Hidrógeno-pH, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto (OD), turbiedad, sólidos disueltos totales y salinidad. Además, se colectan muestras de agua en envases de vidrio, tipo winkler, para la determinación de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅) en los laboratorios de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Los mapas son elaborados y los datos procesados mediante la plataforma digital Sistema Integral de Gestión Medio Ambiental Tucumán (SIGMAT[®]), diseñada por la SEMA.

En el presente trabajo, se investiga el comportamiento espacio-temporal de la concentración de OD y DBO₅ en las aguas del ERH como indicadores de su calidad, en respuesta a las variaciones de los aportes de material orgánico, principalmente, proveniente de las industrias emplazadas aguas arriba.

Resultados y Discusión

La **Figura 2** muestra la variabilidad de la concentración de oxígeno disuelto en los 8 sitios de monitoreo en el ERH, durante los últimos 12 años.

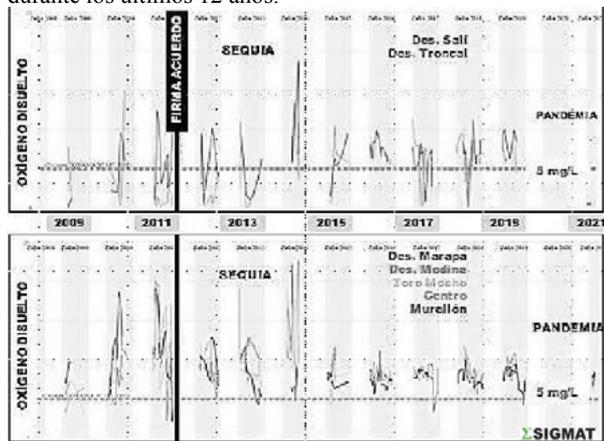


Figura 2.- Variabilidad espacio-temporal del nivel de oxígeno disuelto en las aguas del Embalse de Río Hondo, durante los últimos 12 años. En el gráfico superior, se representa el OD en las desembocaduras del Río Salí y Canal Troncal y, en el inferior, en el resto de los sitios. Se indica el valor de OD=5 mg/L como referencia (línea horizontal entrecortada), los períodos de zafra (gris) e interzafra (blanco), la fecha de firma de los acuerdos a fines del año 2011 (línea vertical sólida), la sequía regional del año 2013 y el período de pandemia de COVID-19.

Según los resultados, a partir del año 2015, se estabilizaron los valores de OD mayores a 4-5 mg/L, tolerables para el uso que se da a las aguas del ERH (clases 2-3, CONAMA N°357/2005/Brasil), excepto en las desembocaduras del Río Salí y Canal Troncal, donde continuaron ocurriendo episodios esporádico durante la zafra, con valores de OD inferiores al límite mencionado (**Figura 2**).

En la **Figura 3**, se representan las variaciones en la concentración de la DBO₅, mostrando también un significativo cambio en los valores desde el año 2015. En todas las estaciones de monitoreo del ERH disminuyó la demanda de oxígeno, lo cual permite inferir que la carga de materia orgánica en los cursos de agua receptores de los vertidos, fue decreciendo significativamente desde entonces. Esta mejora sustancial en la calidad del agua del ERH es el resultado de los controles permanentes de los técnicos y de las importantes inversiones del sector industrial para el tratamiento de sus efluentes. Según datos del Programa de Reconversión Industrial, a partir de los acuerdos firmados, NO se volcaron a ríos unos 2.200.000 m³ de material

orgánico que, en su lugar, fueron destinados a suelos tucumanos para enmienda y fertilizantes.

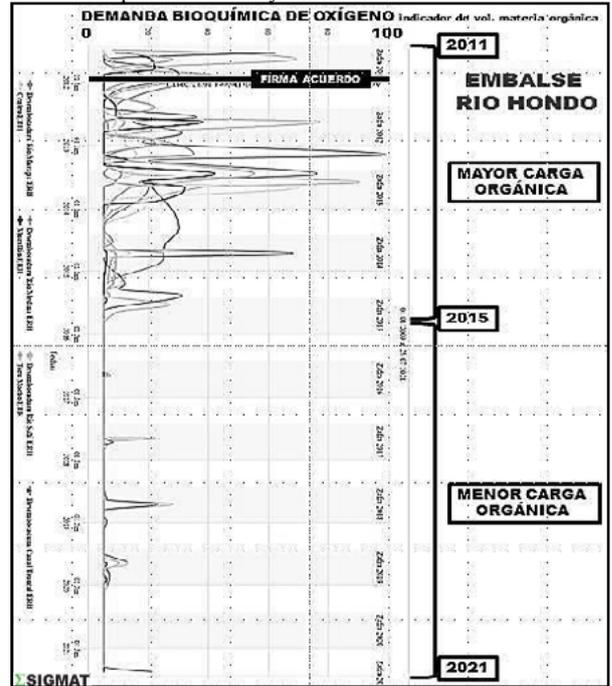


Figura 3.- Variabilidad de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅) en las aguas del Embalse de Río Hondo, durante los últimos 12 años. Se indican los períodos de zafra (gris) e interzafra (blanco) y la fecha de firma de los acuerdos a fines del año 2011 (línea horizontal sólida).

Durante más de 7 años, en el ERH no se registraron manchas rojas, negras, olores nauseabundos, ni mortandades masivas de peces. Estos logros permitieron el uso de las aguas del embalse, no sólo para riego, recreación y generación de energía hidráulica, sino también para consumo humano desde el año 2015, cuando se instaló una planta de potabilización que provee de agua potable a más de 500 familias del Departamento Río Hondo.

Además, desde el año 2016, funciona el Instituto de Investigación y Desarrollo Aplicado de Hidrobiología “Ing. Néstor R. Ledesma”, dependiente del Ministerio del Agua y Medio Ambiente de la Provincia de Santiago del Estero, sede del Monitoreo Permanente de la calidad de las aguas del ERH, y en cuyos laboratorios, se investigan las técnicas del cultivo de peces bajo condiciones controladas, con el objetivo de recuperar la población ictícola original del embalse.

Conclusión

La calidad del agua del ERH fue evolucionando desde hace 12 años como resultado de políticas ambientales que lograron una mejor gestión de los efluentes por parte de las principales industrias tucumanas (Programas de Reconversión Industrial y acuerdos año 2011). Una sustancial y sostenida mejora en la calidad del agua del ERH ocurrió a partir del año 2015, como revelan indicadores químicos (OD y DBO₅), lo que posibilitó dar usos adicionales al embalse, además de riego, recreación y generación de energía hidráulica ya existentes, se convirtió en fuente de agua potable para la población de la zona y se creó un instituto de investigación hidrobiológica, donde se realizan estudios científicos para la recuperación de la fauna ictícola original del ERH. Es importante continuar con el control y monitoreo permanente, como así también seguir mejorando el tratamiento industrial de los efluentes, para evitar los episodios esporádicos de deterioro de las aguas del ERH que tienen lugar, durante el período de zafra sucro-alcoholera, únicamente en las desembocaduras de dos afluentes (Río Salí y Canal Troncal).

Bibliografía

Consejo Nacional de Medio Ambiente CONAMA Brasil (2005). Res. N°357. Publicada en DOU53, Sec. 1, pp. 58-63.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE MONTAÑAS DE CUENCAS ENDORREICAS CON DIFERENTES COBERTURAS SUPERFICIALES

1^{er}. Panamá, Sofía 2^{do}. Bonansea, Matías 3^{er}. Asís, Inés 4^{to}. Patricia O'Mill 5^{to}. Ferral, Anabella

CONICET, Instituto Gulich, APRHI - Argentina
sofia.pana@unc.edu.ar bonanseamatias@gmail.com isisfa@hotmail.com anabella.ferral@gmail.com

Introducción

Garantizar el acceso a agua segura y saneamiento forma parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (Alcama, J.; 2019). Los cambios en los usos y coberturas de suelo, como la expansión agrícola o urbana, alteran los patrones de escurrimiento superficial en las cuencas hídricas, mientras que contribuyen a la proliferación de fuentes no puntuales de contaminación, pudiendo en consecuencia afectar la calidad del recurso hídrico. Esto limita el acceso a las necesidades básicas diarias de las comunidades locales de por ejemplo zonas de pesca, alimentos y agua potable (Maillard y Santos, 2008; Wilson, 2015; Alamdari et al. 2022). En el caso del río Suquía se encontró evidencia estadística que permitió interpretar la variabilidad de la calidad del agua a lo largo de la cuenca a partir de la configuración del uso del suelo en los alrededores del punto de muestreo (Paná et al, 2022). Sin embargo, no se registran estudios en esta línea en la cuenca del río Xanaes.

En ese contexto, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis a la calidad del agua de dos cuencas endorreicas de montaña, a partir de la implementación de un Índice de Calidad del Agua (ICA), e indagar su relación con las coberturas y usos del suelo a escala de cuenca en los ríos Suquía y Xanaes.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Los ríos Suquía y Xanaes, nacen en las Sierras Grande y Sierra de Comechingones en la provincia de Córdoba, Argentina (Figura 1) y desembocan en la Laguna Mar Chiquita al noreste provincial. Estos ríos abastecen de agua potable a la ciudad de Córdoba y otras poblaciones de zona serranas y de llanura localizadas a lo largo de las cuencas. El recurso hídrico que proveen es utilizado además para la producción de energía, agricultura y ganadería, pesca, actividades recreativas, cumpliendo también funciones para la vida silvestre y de los ecosistemas.

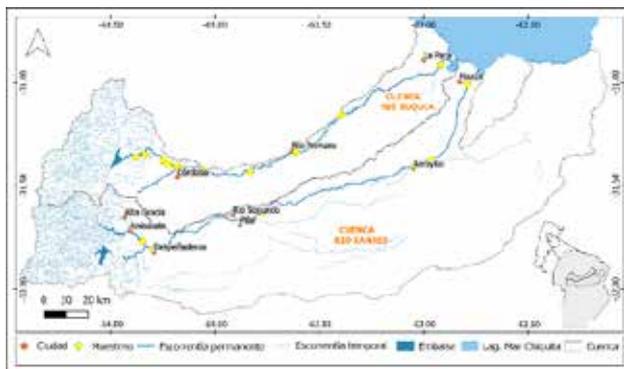


Figura 1. Área de estudio.

Variables de calidad de agua

Se utilizó un conjunto de datos proporcionado por la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHI), que contiene mediciones a campo de conductividad, turbidez y oxígeno disuelto tomadas a frecuencia estacional para el periodo 2018-2019. Se incluyeron 11 sitios de

muestreo sobre el río Suquía y 6 sitios sobre el Xanaes (Figura 1).

Índice de Calidad de Agua

El índice fue implementado en R (R, 2020) en base a lo desarrollado por Pesce S.F. & Wunderlin D.A. (2000). La Ecuación [1] presenta la fórmula del ICA, utilizado mientras que la Tabla 1 proporciona los coeficientes y pesos asignados a cada variable de calidad del agua utilizada para su cálculo.

$$ICA = \frac{\sum C_i x_i P_i}{\sum P_i} \quad [1]$$

C_i representa el valor asignado a cada parámetro (x) tras la normalización, y P_i es el peso relativo asignado a cada parámetro.

Tabla 1.- Factor de normalización (C_i) y peso relativo de los parámetros considerados para calcular el Índice de Calidad del Agua

Parámetro	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Turbidez	
Peso relativo	4	2	4	
Factor de normalización (C_i)	100	<750	≥7.5	<5
	90	<1000	> 7	<10
	80	<1250	> 6.5	<15
	70	<1500	> 6	<20
	60	<2000	> 5	<25
	50	<2500	> 4	<30
	40	<3000	> 3.5	<40
	30	<5000	> 3	<60
	20	<8000	> 2.0	<80
	10	≤12000	≥1.0	≤100
	0	> 12000	<1.0	>100

El ICA resume la variación de la calidad del agua combinando los efectos de diferentes parámetros fisicoquímicos, en este caso, se presenta en su forma reducida en el cual se contemplan tres variables claves. Conductividad, la cual es sensible al paso del río por la cuenca, representando la componente inorgánica. Oxígeno disuelto, variable que representa la componente orgánica, sensible a los coliformes fecales. Por último, la turbidez, la cual refleja los efectos del tipo de suelo, la erosión y la actividad agrícola

Usos y coberturas de suelo

El mapa de usos y coberturas del suelo de las cuencas de los ríos Suquía y Xanaes fue desarrollado por la infraestructura de Datos Espaciales Córdoba (IDECOR) y se obtuvo del geoportal oficial de la provincia de Córdoba (<https://www.mapascordoba.gob.ar/#/descargas>). Su resolución original es de 1 ha y ha sido reescalado a 10 m de resolución espacial. Se reconocen 21 clases de usos y coberturas de suelo: Monte; Matorral/Arbustal; Pastizal Natural; Arbustal/Pastizal natural con rocas o suelo desnudo; Roca; Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal; Salina; Cuerpo de Agua; Zona anegable; Curso de Agua; Urbano compacidad alta; Urbano compacidad

media; Urbano compacidad baja; Urbano compacidad muy baja o abierta; Infraestructura vial; Cultivo extensivo anual; Cultivo anual irrigado; Pastura Implantada; Pastura natural manejada; Cultivo Hortícola Multiespecífico y Plantación Forestal.

Resultados y discusión

La Figura 2 muestra los resultados del ICA obtenidos para ambas cuencas y los usos de suelo a nivel de cuenca. Los valores más bajos del índice (peor calidad) se presentaron en la cuenca del río Suquia en relación con la porción más urbanizada del área de estudio. En particular el área donde se localiza Bajo Grande, la planta de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Córdoba, mostró los valores más bajos. Los valores más altos del ICA (mejor calidad) corresponden a las estaciones de muestreo localizadas aguas arriba en ambas cuencas. En general los valores del índice obtenidos en el río Xanaes fueron mejores que para el Suquia.

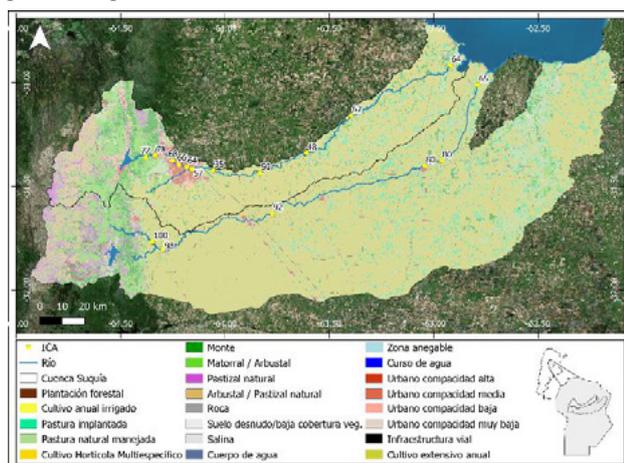


Figura 2. Usos y Coberturas de suelo IDECOR y valor del índice de calidad de agua para ambas cuencas

La Tabla 2 presenta el porcentaje de superficie para las diferentes coberturas en ambas cuencas. Se observa que la cuenca del río Suquia es impactada por actividades antrópicas como urbanización (6.7 % sumando estas clases) y cultivo extensivo anual (49.01 %), mientras que en la cuenca del río Xanaes la urbanización representa menos del 1%, y el cultivo extensivo anual el 66.79 % del total de superficie. Es importante destacar que a medida que el río Xanaes entra en la zona de mayor influencia de cobertura agraria, el índice de calidad de agua baja de 100 a 65 en la región de la desembocadura. En el caso del Río Suquia, este efecto no es tan evidente debido al bajo valor de índice que se registra luego del paso del río por la ciudad de Córdoba y por la zona de descarga de efluentes derivados de la planta de tratamiento cloacal de Bajo Grande (ICA = 35). Por este motivo, se observa primero un deterioro del índice y luego una recuperación hasta valores casi idénticos que los encontrados para el río Xanaes en su desembocadura (alrededor de 64). Cabe resaltar, que la configuración de cobertura del suelo en la región de la desembocadura de ambos ríos es muy similar, con predominancia de las clases Cultivo extensivo anual y Zona anegable.

Consideraciones finales

El monitoreo de la calidad del agua de los ríos a diferentes escalas temporales y espaciales permite detectar cambios, asociarlos a fuentes naturales o antrópicas y, en función de esto, definir estrategias de conservación destinadas a diferentes usos. La gestión efectiva y sostenible de las cuencas hidrográficas y de los recursos hídricos, que incluya la planificación de los cambios en

las coberturas y uso del suelo, se logrará solo mediante la colaboración efectiva entre actores clave, como los gobiernos, el sector privado, las comunidades locales y las instituciones científicas.

Tabla 2.- Porcentaje de usos por cuencas

Clases de usos y coberturas de suelo	% de superficie	
	Suquia	Xanaes
Monte	8,83	3,84
Matorral/Arbustal	13,49	6,71
Pastizal Natural	3,06	2,5
Arbustal/Pastizal natural con rocas o suelo desnudo	5,66	2,19
Roca	0,89	0,55
Suelo desnudo o con baja cobertura vegetal	0,23	0,1
Salina	-	-
Cuerpo de Agua	0,34	0,19
Zona anegable	0,12	0,11
Curso de Agua	0,51	0,27
Urbano compacidad alta	2,42	0,14
Urbano compacidad media	1,71	0,25
Urbano compacidad baja	1,5	0,26
Urbano compacidad muy baja o abierta	1,07	0,08
Infraestructura vial	0,82	0,63
Cultivo extensivo anual	49,01	66,79
Cultivo anual irrigado	-	-
Pastura Implantada	3,48	5,85
Pastura natural manejada	6,36	9,04
Cultivo Hortícola Multiespecífico	0,17	0,02
Plantación Forestal	0,24	0,35

Referencias Bibliográficas

- Alamdari, N., Claggett, P., Sample, D. J., Easton, Z. M., & Yazdi, M. N. (2022). *Evaluating the joint effects of climate and land use change on runoff and pollutant loading in a rapidly developing watershed*. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129953.
- Alcama, J. (2019). *Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals*. *Current opinion in environmental sustainability*, 36, 126-140.
- Maillard, P., & Santos, N. A. P. (2008). *A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed-Brazil*. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 158-170.
- Paná, S., Ferral, A., Marinelli, M. V., Petrosillo, I., del Valle Asís, I., Roqué, M., & Bonansea, M. (2022, September). *Study of the impacts of Land Use-Land Cover on surface water quality based on field data and satellite information*. *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)* (pp. 1-7).
- Pesce S.F. & Wunderlin D.A. (2000). *Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River*. *Water Res.* 34, 2916-2926.
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Wilson, C. O. (2015). *Land use/land cover water quality nexus: quantifying anthropogenic influences on surface water quality*. *Environmental monitoring and assessment*, 187(7), 1-23.

APORTES DE FLÚOR DE LA MINA LA NUEVA, AL ARROYO LAS CATITAS, SIERRAS DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Lucía Paredes^{1,2,3}, Raúl E. Paredes³

¹ Laboratorio de Hidro-Meteorología (LHM), FCEFYN, de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

² Laboratorio de Hidráulica (LH), FCEFYN, de la Universidad Nacional de Córdoba. Bv. Juan Filloy s/n, Córdoba, Argentina.

³ Observatorio Hidro-Meteorológico de la Provincia de Córdoba (OHMC), Ituzaingó 1300, Córdoba, Argentina.

Universidad Nacional de Córdoba. Av. Haya de la Torre s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

E-mail: geol.luciaparedes@gmail.com, raul.paredes@unc.edu.ar.

El flúor (F), contenido en minerales, puede pasar al agua y a través de su ingesta, a los seres vivos por fenómenos naturales y/o antrópicos (Ponce et al., 2010). El arroyo Las Catitas, afluente del Río Los Chorillos, nace en el yacimiento de fluorita (mina "La Nueva"), perteneciente al complejo Cabalango del distrito minero "La Ciénaga" o "Cabalango", pedanía San Roque, Punilla, Sierras Pampeanas Orientales, Córdoba, Argentina.

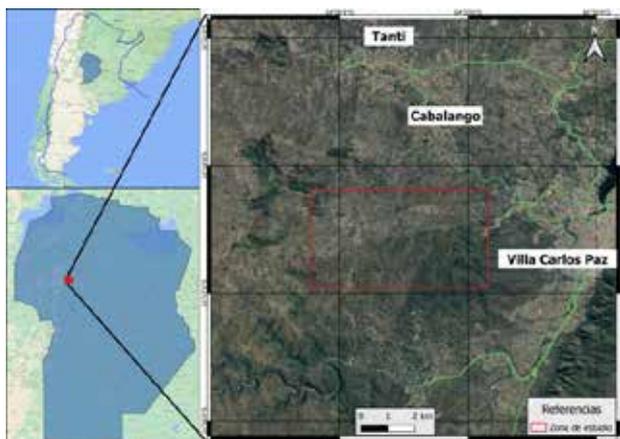


Figura 1.- Ubicación del área de estudio.

Los principales depósitos de fluorita de las Sierras de Córdoba se hospedan en rocas monzograníticas del magmatismo Devónico, principalmente en los batolitos de Achala y Cerro Áspero. La presencia de F en cauces de estas áreas correspondería a la disolución de minerales ricos en este elemento. La composición de flúor en los minerales primarios como la biotita y moscovita pueden contener aproximadamente 1% en peso de F, en tanto que el contenido en los minerales accesorios varía, como en la fluorapatita (~1.5% en peso), apatita (~4% en peso), topacio (~11.5% en peso), y fluorita (~48% en peso) (Bailey, 1984, en García et al., 2011). Se determinó que estas mineralizaciones de fluorita, vías de circulación de aguas subterráneas, aportan F a los cauces de la cuenca donde se emplazan.

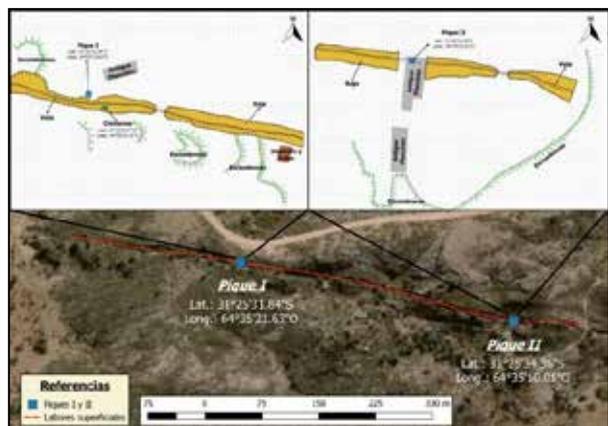


Figura 2.- Mina "La Nueva". Imagen satelital y plano de labores superficiales.

Geología del área de estudio

La zona de trabajo se encuentra en el faldeo oriental de las Sierras Grandes. El área está integrada por bloques ascendidos y basculados, divididos por fallas longitudinales y transversales que afectan a las rocas graníticas como a las metamorfitas encajonantes. Geomofológicamente, el factor o agente modelador más importante es el agua de escurrimiento, que está sometida en su dinámica, a un fuerte control estructural.

La red de drenaje obtenida se puede dividir el área en dos sectores bien diferenciados, lo que corresponderían a la roca granítica y metamórfica respectivamente. El primero exhibe una disposición angular, con transiciones a rectangular. En tanto que en el otro sector, es angular dendrítico con cierta orientación dada por la esquistosidad de la roca.

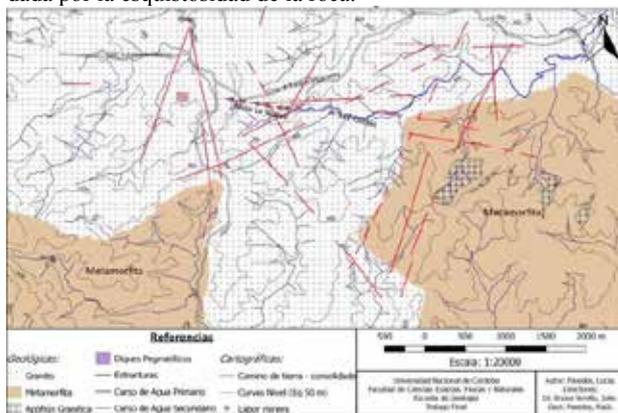


Figura 3.- Fotoplano geológico del área.

Objetivos

- Establecer el aporte de flúor del yacimiento a la cuenca del Dique San Roque.
- Establecer si la cantidad de fluoruros, contenidos en el agua que abastece el campamento minero, es apto para consumo humano.
- Verificar si existe variaciones de concentración de flúor, aguas abajo de la naciente del arroyo Las Catitas, por dilución de otros aportes.
- Evaluar las problemáticas de exceso o deficiencia de flúor en el agua de consumo humano.

Metodología de trabajo

A efectos de determinar la dispersión del F, se realizó un muestreo desde su nacimiento hasta 4.3 km aguas abajo, después de recibir aportes de otros escurrimientos intermontanos.

Teniendo en cuenta las características hidrogeológicas, vías de acceso posibles y tomando como base cartográfica los mapas hidrológicos generados de imágenes satelitales, se ubicaron los puntos donde se recolectaron las muestras de aguas del arroyo. Los mismos fueron seleccionados basados en la cartografía mencionada, atendiendo distintas escorrentías que fluyen al

arroyo Las Catitas. Esto generaría que hubiese una mezcla de aguas de diferentes aportes, lo que pudiera hacer que las concentraciones de flúor de la misma variarían aguas abajo.

Luego de definir los 3 puntos de muestreo, se procedió al trabajo de campo. Las muestras recolectadas se conservaron refrigeradas hasta su posterior envío al laboratorio.

Aportes de Flúor de la mina La Nueva

El propósito de esta investigación es contribuir a determinar si las estructuras mineralizadas con fluorita colaboran, junto a otros minerales, en el aporte de flúor a las aguas de cauces que las atraviesan. De esta forma se realiza una contribución a establecer una base de línea ambiental para este elemento tan importante para la salud bucal.

El flúor, en forma de fluoruros, es beneficioso o pernicioso por exceso, para la salud. Ante su deficiencia se incorpora al agua potable y en productos dentales, para la prevención de caries. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda como valor de referencia para el fluoruro en agua de consumo humano, esté comprendido entre 0,5 a 1,5 mg/L (OMS 1993, 1996b). El Código Alimentario Argentino (CAA) en el Capítulo III, artículo 156 establece valor máximo para los alimentos, para el F es de 1,5 mg/kg; y en su Capítulo XII, artículo 982 de acuerdo a las temperatura promedio de cada región teniendo en cuenta el consumo diario de bebida. Córdoba tiene una temperatura media anual de aproximadamente 18°C estableciendo para esta región 1,2 mg/l.

A bajas concentraciones resulta favorable para la prevención de formación de caries, en tanto que la ingesta prolongada con concentraciones superiores a 1,5 mg/L de F, da lugar a la aparición de un cuadro clínico denominado Fluorosis (Gallará et al., 2011).

Discusión

El arroyo Las Catitas nace en forma de vertiente en la mina, en donde mineros del campamento construyeron un brocal precario. Al brotar luego de haber recorrido la estructura mineralizada (inundada en el presente), se tomó la primera muestra (A1) en ese sitio para constatar el contenido de flúor que aporta la mineralización. Los puntos que le siguieron (A2 y A3) fueron extraídas aguas abajo, a efectos de determinar la presencia de fluoruros y establecer si existían incrementos o diluciones por aportes de otros afluentes al arroyo.

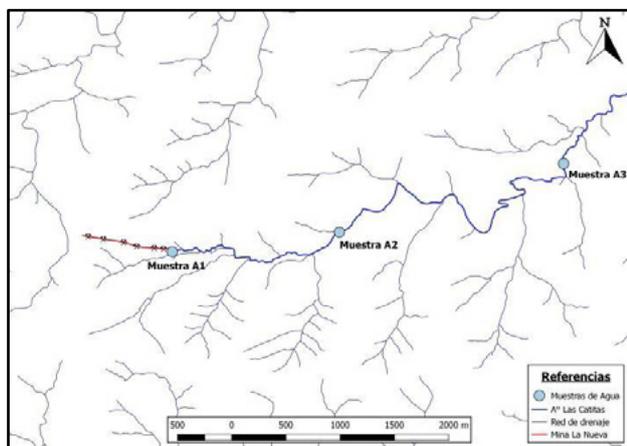


Figura 4.- Puntos de Muestreo

Resultados Químicos y su Análisis

Del resultado de los análisis químicos realizados se comprobó que los aportes a la cuenca no son significativos, encontrándose dentro de los valores aceptados a excepción de la obtenida en el brocal de la mina.

Tabla 1.- Resultados de los análisis químicos del agua.

Muestra	Parámetro	Resultado	Método de ensayo
A1	Fluoruro (mg/L)	2,28	SM23 4500 F-E 4120 A-B FLUJO SEGMENTADO
A2	Fluoruro (mg/L)	1,44	SM23 4500 F-E 4120 A-B FLUJO SEGMENTADO
A3	Fluoruro (mg/L)	1,25	SM23 4500 F-E 4120 A-B FLUJO SEGMENTADO

Conclusiones

- La presencia de flúor, aportado al Arroyo Las Catitas, se debe a la fluorita del yacimiento.
- De acuerdo a resultados de laboratorio obtenidos, se desprende que de reactivarse la explotación del yacimiento, no podrá abastecerse de agua para consumo del personal, al menos del brocal (muestra A1).
- Los resultados de los análisis químicos, aguas abajo del brocal (muestras A2 y A3) demuestran el efecto de dilución en las concentraciones de flúor por aportes de otros cauces, hasta alcanzar valores comprendidos dentro de los parámetros admisibles para el consumo humano.
- Comparando los valores de flúor obtenidos en el Arroyo Las Catitas, con los de otras regiones del norte de Córdoba, donde la fluorosis por ingesta de aguas superficiales y de pozos constituye un serio problema, en el área de estudio no representa un riesgo significativo para la salud de la población.

Referencias

Gallará R. V., Piazza L. A., Piñas M. E., Barteik M. E., Moncunill I., Ponce R. H. (2011). "Fluorosis endémica en zonas rurales del norte y noreste de la Provincia de Córdoba, Argentina". Revista de Salud Pública, (XV) 1:40-48, junio 2011.

Código Alimentario Argentino (CAA). 1969. Ley 18284, Poder Ejecutivo Nacional (P.E.N).

Ponce R.H., Piazza L.A., Maillat A., Centeno V.A., Piñas M.E., Barteik M.E., Moncunill I., García M.G., Lecomte K.L., Gallará R.V. (2010). "Promoviendo la salud bucal en una zona de fluorosis endémica". Eje temático: Articulación entre extensión, docencia e investigación.

WHO. (1993). Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 1. Recommendations. Geneva, World Health Organization.

WHO. (1996b). Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD GENERALIZADORA DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA SIMULACIÓN DE UN FILTRO DE ADSORCIÓN

Jorge Pellegrini, Belén Arévalo, Sol Petrole y Jorge de Celis

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, Buenos Aires, Argentina
jpellegrini@fra.utn.edu.ar

Introducción

En los últimos años, se ha evidenciado el impacto de la contaminación industrial en la calidad de vida de las personas, así como en la flora y fauna circundante (Asomaku, 2023; Armijos et al., 2022). Entre los diferentes contaminantes, los metales pesados destacan debido a sus efectos adversos en la salud humana (Li et al., 2022). Por lo tanto, resulta imperativo llevar a cabo el tratamiento de los efluentes que contienen estos compuestos.

Existen diversas técnicas utilizadas para dicho fin, como la sedimentación, la oxidación, la adsorción, entre otras (Daneshvar et al., 2019). La adsorción es una técnica de gran aplicabilidad en el tratamiento de efluentes en virtud de su sencillez operativa y costo reducido. Adicionalmente, se destaca por su capacidad de remover contaminantes presentes en soluciones diluidas, otorgándole así un atractivo considerable para la purificación de aguas residuales (Jangkorn et al., 2022).

Sin embargo, su diseño y optimización presentan desafíos significativos debido a la necesidad de recopilar una gran cantidad de datos, bajo diferentes condiciones operativas, para modelar el comportamiento del filtro (Zhang, 2023).

En este contexto, el objetivo del trabajo consiste en evaluar la capacidad generalizadora de un modelo de inteligencia artificial para predecir el comportamiento de un filtro de adsorción, bajo condiciones diferentes a las cuales fue entrenado. De esta manera, se investiga la viabilidad de obtener información acerca del comportamiento del filtro utilizando una cantidad reducida de datos.

Metodología

En los ensayos para la generación de las curvas de rompimiento, se emplea el cromo hexavalente como adsorbato y el carbón activado como adsorbente. El sistema experimental consiste en una columna de vidrio a la que se le incorpora el carbón activado sostenido por esferas de vidrio que promueven la homogeneización del flujo. La columna se conecta a una bomba peristáltica y, una vez que se establece el flujo con agua destilada, se lleva a cabo el ensayo de escalón, que consiste en cambiar el caudal actual por uno de igual magnitud, pero con una concentración constante de cromo hexavalente. Se toman muestras a diferentes intervalos de tiempo y se mide la concentración mediante espectroscopia UV-visible, lo que permite obtener las correspondientes curvas de rompimiento.

Se utiliza Python como lenguaje de programación y Jupyter Notebook como entorno de ejecución. El conjunto de datos comprende 6 curvas de rompimiento obtenidas a diferentes caudales, variando también la concentración inicial de cromo hexavalente y la masa de carbón activado.

Se aplica una estandarización estándar al conjunto de datos para mitigar las disparidades de escalas de las variables, y así evitar problemas de magnitud y distribución en la creación del modelo.

Para la creación del modelo se realiza una división de los datos en dos partes: un conjunto de entrenamiento y un conjunto de validación. El conjunto de entrenamiento se utiliza para definir el hiperparámetro del modelo. Luego, el conjunto de validación se emplea para evaluar la capacidad predictiva del modelo ya

creado (Damiati et al., 2019). La división empleada es de 70-30 respecto a los datos de entrenamiento y validación.

Perceptrón multicapa es el modelo de machine learning empleado. Es una técnica que consiste en emular el funcionamiento de las neuronas utilizando pasos matemáticos. Esta metodología involucra la propagación de información entre neuronas y el empleo de una función de activación que simula la sinapsis (Zhu et al., 2019). El hiperparámetro del modelo es la cantidad de neuronas en la capa oculta, el cual influye en la complejidad de la red neuronal.

Para ajustar el hiperparámetro del modelo se emplea búsqueda de grilla con validación cruzada como técnica de optimización (Bishop, 2006; Jordan and Mitchell, 2015). La búsqueda de grilla consiste en generar un conjunto de posibles valores para cada hiperparámetro a ajustar, para luego generar todas las combinaciones posibles de esos valores y finalmente se evalúa la combinación con mayor desempeño. La validación cruzada es una técnica empleada para evaluar el desempeño del modelo evitando el sobreajuste y subajuste a los datos. Esto se logra entrenando y evaluando el modelo múltiples veces con particiones diferentes. Se elige una partición de 3. El coeficiente de determinación R2 se emplea como métrica para evaluar el rendimiento del modelo de predicción.

Resultados

La Figura 1 muestra la grilla empleada. El valor obtenido a través de la validación cruzada es de 200000 neuronas y el R2 del entrenamiento y validación son de 0.93 y 0.94 respectivamente.

```
neuronas_capa_oculta = [50000, 100000, 200000, 500000, 700000]
```

Figura 1.- Información utilizada para la búsqueda de grilla.

Obtenido el modelo, se realiza la predicción de una curva de ruptura que no ha sido utilizada durante el entrenamiento y la validación. De esta manera, se evalúa su capacidad de generalización para establecer una relación entre la masa de carbón, el caudal y la concentración inicial del adsorbato con el fin de simular el proceso de adsorción. El resultado se muestra en la Figura 2.

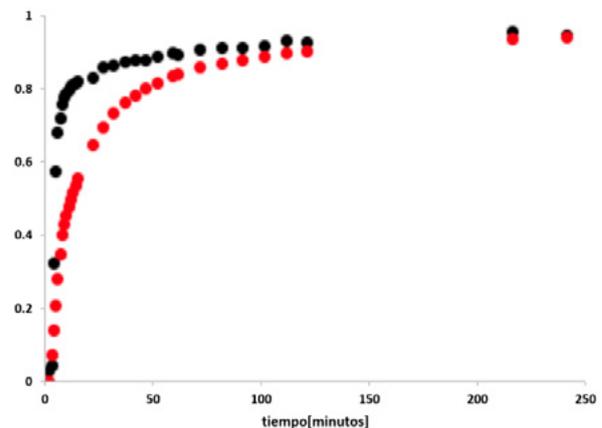


Figura 2.- Datos experimentales (negro) vs predicción del modelo (rojo).

Análisis

Analizando la grilla empleada, al no encontrarse el valor óptimo en los extremos de la grilla indica que se alcanzó un mínimo local. Respecto a los valores de R², que sean resultados simulares indica que no hubo sesgo en la creación del modelo.

El número elevado de neuronas obtenidas en el modelo implica que es un problema complejo de alta dimensionalidad. Esto sugiere que es apropiado el uso de las técnicas de aprendizaje profundo empleadas en el presente trabajo para abordar la problemática planteada.

Al observar la figura 2, se puede apreciar cómo el modelo es capaz de predecir de manera satisfactoria la saturación inicial y final del carbón activado, presentando desviaciones a los datos en la zona intermedia. El modelo logra capturar exitosamente el fenómeno de la saturación inicial, que es un proceso rápido y depende principalmente de la porosidad externa del carbón activado. Este proceso más simple pudo ser aprendido durante el entrenamiento, lo que permite realizar pronósticos precisos en esa etapa. De manera similar, el modelo también puede predecir satisfactoriamente la saturación final del adsorbente, ya que esta depende de la superficie dentro de los poros y de los sitios activos disponibles. Estas relaciones fueron aprendidas por el modelo, logrando determinar adecuadamente el momento en que el adsorbente alcanza su saturación. Sin embargo, en la zona intermedia, se observan disparidades entre los datos simulados y los datos experimentales. Esto se debe a que la difusión dentro de los poros es un proceso altamente complejo que está influenciado por varios factores, como la superficie del carbón, el gradiente de concentración hacia el interior del adsorbente y la tortuosidad, que se reflejan como la resistencia a la difusión dentro del poro. Este fenómeno complejo es sensible tanto al caudal como a la concentración inicial del adsorbato. Es posible que la cantidad de datos utilizados para crear el modelo no haya sido suficiente para capturar todas estas relaciones y complejidades, lo que explica las disparidades observadas en esta zona.

Conclusiones

Esta investigación muestra cómo, a pesar de contar con un conjunto de datos reducido, se lograron establecer relaciones en alta dimensionalidad y obtener pronósticos satisfactorios. Dado que se trata de un problema con alta dimensionalidad y una notable variabilidad, fue necesario utilizar una red neuronal de gran tamaño, lo que resalta la importancia de emplear técnicas de aprendizaje profundo.

Avanzar con esta investigación tiene implicaciones significativas, ya que se podría desarrollar una técnica que reduzca la cantidad de experimentos necesarios para describir el comportamiento de un filtro para ser utilizado en el tratamiento de efluentes. Esto permitiría ahorrar tiempo y reducir los residuos generados en el proceso de desarrollo de dicha tecnología.

Referencias

- Armijos, C., Tapia, W., & Alexandrino, K.** (2022). "Assessment of airborne metal pollution in urban parks and industrial areas using *Callistemon citrinus* and *Acacia melanoxylon*". *Applied Geochemistry*, 139, 105263.
- Asomaku, S. O.** (2023). "Quality assessment of groundwater sourced from nearby abandoned landfills from Industrial City in Nigeria: Water pollution indices approach". *HydroResearch*, 6, 130-137.
- Bishop, C. M.** (2015). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Damiati, S. A., Alaofi, A. L., Dhar, P., & Alhakamy, N. A.** (2019). "Novel machine learning application for prediction of membrane insertion potential of cell-penetrating peptides". *International Journal of Pharmaceutics*, 567, 118453.

Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Kousha, M., Hashtjin, A. M., Saratale, G. D., Maiti, A., ... & Bhatnagar, A. (2019). "Hexavalent chromium removal from water by microalgal-based materials: adsorption, desorption and recovery studies". *Bioresource technology*, 293, 122064.

Jangkorn, S., Youngme, S. And P. Praipipat. (2022). "Comparative lead adsorptions in synthetic wastewater by synthesized zeolite A of recycled industrial wastes from sugar factory and power plant". *Heliyon*, Vol. 8. E09323.

Jordan, M.I. and T.M. Mitchell (2015). "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects". *Science*, Vol. 349, pp. 255-260.

Li, F. J., Yang, H. W., Ayyamperumal, R., & Liu, Y. (2022). "Pollution, sources, and human health risk assessment of heavy metals in urban areas around industrialization and urbanization-Northwest China". *Chemosphere*, 308, 136396.

Wentao Zhang, W., Huang, W., Tan, J., Huang, D., Ma, J. And B. Wu (2023). "Modeling, optimization and understanding of adsorption process for pollutant removal via machine learning: Recent progress and future perspectives". *Chemosphere*, Vol. 311, 137044.

Zhu, X., Wang, X., & Ok, Y. S. (2019). "The application of machine learning methods for prediction of metal sorption onto biochars". *Journal of hazardous materials*, 378, 120727.

REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUA MEDIANTE COLUMNAS EMPACADAS CON CARBÓN ACTIVADO: ANÁLISIS Y MODELADO

Jorge Pellegrini, Sol Petrole, Belén Arévalo y Jorge de Celis

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Avellaneda, Buenos Aires, Argentina
E-mail: jpellegrini@fra.utn.edu.ar

Introducción

A nivel mundial, la contaminación hídrica representa uno de los principales desafíos ambientales, siendo la generación de efluentes industriales una de las causas más importantes de esta problemática (Saravanakumar et al., 2022). Dentro de los contaminantes presentes en estos efluentes se puede encontrar al cromo hexavalente, el cual es generado por industrias relacionadas al curtido de pieles y la galvanoplastia, entre otras (Ali, 2018).

El cromo hexavalente, al ser soluble en agua, presenta una alta toxicidad debido a su capacidad de penetrar la membrana biológica del cuerpo humano. Esto conlleva a una variedad de efectos mutagénicos y carcinogénicos (Das et al., 2011; Mohanty et al., 2023).

Para su remoción de efluentes líquidos existen diferentes técnicas como la precipitación, ósmosis inversa, extracción de solventes y adsorción (Owalude et al., 2016). Esta última se destaca por sobre las demás técnicas por su simplicidad y bajo costo (Li et al., 2007).

El objetivo del trabajo consiste en la elaboración de un sistema de filtración. La primera parte comprende la síntesis del material adsorbente, seguida del estudio de la adsorción del cromo hexavalente empleando modelos tradicionales y de inteligencia artificial a los datos obtenidos de los ensayos experimentales.

Metodología

Como material adsorbente se emplea carbón activado obtenido a partir de la cascara de nuez. Se lo elige por su alta superficie específica y capacidad para la adsorción (Tu et al., 2020). Su síntesis comienza con la impregnación de la cáscara de nuez con ácido ortofosfórico 50% m/m. Posteriormente se lleva a cabo una etapa de calentamiento gradual, donde las muestras se llevan, en estufa, a una temperatura de 110°C durante dos horas, seguido de un aumento de temperatura hasta 400 °C en mufla, manteniéndola constante durante una hora.

Para el análisis del adsorbente, se lleva a cabo una espectroscopia infrarroja con el fin de investigar el desarrollo de los grupos funcionales. Además, se utiliza el método de inyección de mercurio para obtener la distribución poral.

Los ensayos experimentales consisten en la generación de curvas de ruptura, las cuales se obtienen al pasar un caudal de concentración de cromo hexavalente constante a través de un medio filtrante hasta que el adsorbente alcance la saturación. Dichas curvas representan la fracción de la concentración de cromo hexavalente a la salida del filtro con respecto a la concentración presente antes del filtro, en función del tiempo transcurrido. El sistema de filtración utilizado se compone de un cilindro de vidrio que contiene el carbón activado, el cual está soportado por una capa de lana de vidrio. El espacio restante dentro del cilindro se llena con esferas de vidrio, cuya función es homogeneizar el perfil del flujo a través de la columna.

El ajuste a los datos experimentales se realiza en parte utilizando los modelos tradicionales de Yoon-Nelson, Bohart-Adamas y Bed Depth Service Time. La expresión del modelo de Yoon-Nelson es:

$$\frac{C_t}{(C_0 - C_t)} = k_{YN} \cdot t - \tau \cdot k_{YN} \quad [1]$$

Siendo, C_T la concentración en el tiempo t (ppm); C_0 es la concentración inicial (ppm); k_{YN} es la constante de velocidad de Yoon-Nelson (min^{-1}); τ es el tiempo requerido para que la curva alcance un 50% de su valor máximo (min); y t representa el tiempo transcurrido (min).

El modelo de Bohart-Adamas y Bed Depth Service Time se muestran en las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp(\alpha - \beta \cdot t)} \quad [2]$$

$$t = \frac{N_0}{C_0 \cdot u} \cdot Z - \frac{1}{K_{BDST} \cdot C_0} \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) \quad [3]$$

Siendo α y β los parámetros del modelo de Bohart-Adamas; Z es la profundidad del lecho (cm); N_0 es la capacidad dinámica (mg g^{-1}) y K_{BDST} la constante de la tasa de adsorción ($\text{g min}^{-1} \text{mg}^{-1}$).

Para llevar a cabo las simulaciones utilizando inteligencia artificial se emplean modelos de redes neuronales y random forest.

La red neuronal es un modelo que busca establecer una analogía con el funcionamiento del cerebro humano mediante expresiones matemáticas. La sinapsis de las neuronas se lleva a cabo a través de una función de activación, en este caso, se ha elegido la función sigmoidea. El paso de información de una neurona a otra se realiza mediante una suma ponderada que tiene en cuenta las contribuciones sinápticas de cada neurona, mediante la implementación de pesos sinápticos. El modelo está compuesto por neuronas interconectadas para predecir la curva de ruptura correspondiente (Bishop y Nasrabadi, 2006).

El algoritmo de random forest consta de varios árboles de decisión. El algoritmo establece el resultado basado en las predicciones de los árboles de decisión individuales. La predicción se realiza tomando el promedio de la salida de varios árboles (Ghaedi et al., 2014).

Para definir los dos modelos de inteligencia artificial, se lleva a cabo una normalización estándar de los datos. A continuación, se dividen los datos en dos conjuntos. Un conjunto de entrenamiento que se usa para definir los modelos y un conjunto de prueba que se utiliza para evaluar la capacidad predictiva de los mismos.

El coeficiente de determinación R^2 se emplea como métrica para evaluar los rendimientos de los modelos de predicción.

Resultados y Análisis

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos mediante el método de inyección de mercurio aplicado al carbón activado. La presencia de macro y micro poros exhiben el desarrollo de una extensa superficie interna, lo cual indica la disponibilidad de superficie para la adsorción.

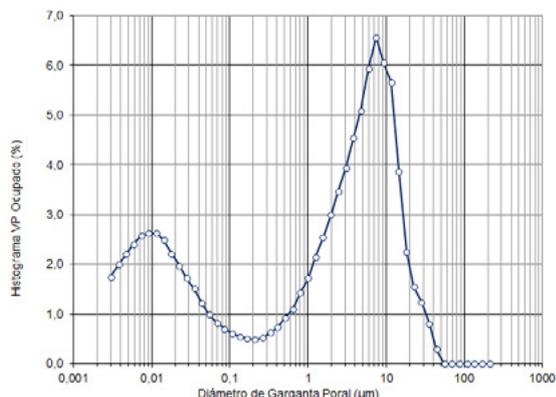


Figura 1.- Histograma de VP(Volumen proal) ocupado..

Mediante la utilización de espectroscopia infrarroja (Figura 2) se observa un notable desarrollo de funcionalidades ácidas oxigenadas, que incluyen grupos carboxílicos, lactonas y fenoles (Guo y Rockstraw, 2007). Además, se aprecia la formación de estructuras con características básicas.

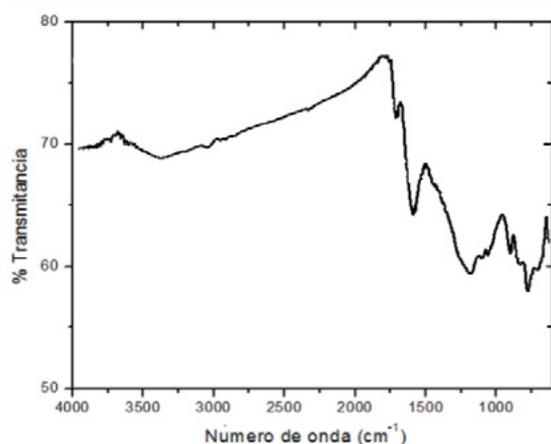


Figura 2.- Espectro IR del carbón activado

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de los modelos empleados. Los ajustes de las curvas de rompimiento indican que los procesos difusivos son un factor importante en los experimentos de lecho fijo, debido a que la turbulencia generada por el flujo a través del lecho disminuye la resistencia en la capa externa. Los modelos de inteligencia artificial presentaron un mejor desempeño que los modelos tradicionales, lo cual es esperable dado a la capacidad generalizadora que tienen las técnicas de inteligencia artificial (Jordan et al., 2015).

Tabla 1.- Resultados

	Bed Depth Service Time	Yoon Nelson	Bohart Adamas	Random Forest	Red Neuronal
	R2	R2	R2	R2	R2
Curva 1	0,41	0,91	0,91	0,96	0,49
Curva 2	0,43	0,91	0,91	0,98	0,96
	Caudal	Masa de carbón activado		Co	
Curva 1	3,8 ml/min	0,5008 g		12,5 PPM	
Curva 2	3,8 ml/min	0,5005 g		35 PPM	

La red artificial consta de 100000 neuronas, mientras que el modelo de random forest está compuesto por 100 estimadores.

Conclusiones

Se observaron resultados positivos en cuanto al uso del carbón activado como medio de filtración para la remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas. Esto puede ser atribuido a los grupos funcionales presentes en la superficie del carbón activado, los cuales tienen una fuerte afinidad por el cromo hexavalente. Además, los modelos de inteligencia artificial demostraron un buen desempeño en la predicción del proceso de adsorción, lo que indica su utilidad para escalas mayores de ensayos de adsorción.

El presente trabajo sienta las bases para llevar a cabo el modelado del proceso de adsorción a una escala mayor en el filtro de adsorción. Para futuras investigaciones se propone explorar la influencia del tamaño de partícula del adsorbente en la eficiencia de remoción del cromo hexavalente. La modificación del tamaño de partícula del adsorbente podría tener un impacto significativo en la capacidad de adsorción. Además, se sugiere investigar y desarrollar métodos de regeneración del adsorbente una vez que se ha saturado.

Referencias

- Ali, M.E.A. (2018). "Synthesis and adsorption properties of chitosan-CDTA-GO nanocomposite for removal of hexavalent chromium from aqueous solutions". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 11, pp. 1107-1116.
- Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning* (Vol. 4, No. 4, p. 738). New York: Springer.
- Das, A. P., & Bissoyi, A. (2011). "Computational approach for comparative phylogenetic analysis of isolated chromium resistant strain *Brevibacterium casei*". *Journal of Engineering and Technology Research*, 3(3), 82-87.
- Ghaedi, M., Ghaedi, A. M., Negintaji, E., Ansari, A., Vafaei, A., & Rajabi, M. (2014). "Random forest model for removal of bromophenol blue using activated carbon obtained from *Astragalus bisulcatus* tree". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1793-1803.
- Guo, Y., & Rockstraw, D. A. (2007). "Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation". *Microporous and Mesoporous Materials*, 100(1-3), 12-19.
- Jordan, M.I. and T.M. Mitchell (2015). "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects". *Science*, Vol. 349, pp. 255-260.
- Li, Q., Zhai, J., Zhang, W., Wang, M., & Zhou, J. (2007). "Kinetic studies of adsorption of Pb (II), Cr (III) and Cu (II) from aqueous solution by sawdust and modified peanut husk". *Journal of hazardous materials*, 141(1), 163-167.
- Mohanty, S., Benya, A., Hota, S., Kumar, M. S., & Singh, S. (2023). "Eco-toxicity of hexavalent chromium and its adverse impact on environment and human health in Sukinda Valley of India: A review on pollution and prevention strategies". *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*.
- Owalude, S. O., & Tella, A. C. (2016). "Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on modified groundnut hull". *Beni-suef university journal of basic and applied sciences*, 5(4), 377-388.
- Saravanakumar, K., De Silva, S., Santosh, S. S., Sathiyaseelan, A., Ganeshalingam, A., Jamla, M., Sankaranarayanan, A., Veeraraghavan, V. P., MubarakAli, D., Lee, J., Thiripuranathar, G. and M.H. Wang (2022). "Impact of industrial effluents on the environment and human health and their remediation using MOFs-based hybrid membrane filtration techniques". *Chemosphere*, Vol. 307, 135593.
- Tu, B., Wen, R., Wang, K., Cheng, Y., Deng, Y., Cao, W., ... & Tao, H. (2020). "Efficient removal of aqueous hexavalent chromium by activated carbon derived from Bermuda grass". *Journal of colloid and interface science*, 560, 649-658.

QUITINA Y QUITOSANO COMO POSIBLES COAGULANTES DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA PAPELERA

Erika D. Perez*, Graciela Y. Moltrasio, Liliana Maldonado

Universidad John F. Kennedy, Escuela de Química, Sarmiento 4564, CABA, Argentina.1145632097, 1151046928, 1127228200.
E-mails: erika.daniela08@gmail.com, gmoltra@gmail.com, lcarolina19@gmail.com

En la industria pesquera se capturan anualmente más de 40 mil toneladas de crustáceos a partir de los cuales se puede obtener quitina (Figura 1). Se consideró interesante evaluar este biopolímero, así como su derivado desacetilado, el quitosano (Figura 2), como coagulantes para el posterior reuso de aguas residuales provenientes de la industria papelera (Caldera, 2011). En este trabajo los exoesqueletos de langostinos fueron sometidos a las fases de desproteínización, desmineralización y purificación para obtener quitina, la cual se desacetiló para obtener quitosano (Larez, 2015).

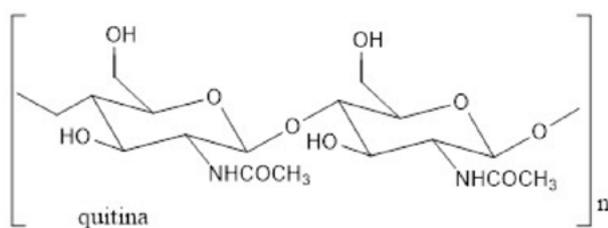


Figura 1.- Estructura de la Quitina.

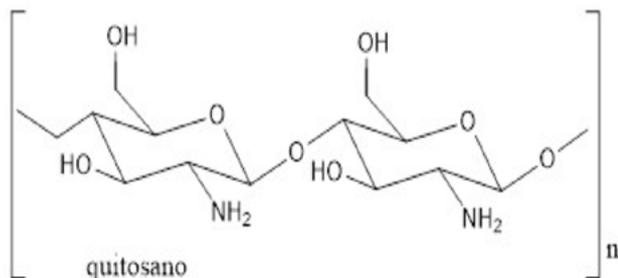


Figura 2.- Estructura del Quitosano.

La industria de la pulpa y el papel utiliza materiales lignocelulósicos como materia prima para producir papel y cartón. Durante la producción del papel y el cartón, se generan aguas residuales que tienen un alto contenido de sólidos en suspensión, color y sustancias orgánicas en el rango de 75 a 275 m³ por tonelada de producto (Jaafarzadeh, 2016). Además, estas aguas residuales del sector industrial contienen ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos resínicos, fenoles e hidrocarburos, compuestos altamente tóxicos contaminantes (Kumar, 2015).

Debido a estos componentes, estos efluentes son extremadamente peligrosos para el ecosistema porque exhiben un fuerte efecto mutagénico, tienen una toxicidad aguda, causan una disminución del oxígeno y evitan la penetración de la luz.

Por su parte, la falta de disponibilidad de agua dulce en el mundo genera la necesidad de tratar estas aguas residuales para lograr su implementación en otras aplicaciones como puede ser el riego de parques.

El proceso de potabilización del agua está formado por seis etapas: pretratamiento del agua, coagulación-floculación,

decantación, filtración, desinfección del agua y análisis y control de seguridad del agua. Las mismas buscan eliminar todos los elementos nocivos para los seres humanos y conseguir una calidad del agua acorde con los criterios determinados por las autoridades nacionales e internacionales (Yang 2016). Es por ese motivo que se propone el uso de estos procesos para mejorar las condiciones del agua residual y obtener un producto apto para su reuso.

METODOLOGÍA

La extracción de quitina se efectuó a partir de desechos de langostinos, tal cual los generados por la industria pesquera argentina y su posterior comercialización según el Artículo 273 del CAA, donde se especifica que queda prohibida la tenencia y expendio de crustáceos que no hayan sido muertos por cocción en agua hirviendo inmediatamente sean extraídos del agua.

La identificación de este recurso es Langostino (*Pleoticus muelleri*) – Clase: Malacostraca. Orden: Decápoda. Familia: Solenoceridae. Especie: *Pleoticus muelleri*. Nombre común: langostino.

Se realizaron en el laboratorio las siguientes etapas:

- Determinación del contenido de humedad, cenizas y nitrógeno en desechos de crustáceos.
- Extracción de quitina.
- Obtención de quitosano.
- Caracterización de los biopolímeros.
- Preparación de las mezclas coagulantes.
- Medición de parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de ser tratadas.

Una vez caracterizados los biopolímeros obtenidos se procedió a preparar las mezclas coagulantes y a medir los parámetros fisicoquímicos del agua a tratar.

Las mezclas coagulantes se prepararon mezclando los biopolímeros con ácido acético (CH₃COOH) 0,1 M para obtener suspensiones al 0,6 y 2 % m/v respectivamente, las cuales se aplicaron a dosis de 12, 24, 36, 48 y 60 mg/l en aguas turbias provenientes de la industria papelera (Caldera (2009).

Los parámetros físico químicos del agua a tratar se especifican en la Tabla 1.

	pH(UpH)	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Color (Pt/Co)	Turbidez (NTU)
Agua residual	7,41	650	610	940

Tabla 1.- Parámetros del agua residual a tratar

Se simuló las fases de coagulación, floculación, decantación y filtración y se midieron los parámetros fisicoquímicos de alcalinidad, color, pH y turbidez antes y después de filtrar del agua residual. Los resultados después del tratamiento de las aguas residuales con quitina y quitosano mostraron los siguientes resultados:

- ✓ Los valores de alcalinidad para las aguas residuales tratadas con quitina y quitosano muestran la efectividad mayor del quitosano para este índice ya que a dosis mínimas (12mg/l) da valores dentro de los establecidos por el CAA para el agua de consumo humano (Fuentes, 2017).
- ✓ En cuanto al color, se observa nuevamente que el quitosano es más efectivo para esta tarea que su precursor.
- ✓ Los valores de pH obtenidos en las aguas residuales muestran una efectividad similar entre la quitina y el quitosano, manteniendo ambos un valor cercano al inicial (Feria, 2018).
- ✓ Las aguas residuales presentaron un valor inicial de 940 NTU. Ambos polímeros demostraron ser eficientes en la remoción de las impurezas insolubles por valores superiores a los mínimos estipulados para un buen agente coagulante-floculante (70% de remoción).

Referencias

- Caldera, Y., Rodríguez, Y., Oñate, H., Prato, J., Gutiérrez, E. (2011). "Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo." *Revista Tecnocientífica URU* 1 (1), 45-52
- Caldera, Y., Clavel, N., Briceño, D., (2009). "Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo." *Boletín del centro de investigaciones biológicas*, 43 (4), 541-555
- Feria, J. J., Jove, F. & Hernandez, R. (2018). "Multi-Stage Filtration (MSF) Technology with natural coagulants for raw water treatment from the Sinú river in Colombia". *Indian journal of Science and Technology*, 11(35), 1-5.
- Fuentes, L., Mendoza, I., Chávez, A., (2017). "Evaluación de la quitina como coagulante para la potabilización de aguas con alta turbidez." *Revista Arbitrada Venezolana del Núcleo Luz Costa Oriental del Lago*, 12 (1), 89-106
- Jaafarzadeh, N., Omidinasab, M., Ghanbari, F. (2016). "Combined electrocoagulation and UV-based sulfate radical oxidation processes for treatment of pulp and paper wastewater." *Process Saf. Environ. Prot.* 102, 462-472. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.019>
- Kumar, S., Saha, T., Sharama, S. (2015). "Treatment of pulp and paper mill effluents using novel biodegradable polymeric flocculants base don anionic polysaccharides: a new way to treat the wastewater". *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2 (4). 1415- 1428.
- Birjandi, N., Younesi, H. Bahramifar N. (2014). "Treatment of wastewater effluents from paper-recycling plants by coagulation process and optimization of treatment conditions with response surface methodology." *Appl. Water Sci.* 1, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-014-0231-5>
- Lárez, C. (2006). "Quitina y quitosano: Materiales del pasado para el presente y el futuro." *Avances de Química* 1 (2), 15-21
- Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H. & Li, A. (2016). "A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment". *Water Research*, 95, 59-89.

RELEVAMIENTO TERRITORIAL, EFECTOS Y MANEJO DEL MEJILLÓN DORADO EN LOS APROVECHAMIENTOS MULTIPROPÓSITO DE ARGENTINA

Ailín Pertierra^{1,2}, Hebe Marta Barber^{1,3} y Ana Laura Valgañón^{1,2}

(1) Organismo Regulador de Seguridad de Presas, Argentina

(2) Universidad de Buenos Aires, Argentina

(3) Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

apertierra@orsep.gob.ar; hbarber@orsep.gob.ar; avalganon@orsep.gob.ar

Introducción

La especie *Limnoperna fortunei*, conocida también como mejillón dorado, es una especie invasora originaria de Asia, la cual ha sido introducida en Argentina, Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay por el estuario del Río de la Plata a través del agua de lastre de embarcaciones transoceánicas en el año 1991.

El mejillón dorado es un molusco bivalvo mitilido adaptado a ambientes dulceacuícolas, que tiene una gran capacidad de dispersión y de adhesión a sustratos duros como piedras, plantas acuáticas y estructuras artificiales, asentándose y formando incrustaciones biológicas (macrofouling). El impacto ambiental que ocasiona es frecuente en agua de estuarios y mares, siendo novedosa su presencia en la Región Neotropical.

Esta especie invasora ha alterado ecosistemas acuáticos, generando gran preocupación, ya que ha colonizado los cuerpos de agua, alterado algunos ecosistemas acuáticos e impactado fuertemente sobre los aprovechamientos multipropósitos del país, produciendo, en estos, pérdidas económicas y de eficiencia.

Desde el **Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP)**, el objetivo de este estudio es obtener un relevamiento territorial actualizado de la presencia de la especie invasora en los aprovechamientos multipropósitos de Argentina a fin de visualizar y contribuir en el desarrollo de estrategias de mitigación. Para lograr dicho objetivo, se relevaron más de 50 aprovechamientos a través de un cuestionario, a partir del cual se obtuvieron datos acerca de su detección, impacto y modos de control.

Análisis de la especie y su distribución

La información ecofisiológica sobre *Limnoperna fortunei* es escasa, razón por la cual no ha sido posible hasta el momento desarrollar sistemas de prevención o programas de manejo específicos de la especie.

En el ambiente natural de estudio, el tiempo de vida del mejillón es de aproximadamente 3 años. Este tiempo varía en función de diversos factores ambientales, como la temperatura, la humedad y la abundancia de material orgánico en suspensión en el agua. La extensión del ciclo reproductivo varía de acuerdo a la temperatura del agua, siendo este mayor en zonas cálidas. En los aprovechamientos relevados de la Patagonia Argentina, incluyendo a Florentino Ameghino ubicado en las proximidades del mar, no se ha detectado la presencia de la especie, posiblemente debido a esta última razón.



Figura 1.- Mejillón Dorado – *Limnoperna fortunei*.

Existen diferentes estudios frente a la tolerancia a la desecación y afectación por condiciones atmosféricas, a fin de evaluar la mortalidad a lo largo del tiempo para diferentes tallas. Los

resultados de esas investigaciones sugieren que la supervivencia está ligada a la humedad, y que los especímenes pueden sobrevivir hasta seis días en el aire bajo condiciones ambientales similares a las de la primavera en climas templados.

Según el relevamiento realizado, el mejillón se ha distribuido a contracorriente por las cuencas del Plata, del río Uruguay y del río Paraná, y por vía terrestre a otras cuencas endorreicas como la cuenca de Mar Chiquita (Figuras 3). Este tipo de traslado puede ser debido a la zoocoria, es decir, peces y aves que trasladen la especie adosada en sus cuerpos, o por acciones antropogénicas accidentales a través de embarcaciones o vehículos con incrustaciones, ya sea por agua o por vía terrestre (por ejemplo, las dragas que efectúan trabajos en diversas cuencas y que luego son trasladadas por tierra). Esto, sumado a la tolerancia de desecación de hasta un período de seis días, explicaría la amplia distribución y rápida dispersión río arriba y en cuencas endorreicas del mejillón dorado en América del Sur.

Relevamiento e impactos

El asentamiento de esta especie, en sus diferentes estadios o fases, desde larvas hasta adultos, se ha detectado en múltiples aprovechamientos multipropósitos de Argentina, ubicados en las regiones con climas más templados y con menor velocidad del agua. En la Figura 3 pueden observarse los aprovechamientos relevados, y sus distribución en cuencas, con detección de Mejillón Dorado (burbujas rojas) y sin detección del mismo (burbujas verdes).



Figura 2.- Presencia de *Limnoperna fortunei* en Aprovechamientos Multipropósitos de Argentina / Distribución en cuencas.

No obstante, las provincias afectadas son: la Provincia de Córdoba (Complejo Río Grande, Centrales Hidroeléctricas Los Molinos I y II, Reolín, Piedras Moras, La Viña, Cruz del Eje, San Roque), Tucumán y Santiago del Estero (El Cadillal y Río Hondo), Salta (El Tunal), Entre Ríos (Salto Grande) y Corrientes (Yaciretá). Se hace notar que la distribución territorial se incrementó respecto a lo relevado por V. Matschke en el año 2020, ya que en ese entonces no se mencionaban infectadas las provincias de Salta, Tucumán y Santiago del Estero.

Estos aprovechamientos se ven afectados por las incrustaciones de esta especie invasora (macrofouling), que ocasiona diferentes efectos, impactando en el rendimiento y forzando a los

operadores a adoptar distintos métodos para su control, con distintas efectividades y resultados. Entre ellos, cabe mencionar la afectación sobre los sistemas de refrigeración de las centrales hidroeléctricas, de captación y/o conducción de agua de riego y/o agua potable, sobre rejillas, equipamientos e instrumentos, el incremento de la fricción en tuberías y filtros, la disminución de secciones, la oclusión de tuberías y filtros por ejemplares adheridos a sus paredes, la acumulación de valvas vacías y contaminación del agua del sistema de tuberías por mortandad masiva.



Figura 3.- Macrofouling

A su vez, causa un impacto negativo en el ecosistema, ya que alteran la dieta de las especies nativas, favoreciendo el asentamiento de especies no comunes que afectan las características de los cuerpos de agua y crean un nuevo microambiente desplazando a los ejemplares nativos o desarrollando poblaciones de macrofauna bentónica de invertebrados nativos, pudiendo provocar la homogeneización al ambiente.

Métodos de manejo y control en Aprovechamientos Multipropósitos

Dependiendo del momento en que se formule el método, el mismo podrá ser de prevención o de reacción/control. Estos pueden clasificarse, a su vez, en físicos, químicos y biológicos. El objetivo de un régimen de control, económica y ambientalmente óptimo, no necesariamente consiste en la eliminación total de la especie invasora, sino en controlar a los organismos que se asientan en ciertas zonas y prevenir el excesivo desarrollo de población, permitiendo la funcionalidad del sistema.

En el caso de los métodos de manejo físicos, cabe mencionar: filtración del agua, limpiezas mecánicas, alta velocidad del agua, shock térmico y el uso de pinturas tóxicas y no tóxicas. En Argentina se utilizan métodos de este tipo, por ejemplo en las centrales hidroeléctricas, realizando la parada programada de los grupos generadores a fin de poder realizar una limpieza y remoción mecánica del bivalvo, y el desarme de intercambiadores de calor, válvulas, filtros, conductos y tuberías. También se han llevado a cabo la implementación de pinturas y metalizados, y de filtro "Y". A su vez, en las demás zonas de los embalses, ya sean rejillas de toma sumergidas o conducciones de agua potable o riego, se realizan remociones mecánicas con equipo de buzos.

En el caso de la aplicación de químicos se debe considerar evitar el impacto en el ambiente natural y el accionar corrosivo de los químicos, teniendo en cuenta las concentraciones permitidas, los mecanismos de dilución y de desactivación del químico. La vía rápida más efectiva y utilizada actualmente a la hora de controlar y eliminar velozmente del sistema el macrofouling, es la aplicación de químicos, siendo el cloro el oxidante más utilizado a nivel mundial debido a su menor impacto ambiental y costo.

Existen, también, métodos anti-crustáceos, que incluyen repelentes naturales, toxinas y métodos biológicos de control, de los cuales aún no se tienen datos de su funcionamiento en agua dulce.

Según las encuestas realizadas, ningún aprovechamiento multipropósito con detección de la especie ha podido controlar la invasión de manera que esta no cause los problemas mencionados.

Conclusiones

De lo antedicho se desprende la importancia del estudio y control de la especie *Limnoperna fortunei*, ya que su presencia afecta a las estructuras hidráulicas de instalaciones sanitarias y aprovechamientos multipropósito, junto a los ecosistemas y al medio ambiente que lo rodea.

En este trabajo se presentó una distribución territorial actual del mejillón dorado en los aprovechamientos multipropósito que se han podido relevar, las instalaciones afectadas en ellos y su efecto, las medidas adoptadas por los operadores, y la efectividad.

Se ha observado que la distribución territorial ha progresado a través de la cuenca del Plata, del Paraná y del Río Uruguay, apareciendo incluso en la cuenca de Mar Chiquita y en el Noroeste Argentino.

Se observa también que la disponibilidad larval está vinculada a las características climáticas, y físicas, químicas y biológicas de la zona.

Se concluye, también, que la información disponible resulta insuficiente para identificar métodos efectivos de control. Tanto el protocolo de monitoreo de las larvas como la estrategia de los tratamientos a seguir por las industrias deben ser propios para cada una de ellas, y ajustados de acuerdo a las condiciones climáticas/ambientales reinantes.

Finalmente, se recomienda capacitar e informar a los operadores sobre la amenaza. Elaborar planes estratégicos en las cuencas/provincias, y elaborar normativas o regulaciones que definan criterios de manejos reactivos o preventivos para estas bioinvasiones.

Agradecimientos

ORSEP agradece la colaboración brindada por diversas entidades y personas que hicieron posible la realización de este trabajo: H. Acuña (HINISA/HIDISA), B. Marín (Ictios consultora ambiental), al EPEC, E. García (Sector Medio Ambiente Yaciretá), M. Bertoni y C. Simón Zinno (Sector Medio Ambiente Salto Grande), G. D'Alessandro (Chaco), M. E. Zambrano, Consorcios de riego, fiscalización y Recursos Hídricos (Salta), M. Casas (AES), J. M. Marzoratti (Hidroeléctrica Tucumán) Torné y H. D. Gelatti (DPA Tucumán), E. Quintana (Jujuy), Intendencia de Diques, Calidad de agua y territorio, F. Zarauz (Secretaría del agua Catamarca). Sin sus aportes esta investigación no habría sido posible.

Referencias Bibliográficas

- Darrigran, G. & Damborenea, C. (2006). "Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano". Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Fabián, D.; Ferrer, C.; Pereira, J.; Muñiz, P.; Capurro, L.; Mandiá, M.; Failache, G.; Brugnoli, E. (2021). "Variación anual de larvas del mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) en sistemas de refrigeración de centrales hidroeléctricas en embalses del Río Negro, Uruguay". <https://www.redalyc.org/journal/6061/606166107004/html/>
- Nelson, N.M. (2019). "Enumeration of potential economic costs of Dreissenid mussels infestation in Montana", Flathead Lake Biological Station, University of Montana & National Invasive Species Council, USA.
- Pereyra, P.J. (2011). "Invasión de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). Impacto en el ambiente natural y humano". Trabajo de tesis para optar por el título de Doctor en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata.
- Vilches, A.; Arcaria, N y Darrigran, G. "Introducción a las invasiones biológicas" (2010). Boletín Biológica, Número 17. www.boletinbiologica.com.ar

EVALUACIÓN DEL NEXO AGUA-ENERGÍA-ALIMENTOS EN UN PARQUE SOLAR DE LA PROVINCIA DE MENDOZA (ARGENTINA)

Roxana Piastrellini^{a,b}, Silvia Curadelli^a, María Cristina Martínez^a, Paula Giorlando^a y Alejandro Pablo Arena^{a,b}

^a Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, 5500, Argentina.

^b Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET, Godoy Cruz 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

roxana.ppp@gmail.com; silvia.curadelli@gmail.com; m.mcristi92@gmail.com; Paula_Giorlando@hotmail.com; aparena@gmail.com

Resumen

El concepto de “nexo” en el contexto del agua, la energía y los alimentos (AEA) hace referencia a la compleja vinculación entre los tres subsistemas, de modo que las acciones en uno de ellos generarán impactos en los demás, así como en los ecosistemas que les dan soporte. Este trabajo expone los principales resultados de una evaluación del nexo Agua-Energía-Alimentos (nexo AEA) bajo el enfoque de ciclo de vida para un parque solar que inyectará energía al corredor Centro – Cuyo – Noroeste Argentino. Se analizaron los impactos de la generación de energía sobre la producción de alimentos y la disponibilidad de agua, mediante indicadores de uso del suelo y de escasez hídrica. Los resultados obtenidos muestran que el impacto sobre la disponibilidad de agua es de 0,44 l/kWh, generándose en gran medida durante la etapa de construcción del parque solar. Por otra parte, el impacto potencial sobre la producción de alimentos es altamente dependiente del uso anterior de la tierra, alcanzó valores entre 0 y 0,53 kg C/kWh año.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, servicios ecosistémicos, análisis de ciclo de vida.

Introducción

La urgencia por alcanzar la seguridad energética y el consecuente desarrollo de sistemas energéticos abastecidos con fuentes renovables ha fortalecido la idea de que los parques solares compiten con la producción agrícola por recursos escasos, como la tierra y el agua, afectando la seguridad alimentaria. Entre los enfoques disponibles para afrontar esta problemática se destaca el Nexo Agua-Energía-Alimentos (nexo AEA), que ofrece un marco para entender y evaluar los tres subsistemas de manera conjunta.

Tawalbeh et al (2021) presentan un minucioso análisis de 170 publicaciones que abordan los principales impactos ambientales atribuidos a los parques solares, y destacan que aún existen vacíos en la literatura, por ejemplo, en cuanto al uso de la tierra y uso del agua en distintas regiones.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el nexo AEA para un parque solar situado en Mendoza (Argentina) y sus impactos por el uso de suelo y de agua, mediante indicadores de ciclo de vida.

Materiales y Métodos

El parque solar estudiado inyectará electricidad al corredor Centro-Cuyo-Noroeste Argentino y estará localizado en la Zona Este de la provincia de Mendoza (Argentina). En dicha zona, al igual que en el resto de la provincia, prevalecen condiciones de aridez y escasez de recursos, especialmente de agua. Aun así, se destaca por su producción agrícola e industrialización de vid, frutas y hortalizas.

La superficie total del parque solar es de 146 ha, incluyendo los módulos, el inversor y la estación distribuidora, los caminos internos, la estación de transformación, almacenamiento y obrador. El sistema ha sido diseñado para generar como máximo 28 MW de potencia en corriente alterna, aunque la adjudicada en la actualidad es de 20 MW, por lo cual, los indicadores de este trabajo han sido calculados considerando este último valor.

Se definió como unidad funcional “generar 1 kWh de energía eléctrica”. Se consideraron las etapas de construcción, operación y desmantelamiento del parque solar. Se excluyó del estudio la fabricación de los equipos y de las estructuras. Se tuvo en cuenta un período total de 30 años, de los cuales los 3 primeros corresponden al período de factibilidad, 1 año al período de construcción, 25 años al de operación y 1 año al desmantelamiento.

Se evaluaron los impactos de la generación de energía sobre los otros dos subsistemas que componen el nexo AEA. Para el subsistema Alimentos, se eligió el indicador Potencial de producción biótica (PPB), dado que mide las condiciones actuales de la tierra que determinan su capacidad a corto, mediano y largo plazo para producir y sostener biomasa útil, como ser la biomasa alimenticia (Brandão y Milà i Canals, 2013). Mediante este indicador, se evaluaron los impactos de ocupación y transformación del suelo utilizando las ecuaciones generales desarrolladas por Milà i Canals et al (2007). El impacto sobre el subsistema Agua se evaluó mediante el método *AWARE (Available Water REMaining)*, que considera el potencial relativo de privación de agua, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas (Boulay et al, 2018).

Resultados y Discusión

El valor hallado para el indicador de uso de agua fue de 0,44 l/kWh, correspondiendo el 96% del impacto total al agua consumida durante las tareas de construcción, y el 4% restante a las tareas de limpieza de los paneles durante la etapa de operación. Esto concuerda con Meldrum et al (2013), quienes afirman que el consumo de agua durante el funcionamiento de los sistemas energéticos fotovoltaicos es insignificante. Por otra parte, Bukhari et al (2018) y Tawalbeh et al (2021) sostienen que los sistemas fotovoltaicos son los menos impactantes en cuanto al consumo de agua, en comparación con otros sistemas energéticos renovables y, por lo tanto, los más apropiados para ser emplazados en regiones con escasez hídrica.

En cuanto al PPB, se obtuvieron valores entre 0 y 0,02 kg C/kWh año para los impactos de ocupación del suelo, y entre 0 y 0,52 kg C/kWh año para los impactos de transformación, dependiendo del uso anterior del terreno (ver Tabla 1).

Tabla 1.- Impactos sobre el PPB asociado a la construcción y operación del parque solar

Uso anterior de la tierra	Ocupación [kg C/kWh año]	Transformación [kg C/kWh año]
Monte nativo	0,015	0,373
Agrícola, high-input	0,020	0,511
Agrícola, high-input	0,016	0,390
Urbanización	0	0

Los resultados hallados de PPB indican que, si el parque solar se localiza en un área previamente cultivada que mantiene su capacidad productiva, el impacto sobre el potencial de producción de alimentos sería 40% superior al que se generaría si se ubicara en un área ocupada por monte nativo. Por el contrario, si el parque se localizara en un área urbanizada (pavimentada o altamente compactada), el impacto sobre el potencial de producción de alimentos sería nulo, evitando así el conflicto con la producción de alimentos. Otra forma de reducir el impacto por uso del suelo podría ser emplazando el parque solar en un área degradada, tal como se menciona en el trabajo de Shiraishi et al (2019).

Conclusiones

Actualmente, la gestión de la energía, la tierra y el agua suele realizarse de forma aislada, sin la consideración adecuada de las posibles implicancias intersectoriales, que pueden ser tanto negativas como positivas. En este contexto, el enfoque de nexos AEA surge como una valiosa herramienta de soporte para la búsqueda de soluciones intersectoriales colaborativas, especialmente en las regiones de mayor vulnerabilidad, como las zonas áridas.

Este trabajo representa un primer abordaje del enfoque de nexos AEA aplicado a un parque solar emplazado en la provincia de Mendoza, Argentina, mediante el uso de indicadores de ciclo de vida que permiten evaluar impactos resultantes del uso del suelo y del agua. El estudio pone de manifiesto la importancia de considerar el uso anterior de la tierra como uno de los criterios de decisión al momento de seleccionar un sitio adecuado para emplazar parques solares en la provincia.

Referencias

- Boulay, AM., Bare, J., Benini, L., et al** (2018). “The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)”. *Int J Life Cycle Assess*, Vol 23, pp. 368–378.
- Brandão M., Milà i Canals L.** (2013). “Global characterization factors to assess land use impacts on biotic production”. *Int J Life Cycle Assess*, Vol 18, pp. 1243-1252
- Bukhary, S., Ahmad, S., Batista, J.** (2018). “Analyzing land and water requirements for solar deployment in the Southwestern United States”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd. Vol. 82, pp. 3288–3305
- Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G., Macknick, J.** (2013). “Life cycle water use for electricity generation. A review and harmonization of literature estimates”. *Environmental Research. Letters*, Vol. 8, No 1
- Milà i Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Freiermuth, K.R., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R., Rydgren, B.** (2007). “Key elements in a framework for land use impact assessment in LCA”. *Inter J Life Cycle*

Assess, Vol 12, pp. 5-15

Shiraishi, K., Shirley, R. G., Kammen, D. M. (2019). “Geospatial multi-criteria analysis for identifying high priority clean energy investment opportunities: A case study on land-use conflict in Bangladesh”. *Applied Energy*, Vol. 235, pp. 1457–1467

Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). “Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook.” *Science of The Total Environment*, Vol. 759, No 143528

GENERACIÓN DE ENERGÍA Y REMOCIÓN DE FÓSFORO EN UN HUMEDAL CONSTRUIDO ACOPLADO A UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA

Ana Pizarro¹, Mariel Zerbato y Laura Modini

Cátedra Tratamiento de Efluentes, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Edificio FBCB, ciudad universitaria UNL, Ruta Nacional N° 168, km 472, Santa Fe, 3000, Argentina.

¹E-mail: apizarro@fbc.unl.edu.ar

Introducción

El vertido de líquidos residuales en los cuerpos de agua, sin depurar o con tratamiento deficiente, ocasiona un impacto negativo en el ambiente. Una opción para su tratamiento surgida recientemente es la utilización de humedales electrogénicos (HC-CCM) que combinan un humedal construido (HC) con una celda de combustible microbiano (CCM) (Doherty et al, 2015). Esta tecnología emergente involucra no sólo el tratamiento de agua residual, sino la posibilidad de recuperar energía eléctrica. En este trabajo se propuso evaluar la capacidad de un HC-CCM, a escala micropiloto, para remover fósforo y producir electricidad a partir de agua residual urbana real.

Materiales y Métodos

Se construyó un HC-CCM, a escala micropiloto, de tipo subsuperficial vertical, utilizando un tubo de PVC de 20 cm de diámetro y 70 cm de altura. Desde la base hacia arriba se colocaron 4 capas: 17,5 cm de lodo de alúmina deshidratado (1-3 mm), 10 cm de coque (1-3 mm) contenido en una malla de acero inoxidable (ánodo), 20 cm de lodo y 10 cm de coque con un anillo de acero inoxidable (cátodo). Luego se plantaron 3 ejemplares de *Schoenoplectus* sp., especie autóctona de la ciudad de Santa Fe, a escasa profundidad. Los electrodos se conectaron a través de cables de acero inoxidable a una resistencia de 1000 ohm. La unidad experimental se situó en un ambiente semiprotectado con luz y ventilación natural.

El efluente cloacal crudo fue suministrado semanalmente por la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la municipalidad de Santo Tomé (Santa Fe, Argentina). Previo a su uso, se dejó sedimentar 2 horas. El sistema se operó con un régimen de flujo vertical ascendente y un tiempo de residencia hidráulica de 40 h. Para la alimentación se utilizó una bomba peristáltica, con caudal de alimentación promedio de 2 mL/min.

Entre marzo y diciembre, se tomaron muestras del efluente cloacal a la entrada y salida del sistema y se analizó: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Reactivo Total (FRT) y Fosforo Reactivo Soluble (FRS). La frecuencia de muestreo fue al menos semanal. Todas las técnicas se llevaron a cabo de acuerdo con métodos estandarizados (APHA, 2012). La eficiencia del tratamiento se calculó como la diferencia porcentual entre la concentración de entrada y de salida de cada contaminante.

Para evaluar la producción de electricidad se monitoreó y registró el voltaje producido a través de la resistencia externa, cada 60 minutos con un multímetro digital. Usando la Ley de Ohm se calculó la corriente y la potencia eléctrica. La densidad de Corriente (DC) y la Densidad de Potencia (DP) se calculó dividiendo corriente y potencia respectivamente por el volumen líquido del ánodo (630 mL). También se determinó la Eficiencia Coulómbica (EC) de acuerdo a Logan et al. (2006) y la Recuperación de Energía Normalizada (NER por su sigla en inglés) según Ge et al. (2014). Al final del periodo de ensayos se realizó la curva de polarización y de potencia (Liu et al., 2014). Para esto se varió la resistencia externa desde 5,3 ohm hasta $8,16 \cdot 10^4$ ohm y finalmente hasta el infinito (circuito abierto), midiendo el voltaje luego de su estabilización a través de cada una de las resistencias.

Resultados

Se realizaron 26 muestreos del efluente a la entrada (agua residual urbana sedimentada) y a la salida de HC-CCM. Los parámetros evaluados se presentan la Tabla 1.

Tabla 1.- Características fisicoquímicas del Agua Residual Urbana (ARU) y el efluente tratado por HC-CCM. Remociones (%) logradas por el sistema operando con un régimen de flujo vertical ascendente continuo y tiempo de residencia hidráulica de 40 h.

Parámetros	ARU (n=26) Med (RSI)	HC-CCM (n=26) Med (RSI)	% Remoción (n=26) Med (RSI)
DQO [mg/L]	177,6 (31)	38,4(10,4)	78,2(12,5)
FRT [mgP/L]	4,7(0,3)	< 0,1	> 98
FRS [mgP/L]	4,3(0,3)	< 0,1	> 98

Med (RSI): mediana (Rango Semi-Intercuartílico)

La DQO de entrada varió entre 116,2 mg/L y 312 mg/L. La eficiencia de eliminación de DQO fue 78,2 %. Se encontró una asociación lineal fuertemente positiva ($R=0,919$) entre la carga orgánica de entrada y la carga orgánica removida ($p<0,001$) (Figura 1).

Los valores de FRT y FRS a la salida del sistema fueron inferiores al límite de cuantificación de la técnica en todos los ensayos, es decir, menor de 0,1 mg/L, con porcentajes de eliminación superiores a 98 %. El análisis de materiales inorgánicos en el lodo usado como lecho filtrante se tercerizó y el resultado, expresado como g/100g, fue: Al: 7,8; Ca: 0,16; P: 0,16; Fe: 2,5; Mg: 0,25. Uno de los mecanismos de eliminación de fósforo en un HC de flujo subsuperficial es mediante la precipitación química con iones de Fe, Al y Ca presentes en el sustrato (Naranjo, 2017). El pH promedio de 6,6 del efluente a la salida de HC-CCM, favorecería la precipitación de fósforo principalmente con el aluminio.



Figura 1.- Análisis de regresión entre la carga orgánica de entrada y la carga orgánica removida por HC-CCM.

En la Figura 2 se presentan los voltajes promedios diarios producidos por HC-CCM. Operado bajo régimen continuo, HC-CCM generó voltajes estables, con un promedio de 558 mV (n

= 4427) y el máximo de 627 mV.

En la Tabla 2 se presentan la DC y la DP del sistema, calculados con los voltajes promedio y máximo.

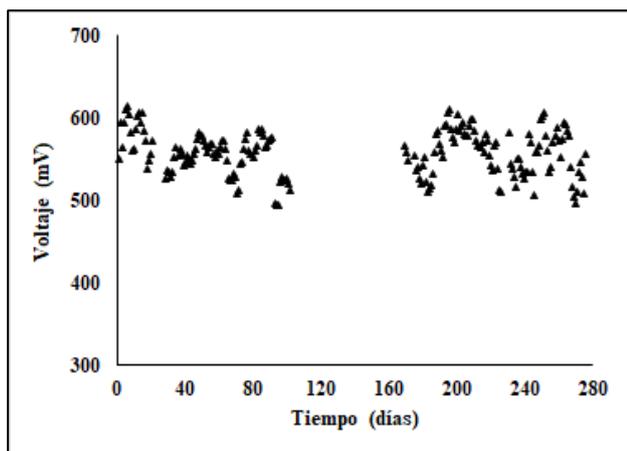


Figura 2.- Voltaje promedio diario obtenido durante el periodo de ensayos

Tabla 2.- Rendimiento eléctrico de HC-CCM.

Parámetro	Voltaje promedio 558 mV (n=4427)	Voltaje máximo 627 mV (n=4427)
DC [A/m ³]	0,89	1
DC [W/m ³]	0,49	0,63

DC: densidad de corriente, DP: densidad de potencia

La EC en una CCM representa la conversión de materia orgánica en electrones (Tang et al, 2019). En este trabajo se logró una EC de 2,2 %, valor similar al publicado por otros autores (Srivastava, et al, 2020; Teoh et al, 2020). La NER permite evaluar la generación de energía a partir de aguas residuales tratadas en un HC-CCM (Ebrahimi et. al, 2021). El valor promedio de NER obtenido por HC-CCM fue 17,7 Wh/kg DQO_{removida} (2,58Wh/m³) y el máximo de 22,5 Wh/kg DQO_{removida} (3,28Wh/m³).

Para conocer la capacidad real del sistema de producir energía eléctrica se realizó la curva de polarización (voltaje vs DC) y la curva de potencia (DP vs DC) que se muestran en la Figura 3. A partir de la zona lineal de la curva de polarización se determinó la resistencia óhmica del sistema que resultó de 292,3 ohm. De la curva de potencia se determinó la DP máxima que es posible alcanzar con el sistema híbrido construido con 12,06 mW/m² y DC de 45,35 mA/m².

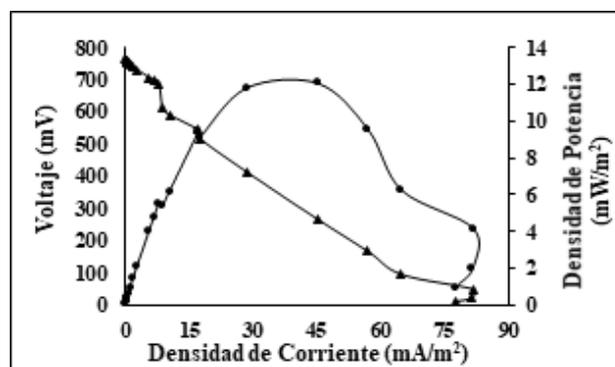


Figura 3.- Curvas de polarización (-▲-) y de potencia (-●-).

Conclusión

El tratamiento de ARU por HC-CCM resultó muy bueno para remover DQO, FRT Y FRS. El sistema favoreció la eliminación de fósforo respecto de un humedal construido con materiales de lecho convencionales. El lodo de alúmina, desecho generado durante el proceso de potabilización de agua, demostró tener alto potencial para la remoción de fósforo. Su aprovechamiento permitiría obtener un material de soporte de bajo costo promoviendo la economía circular.

El HC-CCM produjo un voltaje promedio de 558 mV y máximo de 627 mV. Se logró una conversión de materia orgánica en energía (NER) de 2,58Wh/m³ (17,7Wh/Kg DQO removida).

Los resultados indican que la incorporación de una celda de combustible microbiana en un humedal no afecta la capacidad del humedal para lograr la depuración de ARU, con la ventaja adicional de generar energía eléctrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Litoral por financiar esta investigación mediante el Programa Curso de Acción para la Investigación y Desarrollo (CAI+D), convocatoria 2020, Resolución C.S. N° 400/19.

Referencias

- APHA (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. American Public Health Association. Washington, USA.
- Doherty, L.; Zhao, X.; Zhao, Y.; Wang, W. (2015). "The effects of electrode spacing and flow direction on the performance of microbial fuel cell-constructed wetland". *Ecol. Eng.* 79: 8 – 14.
- Ebrahimi, A.; Sivakumar, M.; McLauchlan, C.; Ansari, A.; Vishwanathan, A. (2021). "A critical review of the symbiotic relationship between constructed wetland and microbial fuel cell for enhancing pollutant removal and energy generation". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (1), 105011. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105011>
- Ge, Z.; Li, J.; Xiao, L.; Tong, Y., & He, Z. (2014). "Recovery of Electrical Energy in Microbial Fuel Cells". *Environmental Science and Technology Letters*, 1(2), 137–141. <https://doi.org/10.1021/ez4000324>
- Liu, S., Song, H., Wei, S., Yang, F., Li, X. (2014). "Bio-cathode materials evaluated and configuration optimization for power output of vertical subsurface Flow constructed wetland-Microbial fuel cell systems". *Bioresource Technology* 166: 575-583.
- Logan, B.; Hamelers, B.; Rozendal, R.; Schröder, U.; Keller, J.; Freguia, S., et al. (2006). Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental Science & Technology*, 20(40): 5181-5192.
- Naranjo Ríos, N. Y. (2017). Estudio para mejorar la eliminación de fósforo en humedales artificiales empleando fangos generados en la potabilización del agua, mediante procesos de adsorción. Aplicación a la potabilizadora La Presa (Manises, Valencia). Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/92605>
- Srivastava, P.; Abbassi, R.; Yadav, A; Garaniya, V; Asadnia, M. (2020). "A review on the contribution of electron flow in electroactive wetlands: Electricity generation and enhanced wastewater treatment. *Rev Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126926>.
- Tang, C.; Zhao, Y.; Kang, C.; Yang, Y.; Morgan, D.; Xu, L. (2019). "Towards concurrent pollutants removal and high energy harvesting in a pilot-scale CW-MFC: Insight into the cathode conditions and electrodes connection". *Chemical Engineering Journal*, 373:150-160.
- Teoh, T.; Ong, S.; Ho, L.; Wong, Y.; Oon, Y.; Oon, Y; et al and Thung, W. (2020). "Up-flow constructed wetland-microbial fuel cell: Influence of floating plant, aeration and circuit connection on wastewater treatment performance and bioelectricity generation. *Journal of Water Process Enrining*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101371>

INFLUENCIA DEL pH EN LA MOVILIZACIÓN DE METALES PESADOS

María Cristina Quiroga¹, Alejandra Sebök¹

1-Laboratorio de Efluentes líquidos, DETI, IMA, Facultad de Ingeniería, UNCuyo, Argentina.
E-Mail: alejandra.sebok@ingenieria.uncuyo.edu.ar; cristina.quiroga@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Introducción

El estudio de la contaminación de los sedimentos por metales pesados en el Dique Potrerillos tiene un interés particular, ya que el agua que contiene esta presa es aprovechada para el abastecimiento de las principales plantas potabilizadoras del Gran Mendoza, también para actividades deportivas, riego y generación de energía.

Los metales pesados más tóxicos son el antimonio (Sb), arsénico (As), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se) y zinc (Zn). El aporte de estos metales al ciclo hidrológico puede proceder de fuentes diversas, siendo una de ellas de origen litogénico a partir de los minerales que, por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastrados al agua. No obstante, actualmente la mayor contaminación es de origen antropogénico proveniente de actividades como: minería, procesos industriales y residuos domésticos, los cuales aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente.

Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, sin embargo, tienen una incidencia muy importante a mediano y largo plazo, ya que son difíciles de eliminar del medio, debido a que los propios organismos acuáticos los incorporan a sus tejidos y de éstos pasan a sus depredadores, en los que acaban manifestándose.

Los contaminantes se hallan unidos a distintas fracciones de los sedimentos que se pueden cuantificar a través del Método de Tessier, el cual se basa en un intento de reproducir las condiciones fisicoquímicas sobre matrices ambientales, considerando cuatro fases que definen asociaciones de los metales pesados a los diversos constituyentes del suelo con distintas energías de enlace; dicho método se aplica de forma secuencial sobre la misma porción de muestra. El esquema de Tessier consiste en la aplicación de extractantes selectivos en una secuencia, para determinar las formas de la solubilidad decreciente de los elementos metálicos. Las tres primeras fases son las que representan un mayor riesgo para la biota, y son las denominadas fases biodisponibles.

Por tanto, el análisis químico de los elementos traza de un suelo es una medida poco representativa de la peligrosidad de los posibles contaminantes. Indica en todo caso la peligrosidad potencial o futura, pero no la actual. Por ello, la información requerida sobre la movilidad, la biodisponibilidad y, por último, el impacto de los elementos sobre los sistemas ecológicos o los organismos biológicos, no se da solamente por las concentraciones totales de los elementos. Para esto, es de vital importancia conocer cómo se produce la movilización de metales para comprender los procesos químicos y bioquímicos que sufren los suelos, y de esta manera proporcionar una información más completa sobre la toxicidad de un determinado metal.

La movilidad de un metal no sólo depende de su especiación química, ya que los parámetros geoedáficos llegan a ser esenciales para valorar la sensibilidad de los suelos a la agresión de los contaminantes. En concreto, las variaciones de pH del medio, que pueden surgir a partir de lluvias ácidas generadas por el cambio climático, pueden potenciar los efectos tóxicos de estos contaminantes, ya que los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos adsorbidos a las partículas del suelo.

Objetivos

Principales

- 1- Estudiar la relación entre variaciones de pH en el ecosistema y la movilización de metales desde sedimento a la columna de agua.
- 2- Relacionar las características geomorfológicas del suelo con la migración de metales ante variaciones de pH.

Secundarios

- 1- Determinar las características físico-químicas del sedimento a ensayar.
- 2- Estimar el contenido de metales pesados en cada fase a través del Método de Tessier.
- 3- Evaluar los parámetros relacionados con la calidad del agua del ecosistema en estudio.

Metodología

Consiste en realizar un detallado estudio bibliográfico, científico y técnico, relacionado con influencia de la acidez respecto a la movilización de metales, biodisponibilidad, remoción de metales del sedimento y afectación de la cadena trófica. En segundo lugar: elegir la zona de estudio en el área del Dique Potrerillos, y diseñar el muestreo de manera de obtener muestras representativas de agua y sedimento. Posteriormente realizar una caracterización fisicoquímica de las muestras de agua y sedimento tomadas, y con ellas llevar a cabo un ensayo piloto a escala laboratorio donde sea posible el estudio de la movilización de metales pesados dentro de las fases del sedimento y hacia la columna de agua por modificaciones de pH en el medio.

- Elección de los sitios de muestreo:

La toma de muestra de sedimentos se realizó en el margen de la desembocadura del Río Blanco, mientras que las muestras de agua fueron tomadas del margen del Dique Potrerillos, alejado del Río Blanco, debido a la baja cota que presentaba el dique al momento de la toma de muestras.



Figura 1.- Puntos de muestreo

Resultados

Se realizó la determinación de la concentración total de los metales pesados presentes en la muestra de sedimento, obteniéndose los siguientes resultados:

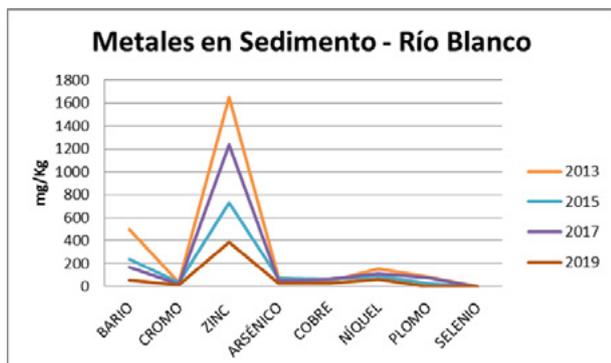


Figura 2.- Concentración total de metales presentes en la muestra de sedimento

Se puede observar, que el metal presente en mayor proporción es el zinc, por lo que fue el metal seleccionado para realizar la especiación química a través del método de Tessier, y posteriormente el ensayo piloto.

Los resultados obtenidos de la especiación química del sedimento muestran que el Zn presente en el suelo se encuentra predominantemente en la primera fase, siendo esta la unión más lábil entre el metal y el sedimento, por lo tanto, este metal presenta una gran tendencia a pasar a la columna de agua.

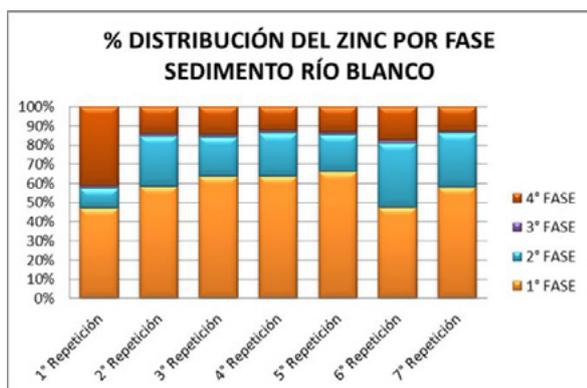


Figura 3.- Especiación química del Zn

Posteriormente se realizó el ensayo piloto a escala laboratorio, el cual consistió en la puesta en contacto de una alícuota de sedimento del Río Blanco con una columna de agua del Dique Potrerillos, a la cual se le fue modificando el pH con ácido sulfúrico, simulando las posibles variaciones de pH ante la presencia de lluvia ácida. Los resultados obtenidos del ensayo piloto son los que se muestran a continuación:

Tabla 1.- Tabla de resultados ensayo piloto de variación de pH

Zn Inicial (mg/L)	Zn M1 (mg/L)	Zn M2 (mg/L)	Zn M3 (mg/L)	Zn M4 (mg/L)
0,05	Agregado de ácido y agitación 20 días		Agregado de ácido y agitación 40 días	
	0,07	0,13	0,15	0,18

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos ver los cambios en la concentración de Zn en la columna acuosa producidos por la variación de parámetros medioambientales como el pH.

Conclusiones

Teóricamente la disminución del pH produce liberación de metales del sedimento a la fase acuosa y en este experimento lo comprobamos prácticamente. La concentración de Zn en la fase acuosa aumentó tras el agregado sucesivo de ácido sulfúrico, tal como sucedería ante la presencia de lluvia ácida.

En la actualidad seguimos trabajando en la determinación de la influencia del pH en la liberación de metales al agua, ensayando nuevos tiempos de contacto entre la columna líquida y el sedimento.

También incorporamos el estudio de la textura del suelo y su relación con la movilización de los metales pesados.

Referencias

- Belzile, N.; Lecomte, P. y Tessier, A. (1989). "Testing readsorption of trace elements during partial chemical extraction of bottom sediments". *Environ. Sci. Technol.*, 23, 1015-1020.
- "Derecho Ambiental. Residuos Peligrosos". Ley 24051. Decreto 831/93. Valleta Ediciones. 1998.
- González, I.; Galán, E.; Romero, A. y Aparicio, P. (2002). "Biodisponibilidad y especiación química y mineralógica de los elementos traza de los suelos de la Provincia de Sevilla". *Bol. Soc. Española Miner.*, 25A, 43-44.
- López Julián, P.L. y Mandado Collado, J. M. (2002). "Extracciones Químicas Secuenciales de Metales Pesados. Aplicación en Ciencias Geológicas". *Estudios Geol.*, 58:133-144.
- P.M Castañé, M.L Topalián, R.R Cordero, A. Salibián (2003). "Influencia de la Especiación de los Metales Pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad". *Revista de Toxicología*, año/vol. 20, número 00. Asociación Española de Toxicología Pamplona, España.pp. 13-18
- SEDUE (1989). "Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCa-001/89". *Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación*. 13 de diciembre de 1989.
- "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition" (2017). American Public Health Association (APHA). American Water Works Association (AWWA). Water Environment Federation (WEF).

EL ROL DE LAS MACRÓFITAS ARRAIGADAS EN LA ESTABILIZACIÓN Y ACUMULACION DE METALES PESADOS. CASO DE ESTUDIO CON *SAGITTARIA MONTEVIDENSIS* EN SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE LA CUENCA MATANZA-RIACHUELO

Reale Marisol⁽¹⁾, Gomez B. M.⁽¹⁾, El Kassisse Y.⁽¹⁾, Mujica C.⁽¹⁾, Gomez C. E.⁽¹⁾, de Cabo L.⁽²⁾ y Rodríguez Salemi V.⁽¹⁾

(1) Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina.

(2) CONICET – Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” (MACN-CONICET), Argentina.

E-mail: mreale@ina.gov.ar

Introducción

Las macrófitas cumplen un rol ecológico fundamental en los sistemas ribereños, tienen influencias en el régimen hidrológico y en la calidad del agua al liberar oxígeno, el cual es fundamental para la degradación de la materia orgánica y para la biota acuática (Lesiv, 2020), también participan en el ciclo de nutrientes y cumplen funciones como hábitat y alimento de diversos organismos (Peters, 2009).

Las macrófitas han sido ampliamente estudiadas por su capacidad de incorporar compuestos que se encuentren retenidos en el sedimento costero. Dichos sedimentos suelen ser sumideros de contaminantes, los cuales se asocian a las partículas en suspensión y son depositados en los sedimentos del fondo. Entre los contaminantes que se pueden encontrar retenidos en los sedimentos, los metales constituyen uno de los grupos sujetos a una mayor investigación y preocupación, fundamentalmente debido a su persistencia y a las bajas concentraciones a las que pueden manifestar sus efectos tóxicos (Salazar 2014). El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la capacidad de *S. montevidensis* (una macrófita arraigada nativa de la ecorregión pampeana), de incorporar, acumular y translocar metales pesados en tres sitios de la Cuenca Matanza Riachuelo (CMR), con el objeto de evaluar su potencial utilización para rehabilitación del ambiente.

Materiales y métodos

Se trabajó en un tramo de 4.7 km del río Matanza-Riachuelo en tres sitios: Puente Vittorino de la Plaza, Puente Uriburu y Puente Bosch (Figura 1).



Figura 1.- Ubicación de los sitios muestreados sobre el Río Matanza-Riachuelo. Puente Uriburu (rosa), Puente Vittorino de la Plaza (verde) y Puente Bosch (azul).

Se realizó un único muestreo el donde en cada sitio de se recolectó un individuo de *S. montevidensis* con una pala en un perímetro de 30 cm de la planta. En todos los casos se seleccionaron individuos que se encontraran en el margen del cauce y en floración. Junto con la planta se colectó el sedimento

adherido a las mismas y se tomaron muestras de agua próximas al lugar de donde se colectaron las plantas. Una vez en el laboratorio cada planta fue dividida en: raíces, parte aérea (tallo y hojas) y flores. Una vez limpia la planta, se secó en la estufa a 70 °C durante una semana, luego se molió hasta obtener un polvo fino y homogéneo.

En todas las matrices evaluadas se determinaron los siguientes metales totales por triplicado: Cr, Pb, Zn, Cu, y Ni siguiendo los procedimientos establecidos por la EPA 3015, 3051 y 3052. Se calculó el Factor de Bioconcentración (FBC) el cual se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa. El FBC se calcula como la relación entre la concentración del metal en la planta y la concentración de este elemento en el sedimento. Cuanto menor es el FBC, mayor es su capacidad de exclusión.

También, se calculó el Factor de Translocación (FT). Este factor representa el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz (Mattina et al., 2003), un valor del Factor de Translocación mayor a 1 indica que la planta puede ser usada como fitoextractora. Si por el contrario, dicho valor es menor a 1, la translocación del metal es baja, por lo que éste es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilizar el contaminante en el sedimento.

Resultados

La concentración media de los elementos analizados en agua (Figura 2) arrojaron que de los cinco metales analizados solo el Cr y Cu ($59 \mu\text{gL}^{-1}$ y $30 \mu\text{gL}^{-1}$ respectivamente) exceden los límites establecidos por la Resolución 283/2019 para la protección de vida acuática y uso recreativo con contacto directo (ACUMAR, 2019). Mientras que las concentraciones de metales pesados en sedimento se registraron en el siguiente orden decreciente: Cr>Zn>Cu>Pb>Ni. Se realizó un análisis comparativo de los resultados con los niveles guías de calidad de suelo para uso residencial del Decreto n° 831/93 debido a la existencia de asentamientos urbanos en las márgenes del río. Con excepción de Pb y Ni, los valores de metales encontrados en el sedimento superan los permitidos para el uso residencial.

Los 5 metales estudiados que se encontraban en altas concentraciones en el sedimento (Figura 2), fueron asimilados por *S. montevidensis*. La incorporación de los metales siguió el siguiente orden decreciente: Zn>>Cu>Cr>Ni=Pb similar al reportado por Chatterjeer et al, (2011) para esta especie. A pesar de que en el sedimento el Cr fue el metal mayoritario, esto no se condice con los resultados encontrados en el tejido. El Zn y el Cu fueron encontrados en mayor concentración dentro del tejido de la planta (Figura 2) dado que son micronutrientes y los organismos necesitan de estos para su crecimiento y funciones metabólica (Ahmad, 2016). Por otro lado, el cromo, plomo y níquel fueron incorporados en menor medida por la planta. Estos, no tienen funciones biológicas conocidas y son tóxicos incluso cuando están presentes en bajas concentraciones para

los organismos vivos (Salt et al., 1995).

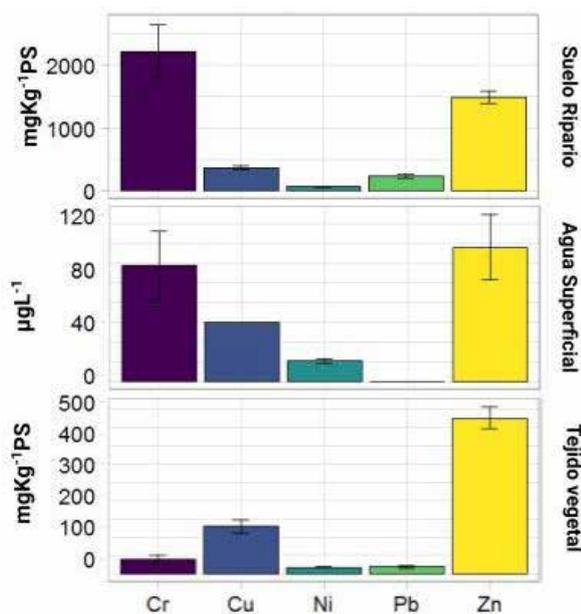


Figura 2.- Distribución de metales pesados en cada matriz: suelo ribereño (mg kg⁻¹ p.s.), agua (µg L⁻¹) y tejido vegetal (mg kg⁻¹ p.s.). Las barras de error representan el desvío estándar.

Todos los FBC obtenidos fueron menores a 1 evidenciando un comportamiento excluyente por parte de *S. montevidensis*. Frente a concentraciones altas de contaminantes, las plantas activan mecanismos de defensa limitando la entrada de estos iones tóxicos al tejido radicular. En el caso del FT, solo fue >1 para Cu y Ni evidenciado un efecto acumulador para los mismos, mientras que resultó exclusor (FT<1) para Zn y Ni (Tabla 1).

Tabla 1.- Factor de Bioconcentración y Translocación para cada metal.

	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
FBC	0.0	0.4	0.3	0.0	0.3
FT	0.2	2.2	1.0	0.1	0.7

En cuanto a la distribución de los metales dentro de los órganos de la planta (Figura 3), tanto el Zn como el Pb presentaron concentraciones mayores en raíz con respecto a los otros órganos. Por otro lado, el Ni y Cr se acumularon tanto en raíz como en parte aérea (PA) pero no fueron translocados a las flores. El Cu fue el único metal translocado a todos los órganos de forma equitativa.

El metal que fue mayormente incorporado por la planta fue el Zn. La concentración más alta de este metal se encontró en las raíces (252 ± 44 mg kg⁻¹ peso seco) y se distribuyó dentro de la planta en el siguiente orden decreciente: raíz>PA>flor. La concentración de Pb asimilada por toda la planta fue 18.7 ± 4.8 mg kg⁻¹ ps. En el caso de Ni, se observó que tiene movilidad dentro *S. montevidensis* a pesar que la máxima concentración de este se observó en la raíz (17.7 ± 1.0 mg kg⁻¹ ps). A pesar de su toxicidad para plantas, se observaron concentraciones de cromo en la PA (10.4 ± 1.1 mg kg⁻¹ ps).

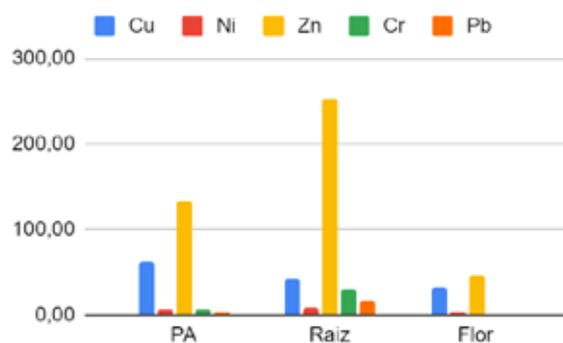


Figura 3.- Distribución de metales pesados en cada órgano de la planta: Parte Aérea (mg kg⁻¹ p.s.), Raíz (mg kg⁻¹ p.s.) y Flor (mg kg⁻¹ p.s.)

Conclusiones

Se determinó que el principal reservorio de Cr, Ni, Zn, Pb y Cu del sistema son los sedimentos, encontrándose valores relativamente bajos en agua. A pesar de los daños que pueden ocasionar los metales pesados en las especies vegetales, en los ejemplares analizados estos no fueron registrados ya que no presentaron signos de estrés, habiendo completado sus estados fenológicos. Todos los metales fueron absorbidos por la *S. montevidensis*. Es un acumulador para Cu y Ni, mientras que se comporta como excluyente de metales para Cr, Pb y Zn. El Zn y el Cu fueron los elementos más asimilados porque son micronutrientes esenciales para el desarrollo de la planta. El Cu fue el único metal que se distribuyó en todos los órganos. A pesar de su toxicidad, las concentraciones de Ni y Cr se detectaron en la parte aérea, mientras que el Pb quedó prácticamente confinado a las raíces. Desde el punto de vista medioambiental, esta especie autóctona está adaptada al medio degradado en el que crece. En este contexto, la preservación y revegetación de esta especie en las zonas ribereñas constituye una alternativa sostenible de rehabilitación debido a su tolerancia y a su disponibilidad para acumular y estabilizar los metales pesados presentes en el suelo ribereño.

Referencias

- Ahmad P (2016) *Plant metal interaction: emerging remediation techniques*. Elsevier, Amsterdam
- Chatterjee S, Chetia M, Singh L et al (2011) *A study on the phytoaccumulation of waste elements in wetland plants of a Ramsar site in India*. Environ Monit Assess 178:361–371
- Decreto 831/93 del 23/04/93
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/12830/norma.htm>. Ingresado 23-06-2023
- J.A. Peters, D.M. Lodge, (2009) *Littoral Zone*, Editor(s): Gene E. Likens, Encyclopedia of Inland Waters, Academic Press, Pages 79-87, ISBN 9780123706263, <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00218-0>.
- Lesiv, Marta & Polishchuk, A. & Antonyak, Halyna. (2020). *Aquatic macrophytes: ecological features and functions*. StudiaBiologica. 14. 79-94. 10.30970/sbi.1402.619.
- Salazar MJ, Pignata ML (2014) *Lead accumulation in plants grown in polluted soils*. Screening of nativespeciesforphytoremediation. J GeochemExplor 137:29–36
- Salt DE, Blaylock M, Kumar NP et al (1995) *Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants*. Biotechnology 13:468–474

CALIBRACIÓN DEL *PARTICLE ENTRAINMENT SIMULATOR* PARA REALIZAR ENSAYOS DE SIMULACIÓN DE DRAGADO Y EVALUAR CAMBIOS EN CALIDAD DEL AGUA

Valeria Rodríguez Salemi^{1*}, Marisol Reale¹, Hernán Vassallo², Gustavo Curutchet³ y Agnès Paterson⁴

¹Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua y ²Subgerencia Laboratorio de Hidráulica ambos del Instituto Nacional del Agua; ³Escuela de Hábitat y Sostenibilidad, Universidad Nacional de San Martín y ⁴Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Argentina. *vsalemi@ina.gov.ar

Resumen

Los sedimentos suelen ser reservorios de contaminantes pudiendo convertirse en fuente de dispersión de los mismos. Es por esto que cuando el material a dragar se encuentra contaminado, resulta fundamental realizar una evaluación del impacto que esta actividad puede generar. El *Particle Entrainment Simulator* (PES) es un dispositivo experimental utilizado para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos que permite el monitoreo de la columna de agua por inspección directa e induce la resuspensión a tensiones de corte (τ) conocidas. El objetivo de este trabajo fue verificar el funcionamiento de un PES de construcción propia, a través de la calibración de τ en función de los rpm de giro del motor. Se realizaron ensayos en el PES con 5 diámetros de arenas pretratadas (lavadas y tamizadas) en una relación arena:agua destilada 1:4,21 (V:V) y por triplicado. Se determinó el valor de rpm en el cual se observó la iniciación de movimiento para cada diámetro, siendo los valores de tensión de corte crítica (τ_{cr}) estimados a partir de la curva de Shields modificada (van Rijn, 1993). Posteriormente, se generó la curva de τ en función de rpm. La curva de calibración presentó un r^2 de 0.998 y los porcentajes de recuperación de los predichos frente a los observados se encontraron entre los 97 y 104%. Los resultados se compararon con los obtenidos en el PES de USACE (Parchure y Gailani, 2005) que fue calibrado con un canal anular. La diferencia porcentual entre los predichos por la calibración USACE y la propia fueron menores al 3%. En conclusión, se verifica el correcto funcionamiento del PES construido, con el cual se espera realizar simulaciones de dragado con sedimento y agua de un sitio real para predecir la composición de la columna de agua durante el dragado. Esta predicción resulta de suma importancia, la misma podría mejorar la gestión de la actividad en lo que respecta al monitoreo de la calidad del agua, cobrando mayor relevancia en aquellos cursos cuyo uso principal es el de abastecimiento de agua para consumo.

Introducción

El *Particle Entrainment Simulator* (PES) es un dispositivo experimental utilizado para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos que permite el monitoreo de la columna de agua por inspección directa e induce la resuspensión a tensiones de corte (τ) conocidas (Parchure y Gailani 2005). Comparado con otros métodos utilizados para evaluar los efectos de la resuspensión de sedimentos, tiene la ventaja de permitir el monitoreo de la columna de agua por inspección directa y la resuspensión del sedimento a tensiones de corte conocidas. Ha demostrado ser una importante herramienta para evaluar movilidad de contaminantes en el sistema agua:sedimento (Cantwell, Burgess, y Kester 2002; Li et al. 2016; Parchure y Gailani 2005; Wang et al. 2015).

El objetivo de este trabajo fue verificar el funcionamiento de un PES de construcción propia, a través de la calibración de τ en función de los rpm de giro del motor. Esta validación es muy importante para asegurar el funcionamiento correcto del equipo y la reproducción de las tensiones de corte deseadas.

Materiales y Métodos

El PES consiste en un cilindro de acrílico con un disco perforado

(Figura 1) que posee un movimiento vertical de tipo pistón controlado por un motor de velocidad variable con un rango de trabajo de τ que va desde 0.2 a 0.6 Pa. Para operarlo se debe colocar en el fondo del cilindro la muestra de sedimento y luego colocar un determinado volumen de muestra de agua para asegurarse una relación agua:sedimento (V:V) cercana a 4:1. El movimiento de ascenso y descenso del disco genera la resuspensión del sedimento y es posible monitorear la columna de agua.

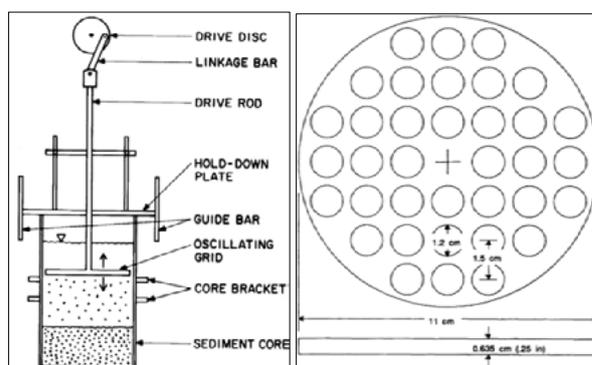


Figura 1.- Esquema del PES (Tsai y Lick 1986) (izquierda) y del disco perforado (Abdelrhman, Paul, y Davis 1996)

Basándose en el PES de USACE (Parchure y Gailani 2005) se construyó un dispositivo propio (Figura 2). El motor eléctrico utilizado es marca SIEMENS modelo SIMOTICS GP 1AV1073B de $P=0,3$ [KW] con un convertidor de frecuencia marca SIEMENS modelo SINAMICS V20 permitiendo controlar el trabajo del eje del motor con una precisión de 0,1 Hz.



Figura 2.- Foto del PES construido

Los valores de τ generados en el cilindro fueron estimados a partir de la tensión de corte crítica (τ_{cr}) de arenas de diámetro conocidos a través del ensayo de calibración de τ en función de los rpm de giro del motor.

Se convierten los Hz del variador de frecuencia a rpm para poder comparar los resultados obtenidos con los del PES de USACE (Parchure y Gailani 2005) que fue calibrado con un canal anular.

La relación existente entre la frecuencia del variador y los rpm de giro del motor se realizó con un tacómetro óptico marca LUTRON modelo DT-2268 sobre el eje del motor del PES. Las mediciones se realizaron en 3 días diferentes en una relación sedimento:agua 1:4,21 (V:V). Para estos ensayos se utilizaron arena fina (<250 µm)-agua destilada, arena gruesa (entre 1190 y 2000 µm)-agua destilada y sedimento-agua fluvial.

Tabla 1.- Tamices utilizados en el pretratamiento de las arenas de la calibración

Apertura de poro (µm)	US Alternative
250	#60
300	#50
425	#40
600	#30
850	#20
1190	#16

La calibración se realizó mediante ensayos en el PES con 5 diámetros de arenas pretratadas (lavadas y tamizadas) (Tabla 1) en una relación arena:agua destilada 1:4,21 (V:V), por triplicado y registrando el valor de rpm en el cual se observó la iniciación de movimiento para cada diámetro. Los valores de tensión de corte crítica (τ_{cr}) fueron estimados a partir de la curva de Shields modificada por van Rijn (Figura 3) y el cálculo del diámetro adimensional (D^*) (Ecuación 1) (van Rijn 1993). Posteriormente, se generó la curva de τ en función de rpm.

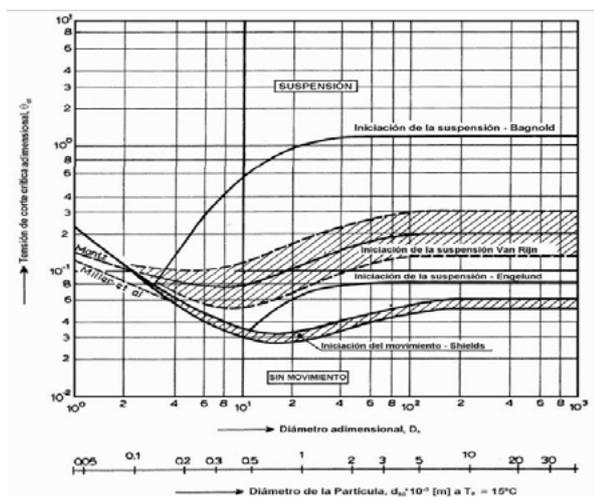


Figura 1.- Curva de Shields

El criterio para considerar “iniciación de movimiento” fue el de movimiento débil que es el que se produce cuando algunas o varias de las partículas de arena están en movimiento en lugares aislados y en cantidad suficientemente pequeña como para poder contar las que se mueven en un centímetro cuadrado de fondo.

$$D^* = \frac{ds}{\nu} \sqrt{0.1 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g ds} \quad [1]$$

Dónde: ds es el diámetro de la partícula (m), ν es la viscosidad cinemática (m^2/s), γ_s es el peso específico del cuarzo (N/m^3), γ es el peso específico del agua (N/m^3) y g es la gravedad (m/s^2).

Resultados

La Ecuación 2 es la que relaciona los Hz del variador con los rpm de giro del eje del motor.

$$Hz = 0.0346 * rpm - 0.0842 \quad [2]$$

En la Tabla 2 figuran los resultados obtenidos en la calibración del PES. El diámetro de partícula considerado fue la media entre los dos tamices utilizados durante el pretratamiento de las arenas. Los valores de rpm de la Tabla 2 se corresponden con los que se registraron cuando se iniciaba el movimiento de cada diámetro de arena.

Tabla 2.- Valores de rpm obtenidos para cada diámetro de arena y sus correspondientes valores de tensión de corte crítica

Diámetro de partícula (µm)	τ_{cr} (Pa)	rpm de iniciación de movimiento		
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
275	0,21	390	396	396
362,5	0,23	399	402	402
512,5	0,29	448	471	471
725	0,38	569	587	587
1020	0,56	841	824	702

La curva de calibración obtenida se puede observar en la Figura 4, la misma fue superpuesta a la curva de calibración del PES de USACE (Parchure y Gailani 2005). La curva de calibración presentó un r2 de 0.998 y los porcentajes de recuperación de los predichos frente a los observados se encontraron entre los 97 y 104%. Por otro lado, la diferencia porcentual entre los predichos por la calibración USACE y la propia fueron menores al 3%.

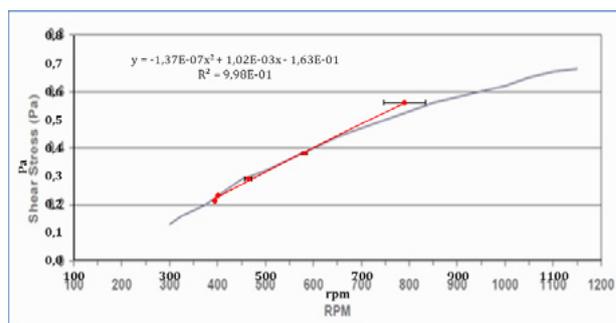


Figura 4.- Curva de calibración del PES propio (línea roja y ecuación) superpuesta a la curva de calibración del PES de USACE (línea negra) Los puntos rojos son los valores medios obtenidos en la calibración y las barras de error corresponden al EE

Conclusiones

Se verifica el correcto funcionamiento del PES construido, con el cual se espera realizar simulaciones de dragado con sedimento y agua de sitios fluviales reales para predecir la composición de la columna de agua durante una operación de dragado. Contar con esta predicción resulta de suma importancia ya que permitiría anticiparse a los impactos ambientales que la actividad puede generar, cobrando mayor relevancia en aquellos cursos cuyo uso principal es el de abastecimiento de agua para consumo.

Referencias

- Cantwell, M. G., R. M. Burgess, y D. R. Kester. 2002. “Release and phase partitioning of metals from anoxic estuarine sediments during periods of simulated resuspension”. Environmental Science and Technology 36: 5328–34.
- Li, R. et al. 2016. “Multiphase redistribution differences of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between two successive sediment suspensions”. Frontiers of Environmental Science and Engineering 10(2): 381–89.
- Parchure, T. M, y J. Z. Gailani. 2005. Particle Entrainment Simulator at the U. S. Army Engineer Research and Development Center. Washington.
- van Rijn, L. 1993. “Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas”. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas.
- Wang, P. et al. 2015. “Effects of hydrodynamic conditions on the sorption behaviors of aniline on sediment with coexistence of nitrobenzene”. Environmental Science and Pollution Research 22(15): 11595–605.

USO DE CATEGORÍAS TOXICOLÓGICAS COMO HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE DOS CUENCAS FLUVIALES DE UNA REGIÓN SEMIÁRIDA DE ARGENTINA

¹Ariana Rossen, ²M. Florencia Kronberg, ³Araceli Clavijo, ²Mariana Manetti, ⁴Aldana Moya, ⁶Daniel Calvo, ⁵Adriana Mariani, ⁵Rocio Hernández, ⁵Santa E. Salatino, ⁵José Morábito, ⁷Mario Rossi, ²Eliana Munarriz

¹Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Sugerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua. Instituto Nacional del Agua, Au. Ezeiza – Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1620, Ezeiza, B1804 Buenos Aires, Argentina arossen@ina.gov.ar

²Cátedra de Bioquímica, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Avda. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales, Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Avda. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. kronberg@agro.uba.ar, mmanetti@agro.uba.ar; eliana.munarriz@gmail.com

³Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional, Universidad Nacional de Salta - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Avda. Bolivia 5150, A4408FVY Ciudad de Salta, Argentina. a.clavijo@agro.uba.ar

⁴Cátedra de Protección vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Avda. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. amoya@agro.uba.ar

⁵Instituto Nacional del Agua. Belgrano Oeste 210, M5500FIF Mendoza, Argentina. amariani@ina.gov.ar; rherandez@fca.uncu.edu.ar; titisalatino@hotmail.com; jamorabito53@yahoo.com.ar

⁶Sugerencia de Servicio Hidrológicos, Instituto Nacional del Agua, Au. Ezeiza – Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1620, Ezeiza, B1804 Buenos Aires, Argentina. dcalvo@ina.gov.ar

⁷Instituto de Investigaciones en Medicina Traslacional. Facultad de Ciencias médicas. Universidad Austral- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Av. Pte. Perón 1500, B1629AHJ, Pilar, Buenos Aires, Argentina. mrossi-conicet@austral.edu.ar

Introducción

Uno de los grandes desafíos de la gestión sostenible de los recursos hídricos es la provisión de agua suficiente en cantidad y calidad para los usos consuntivos y no consuntivos de la población, así como los caudales necesarios para mantener los servicios ecosistémicos. Para ello, las agencias ambientales deben establecer programas de control y monitoreo de los cursos de agua, como herramienta esencial para su caracterización fisicoquímica y bacteriológica. Sin embargo, dado que el entorno acuático recibe mezclas complejas de contaminantes, los análisis y metodologías disponibles deberían también evaluar el riesgo de los contaminantes biodisponibles y su interacción. Por esta razón, existe un interés creciente en el uso de pruebas toxicológicas y bioensayos en la evaluación de impacto ambiental de los cuerpos de agua. Sin embargo, la toma de decisiones regulatorias y de gestión basadas en estas pruebas requiere consolidar y acordar valores límite que diferencien entre calidad de agua aceptable y no aceptable en función de sus usos posibles, así como, la necesidad de evaluación y validación de métodos bioanalíticos en estudios de campo. En este marco, el objetivo de este trabajo fue la utilización de 3 bioensayos estandarizados con especies de diferentes niveles tróficos para la evaluación integrada de la calidad de agua de la cuenca del Río Tunuyán (CRT) y del Río Mendoza (CRM), correspondiente a una región semiárida en la prov. de Mendoza, Argentina (Morabito et al., 2011; Mariani et al., 2017).

Sitios de muestreo y metodología

En la Fig. 1 se presentan los sitios de monitoreo de CRT [en el tramo superior se encontraban Las Tunas (LT), Arroyo Yaucha (Y), Arroyo Aguanda (A) y Valle de Uco (VU), y en la cuenca inferior Costa Anzorena (CA), Dique Tiburcio Benegas (TB) y San Martín (SM)] y los sitios de CRM [en la cabecera del sistema se ubicaba la presa Cipoletti (RI), y corriente abajo, puntos ubicados en la red derivada de canales de riego (CI, CII, CIV y CV)]. CI ubicado aguas abajo de la ciudad de Mendoza, en el canal Guaymallén. Este canal entrega agua a otros canales: Jocolí (CII) y Tulumaya (CV). CII se ubica aguas abajo de la planta depuradora de Campo Espejo. CV, entrada del canal Pescara, colector de drenaje agrícola, efluentes urbanos e industriales. El sitio CIV derivado de RI, riega pequeños oasis de producción de frutas y recibe descargas de origen agrícola

(fertilizantes y fitosanitarios). Se realizaron 16 muestreos durante las campañas del 2015 al 2017. Las muestras fueron colectadas en la sección media del cauce; se transportaron, almacenaron y conservaron de acuerdo con los métodos estándar (SM 1060-C) (APHA, 2017).

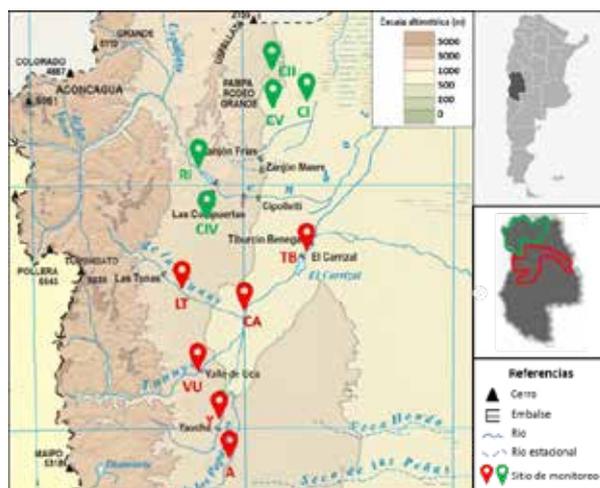


Figura 1.- Localización de los sitios de monitoreo en CRT (puntos rojos) y CRM (puntos verdes). Mendoza, Argentina

El bioensayo de toxicidad aguda con el nematodo *Caenorhabditis elegans* se desarrolló según ISO (2010). Se incubaron 10 nematodos en el estadio larval L1 con las muestras de agua y *E. coli* como fuente de alimento. Los ensayos se realizaron en placas de cultivo de 24 pocillos y se incubaron durante 96 h a 20 °C. Se detuvo el crecimiento, se tiñeron con solución de Rosa Bengala (0,5 g/L) y se almacenaron a 4 °C hasta su procesamiento. Los individuos se fotografiaron con microscopio óptico (40X) y se determinó la longitud del cuerpo de cada nematodo.

Para el ensayo de toxicidad aguda con las semillas de lechuga *Lactuca sativa* se adaptó la técnica propuesta por Sobrero y Ronco (2004). Se colocaron papeles de filtro en cajas de Petri con 4 ml de muestra de agua y 17 semillas. Las placas se incubaron a 22 °C ± 2 durante 6 días (primeras 24 horas con luz y luego 5 días en oscuridad). Como control negativo se utilizó agua dura reconstituida. Al finalizar el ensayo se registró el

porcentaje de germinación, la elongación de la raíz y el tallo.

El bioensayo de toxicidad aguda con el alga unicelular *Pseudokirchneriella subcapitata* se realizó según OCDE (2011). Las exposiciones se efectuaron en viales de vidrio con 6 mL de muestra, 0,3 mL de medio de crecimiento y un inóculo de 5×10^5 células mL⁻¹. La incubación se realizó 72 h a 24 °C, 90 rpm, con luz blanca permanente ($25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El crecimiento de algas se determinó por conteo microscópico de células utilizando una cámara de Neubauer.

Todas las determinaciones se realizaron por cuadruplicado y se expresaron como crecimiento relativo respecto a un control. Para caracterizar la magnitud del efecto tóxico, se construyó un ranking de categorías de toxicidad basado en la tasa de crecimiento relativa del organismo: efectos no tóxicos (> 0,90); efectos levemente tóxicos (0,75-0,89), efectos moderadamente tóxicos (0,74-0,50) y efectos altamente tóxicos (<0,49). Se calculó el porcentaje relativo de cada categoría para cada sitio de monitoreo.

Resultados y conclusiones

La Fig. 2 muestra los resultados de los 3 bioensayos para las muestras de agua de los sitios estudiados. CRT muestra una clara diferencia en los resultados entre los sitios aguas arriba (A, Y y LT) y los aguas abajo (VU, CA, TB y SM); lo que sugiere mejor calidad en la cabecera. En particular, el crecimiento del tallo de *L. sativa* respecto al control fue mayor en los sitios río abajo de CRT, probablemente debido a la presencia de una alta concentración de nutrientes (Fig. 2C). Algo similar se observó en CRM, donde los sitios sobre canales mostraron mayor crecimiento del tallo que la cabecera RI, coincidiendo con valores más altos de concentración bacteriana y orgánica (resultados no mostrados).

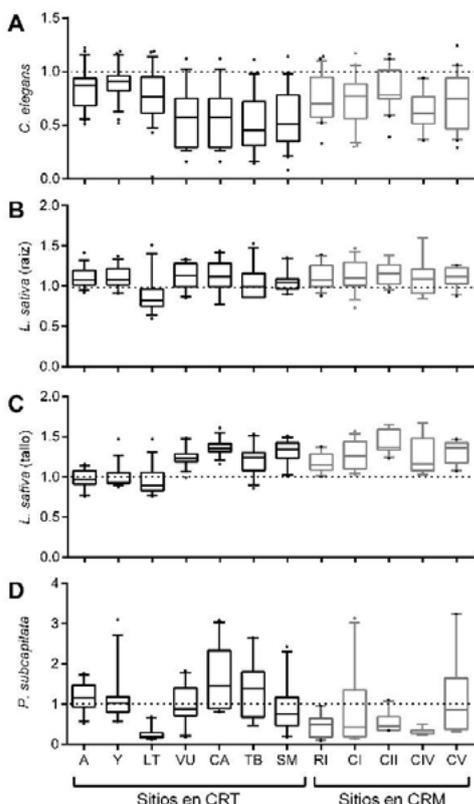


Figura 2: Distribución de la respuesta ecotoxicológica de *C. elegans*, *L. sativa* y *P. subcapitata*

La Fig. 3 ilustra las categorías toxicológicas y su frecuencia en cada sitio. Tanto para *C. elegans* como para *P. subcapitata*, cada sitio exhibió diferentes efectos biológicos tóxicos, obteniendo muestras que caían en tres o cuatro categorías tóxicas diferentes. La mayoría de las muestras en CRT aguas

abajo (VU, CA, TB y SM) obtuvieron una categoría de efecto altamente tóxico para el bioensayo de *C. elegans* (entre 54 a 83%), en contraste con los sitios aguas arriba en los que solo el 7% de las muestras LT cayeron en esta categoría. En los sitios de CRM, las muestras con categoría de efecto altamente tóxico para el bioensayo de *C. elegans* oscilaron entre 0 y 42%. Con respecto a *P. subcapitata*, todos los sitios CRM y, LT y SM de CRT registraron más del 30% de las muestras en la categoría de efecto altamente tóxico. Para *L. sativa* solo LT destaca cierta frecuencia de muestras ligeramente tóxicas. Dado que no hay actividades urbanas o agrícolas en el sitio de LT, la fitotoxicidad podría deberse a una composición mineral natural del suelo.

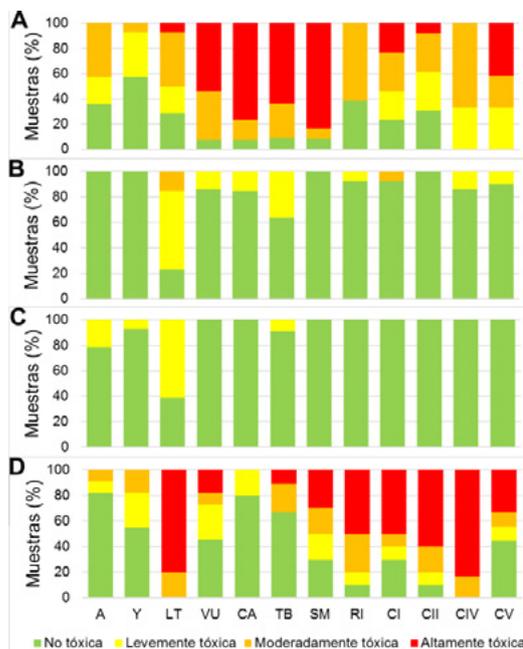


Figura 3: Frecuencia de muestras con categorías toxicológicas en cada sitio. *C. elegans* (A), *L. sativa* raíz (B) y tallo (C), *P. subcapitata* (D).

En resumen, se obtuvo una mayor frecuencia y distribución de la categoría más tóxica para el nematodo, lo que ilustra mayor sensibilidad. Así también, de los valores de mayor toxicidad para los modelos fitotóxicos, se muestra que no siempre es coincidente con el nematodo, refuerza la idea de la efectividad de usar una combinación de modelos biológicos en los análisis integrados de calidad del agua superficial. Esta representación tiene como fin, mostrar una herramienta visual que facilite la interpretación, a los efectos de apoyar y fortalecer la toma de decisiones para una adecuada gestión del agua, que proteja los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

Referencias

- APHA (2017). Standard Methods for examination of water and wastewater. 23rd Edition. Washington Am Public Heal Assoc. Washington;
- Clavijo, A., Kronberg, M. F., Rossen, A., Moya, A., Calvo, D., Salatino, S. E., ...& Munarriz, E. R. (2016). "The nematode *Caenorhabditis elegans* as an integrated toxicological tool to assess water quality and pollution". *Science of The Total Environment*, 569, 252-261;
- ISO (2010). ISO 10872: 2010. "Water quality-Determination of the toxic effect of sediment and soil samples on growth, fertility and reproduction of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda)". *Inter. Org. for Standardization*, Geneva; Suiza
- Mariani, A.; Bermejillo, A.; Hernández, R.; Stocco, A.; Morábito J. (2017). "Variabilidad de los parámetros químicos del agua de riego en el oasis norte y centro de Mendoza". 20ma Reunión Internacional de GIESCO. Mendoza, Argentina. 5-10 de noviembre de 2017. ISBN 978-987-42-6111-3. pp. 200.
- Morábito J., Salatino S.E., Medina R., Miralles S.,...& Burgos V. (2012). "Indicadores químico-microbiológicos de calidad de las aguas del ríoTunuyán superior (Mendoza, Argentina)". *CLICAP. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria* – UNCuyo, San Rafael, Mendoza
- OECD (2011). "OECD Test No. 201: *Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test*". OECD Publishing, Paris.
- Sobrero M.C y Ronco A., (2004). "Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: estandarización, intercalibración resultados y aplicaciones". Ed G. Castillo Morales. Inst. Mexicano de Tecnología del agua. México.

CIANOBACTERIAS TÓXICAS EN AGUA: EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DOMÉSTICO PARA PROVISIÓN DE AGUA SEGURA

Ruibal Conti, A.L.^{1,2}, Rodríguez M.I.¹, Díaz Lesta A.^{1,2}, Romero F. E.², Ferreyra A.²,
Arnijas C.L.², Ruiz M.A.^{1,2}

¹ Instituto Nacional del Agua, Argentina
² Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

E-mail: aruibal@ina.gov.ar, 8903759@ucc.edu.ar, mruiz@ina.gov.ar, mirodriguez@ina.gov.ar, fe.romero@mi.unc.edu.ar, araceef@gmail.com

Introducción

Los sistemas de purificación de agua domésticos son una alternativa importante para mejorar la calidad del agua de consumo en zonas sin acceso a agua potable y prevenir las enfermedades de transmisión hídrica. Sin embargo, el uso de estos dispositivos de purificación del agua depende en gran medida de la calidad de la fuente de agua. En este trabajo se evaluó la eficiencia del sistema usado por una escuela rural que usa agua extraída directamente del Embalse San Roque el cual presenta recurrentes floraciones de cianobacterias. Se estudió la capacidad del purificador para remover bacterias indicadoras de contaminación fecal, fitoplancton y microcistinas totales.

Materiales y Métodos

El sistema fue evaluado mensualmente durante los 9 meses del año lectivo 2022. Se tomaron muestras por duplicado del agua antes de ingresar al purificador (pre-purificador) y muestras por duplicado del agua a la salida del purificador (post-purificador). En las muestras se cuantificaron: 1) Coliformes totales (CTot), termotolerantes (CTermo) y *E coli* a través del método de tubos múltiples y usando sustrato cromogénico EC-MUG (según SM 9221 B, E, F modificado), 2) Fitoplancton por método de membrana filtrante (según 10200 C, F) el cual se ha demostrado como una técnica útil, expeditiva y confiable para el análisis de fitoplancton en agua potabilizada (Maza et al, 2018) y 3) Microcistinas totales por ELISA (Microcystins/Nodularins (ADDA) ELISA KIT (Abraxis. LC=0.16µ/L) Microcystest kit (ZEULAB, LC=0.25µ/L). También se evaluaron parámetros de calidad de agua *in situ*: conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales con sonda multiparamétrica (AQUAREAD AP-2000). Los datos obtenidos se analizaron y graficaron usando MS-EXCEL®. A los fines del tratamiento estadístico se tomaron los valores no observables y los valores menores al límite de cuantificación (LC) como cero.

Resultados

De los parámetros medidos *in situ*, la turbidez es el que presentó mayor diferencia entre los valores pre y post-purificador; el resto de los parámetros presentan diferencias mínimas que no superan una unidad de medición y no se presentan en este trabajo. Para el caso de la turbidez (Figura 1) el purificador la reduce a valores dentro de lo indicado por el Código Alimentario Argentino (C.A.A.) en lo que respecta al agua apta para consumo (Turbidez: máx. 3 NTU).

El ensayo bacteriológico indicó que el agua de ingreso al purificador contenía CTot, CTermo y *E coli*. Los valores en el agua pre-purificador alcanzaron máximos de 110, 9,2 y 4,6 NMP/100mL respectivamente y las mismas fueron removidas satisfactoriamente por el sistema purificador. La Figura 2 presenta los valores promedios para cada mes de las coliformes en el agua pre-purificador; no se hallaron coliformes en el agua post-purificador. De este modo, y en coincidencia con las especificaciones del fabricante, el filtro fue capaz de remover el total de las bacterias y así el agua post-purificador cumple con la normativa del C.A.A y

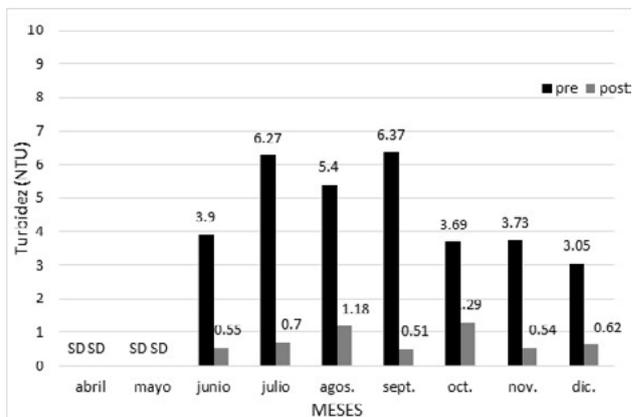


Figura 1.- Variación de la turbidez en el agua pre- y post-purificador en el periodo abril-marzo 2022.

de la Resolución provincial 174/16 para el agua de consumo las cuales establecen un límite de menos de 3 o 2,2 NMP/100mL (respectivamente) para coliformes y ausencia de *E. coli*.

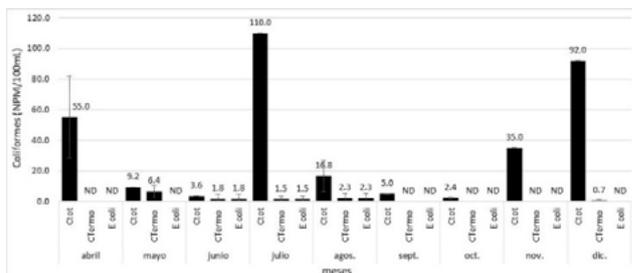


Figura 2.- Variación de las coliformes en el agua pre-purificador durante el periodo abril-marzo 2022. Se presentan valores promedios. (ND: no detectable).

El análisis de fitoplancton mostró la presencia de algas de diversos grupos y géneros en las muestras pre y post-purificador. La máxima abundancia para el agua pre-purificador se encontraron el mes de septiembre con una concentración promedio de 294000 cel/L y para el agua post-purificador en el mes de mayo con una concentración máxima promedio de 1980 cél/L.(Figura 3)

En el agua pre-purificador prevalecieron las diatomeas de los géneros *Aulacoseira* y *Cyclotella* y las cianobacterias del género *Dolichospermum* (Tabla 1). En el caso de las muestras post-purificador, los géneros con mayor abundancia, fueron *Dolichospermum* y *Gloeotheca*, ambas cianobacterias con una concentración promedio de 160 cél/L.

El sistema logra remover una cantidad importante de algas (en promedio entre el 94 y el 99%), pero no las remueve totalmente. En el agua post-purificador se observa la presencia de fitoplancton en todas las ocasiones de muestreo y de cianobacterias potencialmente tóxicas en los meses de abril, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

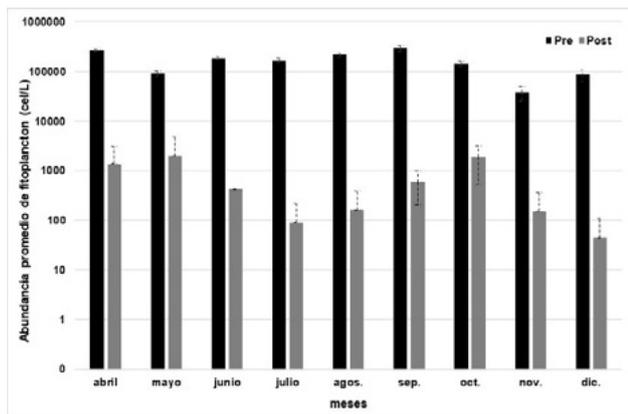


Figura 3.- Variabilidad temporal de la abundancia promedio de fitoplancton en el agua pre y post filtro. (Línea punteada: desviación estándar).

Tabla 1.- Abundancia promedio por género en muestras pre- y post-purificador.

Género de alga	Phylum	Pre_F [cél/L]	Post_F [cél/L]
Aulacoseira	Bacillariophyta	82.000	90
Cyclotella	Bacillariophyta	43.820	30
Melosira	Bacillariophyta	7.790	4
Navicula	Bacillariophyta	870	4
Closterium	Chlorophyta	3.300	2
Staurastrum	Bacillariophyta	no obs.*	1
Raphidiopsis	Cyanobacteria	1.120	3
Dolichospermum	Cyanobacteria	23.050	160
Gloeothecae	Cyanobacteria	no obs.*	160
Nostoc	Cyanobacteria	no obs.*	3

*nota: no obs. indica que ese género no fue observado en el agua pre-purificador, probablemente por la gran abundancia de otros géneros, que posteriormente fueron removidos por el purificador pudiendo ser observables en el agua post-purificador

Vale destacar que algunos géneros, particularmente *Gloeothecae* y *Dolichospermum*, si bien a veces no eran detectadas en las muestras pre-purificador si podían observarse en las muestras post-purificador lo que podría atribuirse a que en las muestras pre-purificador quedan enmascaradas por el mayor contenido de material inorgánico y orgánico, lo que no sucedió en las muestras post-purificador, que, al estar más limpias, permitieron observar células de menor tamaño.

El CAA establece que el agua potable, no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico. Por otra parte, las Normas de Calidad y Control de Aguas para Bebida de la provincia de Córdoba (Decreto 174/16) dispone que debe evitarse la presencia de fitoplancton o sus metabolitos perjudiciales, aunque no establece un límite numérico. Dada la presencia de cianobacterias que podrían ser potencialmente tóxicas, el agua post-purificador no sería recomendable para su consumo.

En relación a las microcistinas, se detectó su presencia a partir del mes de septiembre (Figura 4). La concentración promedio máxima detectada fue en octubre con 5.8 µg/L en el agua pre-purificador y 5.1 µg/L en el agua post-purificador. Aunque en todos los casos en los cuales se detecta microcistina en el agua pre-purificador pareciera haber una reducción de la concentración en el agua post-purificador, dada las elevadas desviaciones

estándares de los ensayos, no se puede afirmar que el sistema sea capaz de remover la toxina.

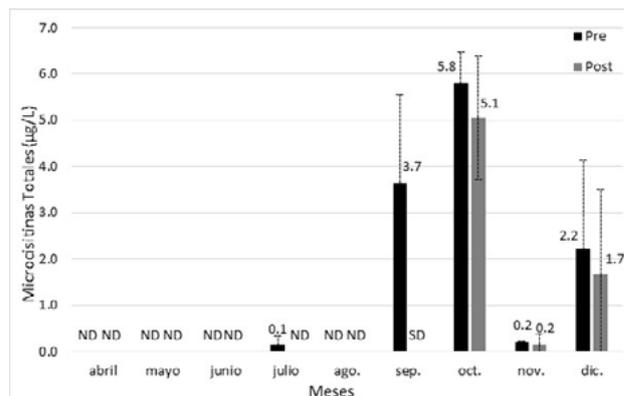


Figure 4.- Variabilidad temporal de la concentración promedio de microcistinas totales en el agua pre y post purificador. (ND: no detectable. SD: sin dato. línea punteada: desviación estándar).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que se observó la presencia de microcistinas sin haber registrado en la muestra la presencia de cianobacterias (ej. julio) y viceversa (ej. abril). En el primer caso esto puede deberse a diversas razones, por un lado se podría atribuir a que el número de células se halla por debajo del límite de detección de la técnica y por otro a que la metodología de recuento solo contempla recuento de células vivas, y es posible la permanencia de la toxina en solución luego de la muerte celular. En el segundo caso se podría atribuir a que la cepa no es toxigénica.

Conclusiones

El sistema de purificación adoptado por la escuela resulta útil para remover la turbidez y el contenido bacteriano, sin embargo resulta insuficiente para reducir el contenido de fitoplancton y de microcistinas totales.

Por ello no se recomienda para aguas superficiales con alto contenido en algas potencialmente tóxicas. Cabría esperar que resulte un sistema útil de aplicar en zonas en las que la fuente de agua no presente estas características, por ejemplo una fuente de agua subterránea.

Financiamiento

Este trabajo se llevó adelante con el financiamiento de la Universidad Católica de Córdoba (Fondos Proyecto Código 800 201801 00163 CC y del Instituto Nacional del Agua (INA-SCIRSA).

Referencias

- AWWA, APHA y WFF. (2017). "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Editores: Braun-Howland, E. B. Hunt, M. Edición N° 23. ISSN: 55-1979 PP 1545.
- Código Alimentario Argentino. (2021). "Capítulo XII. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas. AGUA POTABLE". Artículo 982 - (Resolución Conjunta SCS y SAbYDR N° 22/2021) Consultado 30/03-2023. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf
- Maza N., Ullmer F., Ruibal Conti A.L., Ruiz M. y Rodriguez M.I. (2018). "Aplicación de una Técnica Sencilla para Determinación de Fitoplancton en Agua de Red". 4to. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH). INA-Ezeiza (Buenos Aires).

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO CORRIENTE EN EL PERÍODO 2019-2022 CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA SEQUÍA.

Mario Salvia, Meza Ana y Pérez Omar

Instituto Correntino del Agua y del Ambiente. Bolívar N° 2275. CP: 3400. Corrientes, Argentina
E-mail: operezfortunato@corrientes.gob.ar

Introducción

El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural caracterizado por la fluctuación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial, asociada a cambios en la atmósfera. Este fenómeno tiene una gran influencia en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo y comprende tres fases: El Niño, La Niña y una fase neutra (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2014). De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, desde septiembre de 2020 hasta abril de 2023 solamente se repitió la fase de la Niña, es decir se transitó tres Niñas consecutivas.

En la provincia de Corrientes, ubicado en el noreste Argentino los efectos del déficit hídrico climático han sido notorios. En su territorio se encuentran importantes sistemas fluviales, ríos permanentes y temporarios, como así también lagunas, esteros y bañados (Alarcón, M. F., & Insaurralde, J. A., 2011). Entre estos se encuentra el río Corriente que forma parte de una de las cuencas internas más importantes de la provincia ya que permite el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, con un caudal del río en periodos normales de aproximadamente 205 m³/s medido en Paso Lucero (Instituto Correntino del Agua y del Ambiente [ICAA], 2003). Sin embargo, a partir de junio del año 2019 el caudal presentó valores por debajo de la media y con tendencia descendente. Esta disminución en el caudal ha producido variaciones en la calidad del agua.

Con base a lo anterior este trabajo pretende evaluar los impactos de la sequía en la calidad del agua del río Corriente y sus efectos sobre la aptitud de agua para riego. La intención de esta información permitirá una mejor comprensión y gestión del recurso ante futuros eventos de escases hídrica.

Objetivos

- Evaluar la variabilidad espacial y temporal de parámetros de calidad del agua del río Corriente desde el segundo semestre 2019 hasta el primer semestre del 2022.
- Determinar los efectos de las variaciones en la calidad del agua del río respecto a la aptitud del agua para riego.

Área de estudio

El río Corriente nace en el Sistema Iberá y atraviesa la provincia hacia el suroeste. Recorre unos 400 kilómetros de noroeste a suroeste de la provincia de Corrientes, desembocando en el río Paraná, en la ciudad de Esquina (Díaz, J. D., et al, 2016). A lo largo del cauce principal se definieron cuatro estaciones de muestreo.

Tabla 1.- Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo.

Sitio de extracción	Identificación de las muestras	Coordenadas geográficas
Est. El Dorado	MCRC6	28° 44' 11,8" S
		58° 0,8' 14,5" O
Paso Lucero y Río Corriente	MCRC7	28° 59' 39,5" S
		58° 33' 32,3" O

Paso López y Río Corriente	MCRC8	29° 13' 25" S
		58° 46' 38,5" O
Paso Sta. Rosa y Río Corriente	MCRC9	29° 48' 38,5" S
		59° 23' 35,7" O

Método

El muestreo abarcó el periodo 2016 - 2022, entre los meses de marzo-abril, septiembre-agosto y noviembre-diciembre de cada año. En los sitios de extracción se tomaron muestras de agua superficial en el centro del cauce del río. Estas se almacenaron en dos recipientes de plástico, cada uno con una capacidad de un litro, para los análisis físico-químicos. La toma de muestras, el método de conservación y análisis para los diferentes parámetros fueron realizados por personal del Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (FACENA) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), conforme los protocolos estandarizados por normas internacionales de la APHA - AWWA - WPCF. Los parámetros determinados fueron: pH, color, turbiedad, conductividad, cloruros, sulfatos, alcalinidad, calcio, magnesio, sodio, residuos totales por evaporación, DQO, nitratos, nitritos, amonio y fósforo.

Para observar los efectos por la reducción del caudal en el tiempo, se compararon los valores promedios de cada fecha del monitoreo del intervalo comprendido entre el segundo semestre de 2019- primer semestre de 2022 con respecto a los valores promedio del lapso de tiempo entre el segundo semestre 2016- primer semestre 2019, en el cual el caudal no presentó tendencia decreciente. Los valores de los caudales corresponden a las mediciones realizadas en el punto Paso Lucero (MCRC7) y fueron obtenidos de la base de datos del Sistema Nacional de Información Hídrica de la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas de la Nación.

Por otro lado, para evidenciar la variabilidad de los parámetros durante el periodo de estudio a lo largo del curso, se utilizaron diagramas de cajas y bigotes.

La aptitud de agua para riego entre los años 2019-2022 en cada uno de los puntos de muestreo fue evaluada empleando los criterios propuestos por el Laboratorio de Salinidad de Riverside (1954), para lo cual previamente se determinó la relación de Adsorción de Sodio (RAS) mediante la ecuación (1).

$$RAS = \frac{[Na+]}{\left(\frac{[Ca2+]+[Mg2+]}{2}\right)^2} \quad [1]$$

[Na+1] = Concentración de ion sodio en meq./L;
[Ca+2] = Concentración de ion calcio en meq./L ;
[Mg+2] = Concentración de ion calcio en meq./L;

Resultados

Variación Temporal

En el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2019, tomado como referencia, el río no presentó una tendencia definida y los caudales oscilaron por encima y por debajo de la media, presentando un valor mínimo de 83,66 m³/s en el mes de febrero de 2018. Por otro lado, a partir de junio del año 2019 el río Corriente presentó un caudal inferior al valor medio 205 m³/s, continuando con tendencia descendente a lo largo del periodo 2019-2022, alcanzando en mes de febrero de 2022 el valor mínimo de 6,78 m³/s y una leve tendencia ascendente en marzo y abril de ese mismo año con valores de 10,91 m³/s y 29,07 m³/s respectivamente (Figura 1).

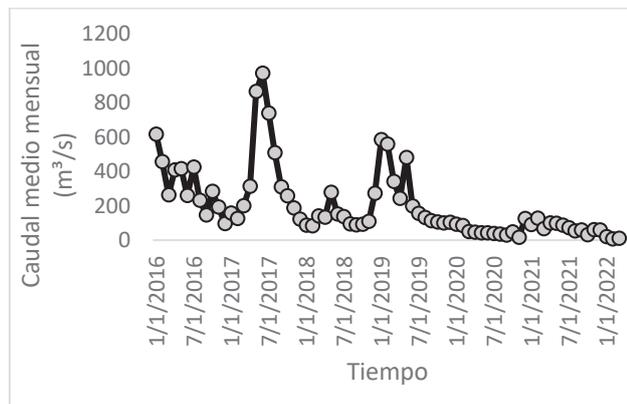


Figura 1.- Caudales medios mensuales periodo 2016-2022.

Entre el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2019 los valores de conductividad variaron de 56,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 139,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para el segundo semestre de 2019 al primer semestre de 2022 se halló un valor mínimo de 85,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (agosto de 2019) y un valor máximo de 1.194,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (abril de 2022). Este parámetro presentó una tendencia ascendente en coincidencia con la disminución del caudal durante el periodo de estudio (Figura 2).

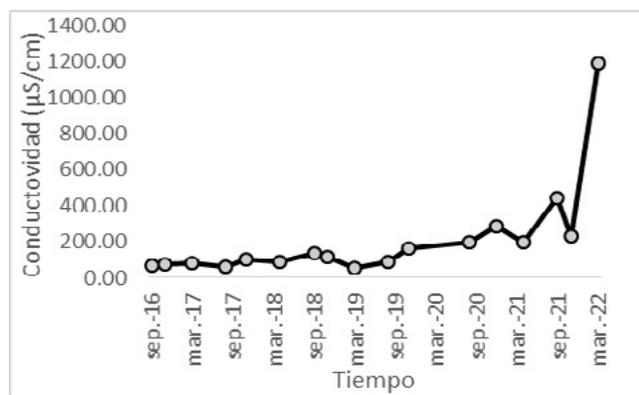


Figura 2.- Conductividad promedio para el periodo 2016-2022.

Variación Espacial

A lo largo del curso, en la dirección de escurrimiento hacia el Paraná, la conductividad promedio de cada punto aumentó desde CRC6 a CRC7 pasando de 234,52 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 433,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. En CRC8 la conductividad fue 369,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en CRC9 fue 336,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir de CRC7 se observó que los valores promedios disminuyeron ligeramente de un punto de muestreo al otro. Este cambio en la tendencia a partir de CRC7 hasta CRC9, se debe a los valores extremos de cada punto obtenidos en el mes de abril que mostraron la misma tendencia como se observa en la figura 3.

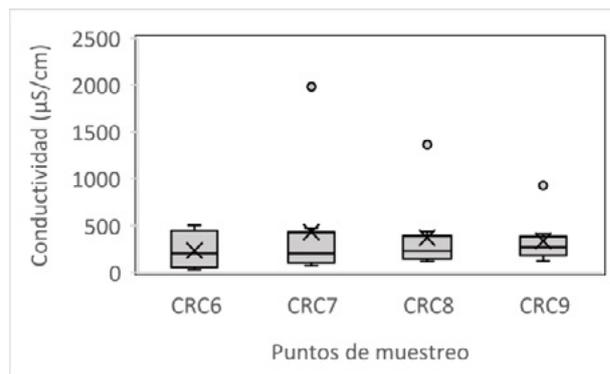


Figura 3.- Conductividad en los puntos de muestreo. Periodo 2019-2022.

Evaluación de la aptitud de agua para riego.

En el 86 % de los casos evaluados las aguas se clasificaron como agua de buena calidad apta para el riego. El 14 % restante se clasificó como apta para riego con precaución. Esta última clasificación se debe a los valores máximos de conductividad detectados en todo los punto en abril de 2022.

Conclusión

La evaluación temporal muestra como la reducción del caudal a lo largo del periodo de 2019 -2022 afectó principalmente a la conductividad, alcanzándose en el mes de abril de 2022 el valor promedio máximo de 1.194,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor, también podría estar asociado a un breve periodo de recuperación del caudal después de febrero de 2022 lo que condujo a un mayor aporte de iones de los afluentes, posiblemente del arroyo Pay Ubre al norte de CRC7.

Con respecto a la variación espacial se observó que CRC6 presenta una conductividad menor que los puntos siguientes. Entre CRC7, CRC8 y CRC9 no hay una marcada variación de la conductividad y sus valores se encuentran sujetos a los aportes realizados por los diferentes afluentes a lo largo del curso.

A pesar del aumento progresivo en la concentración de sales durante todo el periodo de escasas hídrica, las aguas se clasificaron como aguas de buena calidad aptas para riego con excepción del mes de abril de 2022 donde se encontró una calidad apta para riego con precaución.

Bibliografía

Alarcón, M. F., & Insaurre, J. A. (2011). Recursos hídricos y aprovechamiento de la cuenca del río Miriñay, provincia de Corrientes, Argentina. *Contribuciones Científicas GEA*, 23, 21-36.

Díaz, J. D. R., Fechner, D. C., Goyechea, R. M. I., Martínez, R. A., & Vazquez, F. A. (2016). Physicochemical Characteristics of Corriente River, Argentine, Period 1998-2014. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(12), 118-125

Instituto Correntino del agua y del ambiente (2003). Río Corriente-Paso Lucero. Ríos de Corrientes. Caudales. <https://icaa.gov.ar/rios-de-corrientes-caudales>.

Organización Meteorológica Mundial (2014). El niño/Oscilación del Sur. OMM-N° 1145. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7889

TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES INSPECCIÓN DESAGUANTES INDUSTRIALES COLECTOR PESCARA. PRUEBA PILOTO.

1^{er}. Lic. Esp. Fernando Santos, 2^{do}. Téc. Qco. Manuel Carmona y 3^{er}. Téc. Ernesto Oliva

Departamento General de Irrigación, Subdelegación de Aguas del Río Mendoza, Inspección Desaguentes Industriales Colector Pescara
Mendoza, Argentina

fsantos@irrigacion.gov.ar; mcarmona@irrigacion.gov.ar; voliva@irrigacion.gov.ar.

Introducción

Desde el 21 de septiembre del 2022, en el Sistema de Saneamiento del Colector Pescara, se está ejecutando una prueba piloto de fitodepuración que busca evaluar la factibilidad de aplicación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de efluentes industriales provenientes del Sistema de Saneamiento del Colector Pescara.

Para llevar adelante esta acción y poder ejecutar decisiones efectivas y oportunas para el funcionamiento del sistema, se firmó un Convenio Marco (Decreto N° 1958) entre el Departamento General de Irrigación (DGI); la Inspección Desaguentes Industriales Colector Pescara; el Ministerio de Planificación e Infraestructura Pública; la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial; y Agua y Saneamiento Mendoza.

El trabajo en la prueba piloto lo lleva adelante la Inspección Desaguentes Industriales Colector Pescara, la Subdelegación de Aguas del Río Mendoza (DGI) con el apoyo de la Dirección de Gestión Ambiental del Recurso Hídrico (DGI). Todos ellos, promueven acciones integradas de gestión por objetivos y diálogo con la sociedad, para así cumplir con la propuesta del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con énfasis en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos.

Los humedales artificiales son ecosistemas semi acuáticos que tienen la capacidad natural de remover contaminantes del agua residual, ya sean cloacales o industriales. Este tipo de tratamiento es una alternativa de bajo costo, mejora la calidad del efluente tratado y, por su acción de fijar carbono, disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. En la provincia de Mendoza el uso de humedales para el tratamiento de efluentes industriales es una práctica poco difundida.

La prueba piloto que se está realizando es a pequeña escala, simulando el funcionamiento de un humedal natural, con el propósito de estudiar su eficiencia y eficacia en cuanto a la capacidad depuradora de sus plantas para tratar las aguas residuales. En este sistema, por medio de análisis fisicoquímicos, muestreos "in-situ" y observaciones, se está analizando el comportamiento de diferentes parámetros para corroborar la existencia de disminución de las cargas contaminantes.

Metodología

Actualmente en Mendoza existen 32 industrias que vuelcan líquidos residuales industriales tratados al Sistema de Saneamiento del Colector Pescara. Estos vuelcos son controlados por el Departamento General de Irrigación, quien garantiza el cumplimiento de los parámetros establecidos aptos en la agricultura. Este sistema se compone por un colector subterráneo

de 15 km de distancia que corre paralelo al colector Canal Pescara en el Departamento de Maipú, hasta cruzar el carril Godoy Cruz del Departamento de Guaymallén. Las industrias que vuelcan sus líquidos son en su mayoría: bodegas, conserveras, aceiteras (aceite de oliva o elaboración de aceitunas), faenamiento ganado vacuno, u otras como de reciclado de papel, granjas avícolas y bebidas no alcohólicas.

En la prueba piloto se analiza la capacidad depuradora del humedal artificial y se monitorean parámetros a partir de las pruebas fisicoquímicas en el Laboratorio de Aguas (DGI) de: Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.), Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T.), Fosfatos (PO_4^{-3}), pH, Conductividad Eléctrica, Nitratos (NO_3), Nitritos (NO_2), Nitrógeno Total Fósforo total (PT) y Coliformes fecales.

Las dimensiones del humedal artificial son 12 m de largo, 1.85 m de ancho y una profundidad de 0.90 m, con una pendiente del 1%. Se estimó un tiempo de residencia hidráulica de 7 días, suministrado por medio de una cisterna de con capacidad 2.700 L y se ha dosificado en 2.000 L/días por medio de cañerías de diámetro: Ø 63".

Tabla 1.- Detalle del humedal

Tiempo de retención estimado	7 días
Caudal promedio diario	2000 L/ días
Volumen del humedal	19.98 m ³
Profundidad	0.9 m
Ancho	1.85 m
Longitud	12 m
Area	22.2 m ²

En cuanto al sustrato se realizó una cama de 2 cm de arena gruesa; luego 2 cm de grava y seguido de esto se rellenó con material de rechazo de cantera. Por último, se realizó la plantación de Totora (*Typha domingensis*), Carrizo (*Phragmites australis*) Junco triangular (*Schoenoplectus californicus*).

En la Figura 1 se puede observar el croquis del diseño de humedal y en la Figura 2 se visualiza el humedal artificial.

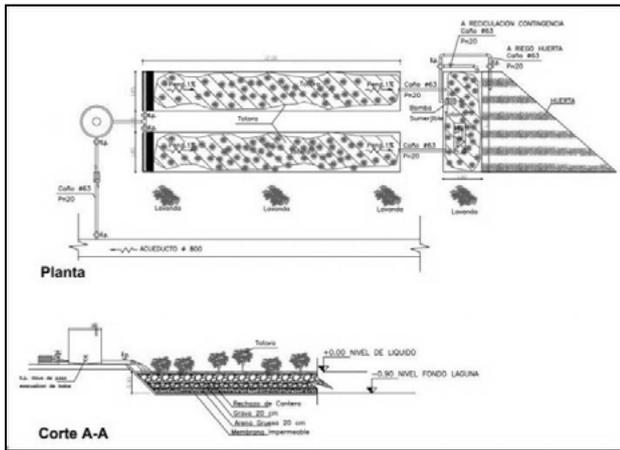


Figura 1.- Croquis del humedal



Figura 2.- Humedal artificial

Resultados parciales

Hasta la fecha, el sistema de humedales funciona de modo eficiente presentando altos porcentajes de remoción de contaminantes, disminuyendo no sólo los valores medios, sino la variabilidad de los mismos a pesar de la alta heterogeneidad del efluente de entrada (Tabla 2). Si bien el pH de efluentes fue diferente a la entrada, los valores a la salida no fueron significativamente diferentes. Esto es, el efluente presentó mayores valores de conductividad en la salida que en la entrada.

Por otro lado, las concentraciones de nitrato y nitrito disminuyeron de manera satisfactoria, obteniendo un buen porcentaje de remoción. Las condiciones aeróbicas favorecieron la retención de fosfato, obteniendo valores por arriba de 50% de remoción. El nitrógeno total presentó una remoción del 70%. Sin embargo, es de destacar que las concentraciones de nitrito medidas son bajas, pero se encuentran dentro de los valores exigidos por la Resolución 778/96 y sus modificatorias del Departamento General de Irrigación.

En general en el sistema acuático, el amonio es removido por sedimentación, nitrificación, absorción por las plantas o volatilización. Por ello, DQO y DBO mostraron valores significativamente altos en la remoción, los cuales para ambos casos superaron el 95%.

Tabla 2.- Datos parciales del muestreo del humedal artificial

Parámetro	Entrada		Salida		% Remoción
	Media	Rango	Media	Rango	
pH	7,08	6,8-7,4	7,38	6,8-8,3	
conductividad (µS/cm)	1544,8	1365-165	1558,6	1408-1718	
Sólidos sedimentables (10 minutos)	34,06	0,1-170	0,8	0-0,1	99,80%
Sólidos sedimentables (2horas)	20,06	0,1-100	0,08	0-0,1	99,60%
Sólidos suspendidos totales	360	55-1147	30	19-58	91,70%
DBO	258,2	69-407	11,14	4,9-36	95,69%
DQO	481,4	136-904	16,54	2,9-71	96,56%
Fosfatos	4,12	2,6-5,5	1,836	0,85-3,5	55,40%
Nitratos	0,74	0,3-1,2	0,52	0,2-3,5	28,60%
Nitritos	0,13	0,04-0,49	0,049	0,4-0,5	64,10%
Nitrógeno Total	26,2	7,7-54,4	7,82	5-14,7	70,15%
Sodio	106,2	80-140	104	85-141	2,07%

Referencias

APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (pp. 1268). New York: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.

Boström, B., Ahlgren, L., & Bell, R. (1985). Internal Nutrient Loading in a Eutrophic Lake, Reflected in Seasonal Variations of Some Sediment Parameters. *Verhandlungen*, 44(22), 3335-3339.

Chen, T. Y., Kao, C. M., Yeh, T. Y., Chien, H. Y., & Chao, A. C. (2006). Application of a Constructed Wetland for Industrial Wastewater Treatment: A Pilot-Scale Study. *Chemosphere*, 64, 497-502.

Di Luca, G. A., Maine, M. A., Mufarrije, M. M., Hadad, H. R., Sánchez, G. C., & Bonetto, C. A. (2011). Metal Retention and Distribution in the Sediment of a Constructed Wetland for Industrial Wastewater Treatment. *Ecol. Eng.*, 37, 1267-1275.

Dunbabin, J., & Bowmer, K. (1992). Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewaters. *Containing Metals. Sci. Tot. Environ.*, 111, 151-168.

Guo, T., Delaune, R., & Patrick, W. (1997). The Effect of Sediment Redox Chemistry on Solubility/Chemically Active Forms of Selected Metals in Bottom Sediment Receiving Produced Water Discharge. *Spill. Sci. Technol.*, 4, 165-175.

Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 1, enero-febrero de 2016, pp. 5-16 Maine et al., *Humedales construidos para tratamiento de efluentes de industrias metalúrgicas en Santa Fe, Argentina*

Hammerly, J., Leguizamon, M., Maine, M. A. & Schiver, D. (1989). Decomposition Rate of Plant Material in the Parana Medio River (Argentina). *Hydrobiologia*, 183, 179-184.

VARIABILIDAD HIDROQUÍMICA DE AMBIENTES INTERMAREALES EN EL ESTUARIO MEDIO Y EXTERIOR DEL RÍO DE LA PLATA

Santucci L.¹, Carol E.¹, Tanjal C.¹, Galliari J.¹, Pasquale Pérez M.P.¹.

1. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

luciasantucci@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

El Río de la Plata (RDLP) es un sistema fluvial de 290 km de largo, ubicado en la costa este de Sudamérica el cual se caracteriza por ser uno de los ríos más anchos del mundo con distancias entre sus costas que varían entre 30 y 220 km, mientras que su profundidad varía entre los 0,5 y 25 m (Framiñan y Brown, 1996). El RDLP conforma un estuario de cuña salina de composición predominantemente dulce en la costa del estuario interior a medio a salobre-salino en la costa del estuario exterior (Guerrero et al., 1997a y b). La distribución de la salinidad varía tanto espacial como temporalmente y la misma depende de las descargas fluviales, las mareas y el viento (C.A.R.P., 1989). Esta variación en la salinidad determina que el litoral argentino constituya un entorno mixohalino en donde se desarrollan distintos ambientes intermareales. El objetivo del trabajo es evaluar la variación en la composición química del agua superficial y subterránea en los ambientes intermareales dentro del estuario medio y exterior del río.

Metodología

Se estableció una red de monitoreo de agua que comprende puntos de medición y de muestreo de agua superficial en el estuario, en el mar, en arroyos y canales de marea del sector costero, y de agua subterránea que corresponde a pozos someros del litoral del estuario (Fig. 1). En dichos puntos se determinó *in situ* el pH y la conductividad eléctrica (CE) del agua mediante equipo portátil, entre marzo y noviembre de 2021. Además se tomaron muestras para la determinación química de iones mayoritarios, mediante técnicas estandarizadas, y de elementos traza, mediante ICP-MS (APHA, 1998). Cabe aclarar que para el análisis de agua superficial en el estuario medio no se realizaron monitoreos y los datos fueron obtenidos de Cellone (2019) y Delgado et al. (2020a y b).

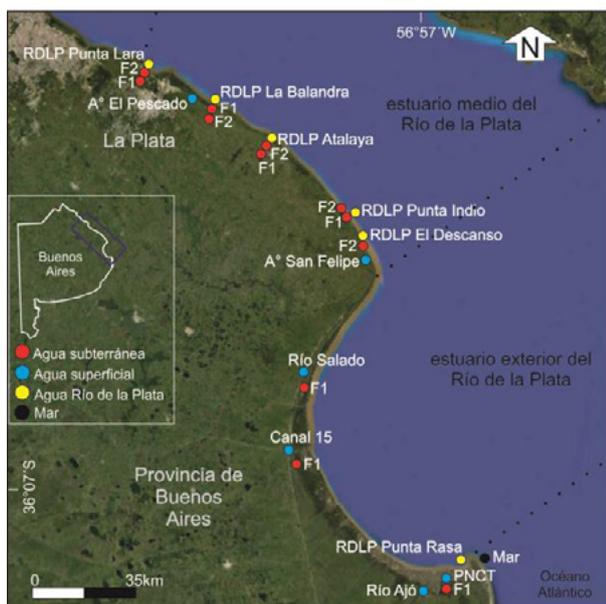


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y puntos de monitoreo. F1 y F2 indican los pozos someros realizados en cada estación.

PNCT=Parque Nacional Campos del Tuyú.

Resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la CE en las muestras de agua del estuario del RDLP aumenta de norte a sur, con valores desde 264 (Punta Lara) hasta 24700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Punta Rasa), siendo 40100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el agua de mar en el sector limítrofe con el estuario. Los valores de pH van desde 7,64 hasta 10,87, sin observar una tendencia en la variación espacial. La CE del agua de arroyos y canales de marea del sector costero varía entre 696 (A° San Felipe) y 32500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PNCT), con valores de pH entre 8,01 y 9,06. Respecto a las muestras de agua subterránea extraídas de pozos someros, éstas también presentan valores variables mostrando una CE entre 405 (Punta Lara F1) y 37200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Río Salado F1) y valores de pH entre 6,08 y 7,19. Las variaciones espaciales en la salinidad están asociadas a cambios en las facies hidroquímicas. En las muestras de agua tomadas del estuario del RDLP, al igual que aquella correspondiente a la muestra de agua de mar la facies hidroquímica es de tipo clorurada sódica en todos los casos, excepto la muestra tomada en la estación ubicada más al norte (Punta Lara), la cual es de tipo bicarbonatada magnésica-sódica. Las muestras de agua superficial tomadas de arroyos y canales en el sector costero son de tipo bicarbonatada sódica en el sector de estuario medio y de tipo clorurada sódica en el sector de estuario exterior. Respecto a las muestras de agua subterránea en la mayoría de los casos éstas son de tipo clorurada sódica, con excepción de dos muestras ubicadas en la estación más al norte (Punta Lara) las cuales son de tipo bicarbonatada sódica y bicarbonatada cálcica magnésica.

Asimismo, pueden reconocerse variaciones espaciales en los contenidos de elementos traza tanto para el agua del estuario del RDLP, como para el agua superficial obtenida de arroyos y canales de la zona costera, como para el agua extraída de los pozos someros. En las muestras de agua tomadas del estuario medio del RDLP se observa que los mayores valores corresponden a Fe (media 1049,6 $\mu\text{g}/\text{L}$) y Mn (media 95,4 $\mu\text{g}/\text{L}$), seguido de Cu (media 70,9 $\mu\text{g}/\text{L}$) y V (media 21,8 $\mu\text{g}/\text{L}$) (Fig. 2), mientras que los valores para Cr, As y Pb no superan los 5 $\mu\text{g}/\text{L}$.

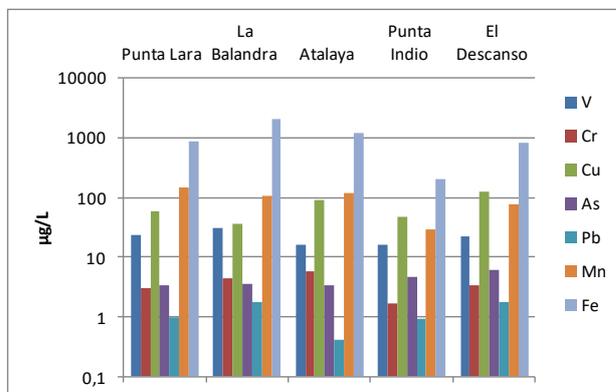


Figura 2.- Elementos traza en agua del estuario medio del RDLP, en orden de norte a sur.

En las muestras de agua de arroyos y canales de la zona costera

se observan también elevados valores de Fe (media 424,4 $\mu\text{g/L}$) y de Cu (media 172,2 $\mu\text{g/L}$), seguido de Mn (media 118,0 $\mu\text{g/L}$), V (media 44,5 $\mu\text{g/L}$) y As (media 18,2 $\mu\text{g/L}$) (Fig. 3). En particular, se destacan elevados contenidos de Cu en el agua superficial en los sectores de Río Salado, Canal 15, Río Ajó y PNCT, siendo los mismos de 167,2, 128,8, 156,3 y 385,3 $\mu\text{g/L}$ respectivamente. Los valores para Cr y Pb no superan los 2 $\mu\text{g/L}$.

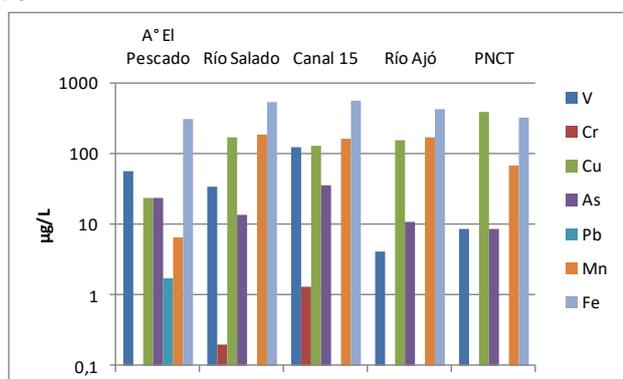


Figura 3.- Elementos traza en agua superficial de arroyos y canales de la zona costera del estuario medio y exterior del RDLP, en orden de norte a sur.

En las muestras de agua subterránea extraídas de los pozos someros en la zona costera del estuario medio y exterior se observan elevados valores de Fe (media 5909,9 $\mu\text{g/L}$) y Mn (media 4602,0 $\mu\text{g/L}$), seguido de Cu (media 97,9 $\mu\text{g/L}$) y V (media 14,3 $\mu\text{g/L}$). Por su parte, los elementos que se encuentran en menor concentración son As (media 6,5 $\mu\text{g/L}$), Cr (media 5,6 $\mu\text{g/L}$) y Pb (media 2 $\mu\text{g/L}$) (Figs. 4 y 5).

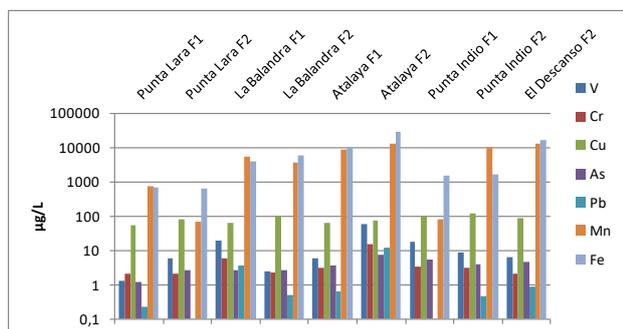


Figura 4.- Elementos traza en agua subterránea de los pozos someros del litoral del estuario medio del RDLP, en orden de norte a sur.

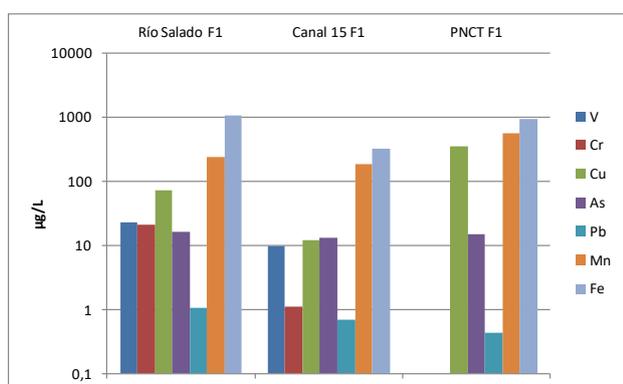


Figura 5.- Elementos traza en agua subterránea de los pozos someros del litoral del estuario exterior del RDLP, en orden de norte a sur.

Conclusiones

Desde el estuario medio hacia el límite sur del estuario exterior

el agua del RDLP evidencia un aumento de salinidad acompañado de cambios en las facies hidroquímicas hacia tendencias cloruradas sódicas, característica que evidencia la propagación de la cuña salina desde el mar hacia el interior del estuario. Por otro lado, la distribución de los contenidos de elementos traza no responde estrictamente al gradiente de salinidad del estuario, lo que indicaría que las concentraciones de estos elementos derivarían de aportes antrópicos los que se sumarían a los mareales. Respecto a los arroyos y cursos que drenan hacia el RDLP en el estuario medio éstos tienen menor salinidad que aquellos del estuario exterior, posiblemente por la influencia mareal que domina en esta última zona. Las facies hidroquímicas de los arroyos también varían siendo de bicarbonatadas sódicas a cloruradas sódicas. Este comportamiento en la salinidad y facies también se observa en las muestras de agua subterránea del sector intermareal. En relación a los elementos traza, se destaca el elevado contenido de Fe, Mn y Cu obtenido en las muestras de agua superficial de arroyos y canales costeros que probablemente estén asociados a descargas de efluentes industriales sobre el agua de los mismos. Además, el contenido de Fe en el agua subterránea de los pozos analizados en todo el estuario llega a triplicar los valores obtenidos en las muestras de agua del estuario y de las aguas superficiales de arroyos y canales, y el contenido de Mn es asimismo muy superior. Esto último puede adjudicarse a la posible liberación de Fe y Mn al agua subterránea, por reducción de óxidos que contengan estos elementos los cuales pueden estar presentes en los sedimentos del área. Este proceso puede estar asociado a alternancias de aireación del suelo y condiciones redox del ambiente. Por otro lado, los elementos traza V, As, Cr, Cu y Pb determinados en el agua de la zona pueden estar asociados a actividades antrópicas e industriales en los ambientes adyacentes al estuario.

Los resultados presentados en este trabajo aportará información importante que podrá contribuir al manejo de ambientes de humedales intermareales en diversas áreas costeras del estuario.

Referencias

- APHA (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edn. American Public Health Association, Washington, DC.
- C.A.R.P. (1989) Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata. Comisión Administradora del Río de la Plata. Montevideo, Buenos Aires, 422 pp.
- Cellone, F.A. (2019). "Evaluación de los recursos hídricos en un sector de la planicie costera del Río de la Plata" (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Delgado, M.I., Carol, E., Di Lello, C., Mac Donagh, M.E. (2020a). "Distribución y concentración de elementos traza en aguas superficiales y subterráneas del arroyo El Pescado, Argentina", *Revista del Museo de La Plata* 5(2), pp. 454-466.
- Delgado, M.I., Carol, E., Mac Donagh, M.E., Casco, M.A. (2020b). "Chemical variation of surface water and groundwater in relation to water balance in the watershed of El Pescado Creek (Central-Eastern Argentina)". *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-10.
- Framiñan, M.B., Brown, O.B. (1996). Study of the Río de la Plata turbidity front, Part I: spatial and temporal distribution. *Continental Shelf Research* 16(10), 1259-1282.
- Guerrero, R.A., Acha, E.M., Framiñan, M.B., Lasta, C.A. (1997a). "Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina". *Continental Shelf Research*, 17(7), 727-742.
- Guerrero, R.A., Lasta, C., Acha, E.M., Mianzan, H., Framiñan, M. (1997b). "Hydrographic Atlas of the Río de la Plata". CARP-INIDEP, Buenos Aires, Montevideo.

EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES A ESCALA PILOTO: INNOVACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN URBANA SOSTENIBLE

Saveika C.⁽¹⁾, Gomez B. M.⁽¹⁾, Larrandart S.⁽¹⁾, Quinteros M.⁽¹⁾, Cherny F.⁽¹⁾, Sinistro R.⁽²⁾ y Graziano M.⁽²⁾

(1) Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina.

(2) Laboratorio de Limnología, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

E-mail: bmgomez.ina@gmail.com

Introducción

Las ciudades enfrentan grandes desafíos en cuanto a la gestión del agua, especialmente en barrios donde la infraestructura sanitaria es deficiente o nula. En estos, las aguas pluviales se mezclan con las aguas grises de las viviendas. En el caso del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se estima que las aguas residuales de más de cinco millones de personas se vierten en ríos y arroyos sin ningún tipo de tratamiento (Cirelli y Ojeda 2008; Öberg et al. 2014). Como resultado, los arroyos urbanos de las cuencas del AMBA tienen una mala calidad de agua, con alto contenido de materia orgánica, nutrientes y contaminación microbiológica evidenciando la necesidad de abordajes alternativos como el de Infraestructura Verde (IV). Un ejemplo de IV son los Humedales Construidos (HC), que representan una opción consolidada para la gestión del agua y el tratamiento de las aguas residuales, con numerosas aplicaciones y múltiples ventajas medioambientales y económicas (Stefanakis, 2019).

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar dos configuraciones diferentes de HC vertical, mediante el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) y la eficiencia de remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo.

Palabras claves: Tiempo de Retención Hidráulico, Infraestructura Verde, Biofiltros.

Materiales y métodos

Configuración de los humedales construidos verticales

La estructura de los HC estuvo constituida por una maceta de tela geotextil de 150 L con dos arreglos de capas y sistema de aireación diferente:

Configuración I

Se dispuso, de arriba abajo, el siguiente arreglo de sustrato: arena, grava fina, LECA (arcilla expandida), pometina y grava gruesa. Como sistema de aireación, en cada dispositivo se colocaron cuatro tubos independientes PVC perforados de 10 mm de diámetro. Se colocó un caño de descarga en la parte inferior del humedal.

Configuración II

En este caso, el arreglo de material utilizado, de arriba abajo fue: arena, grava fina, LECA. Como sistema de aireación, en cada dispositivo se colocaron cuatro tubos PVC perforados de 3/4", interconectados entre sí y con un caño de descarga en la parte inferior del humedal.

Se realizaron 3 réplicas para cada configuración y en ambos diseños se empleó *Typha latifolia* como especie vegetal, comúnmente conocida como totora.

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación de los 6 HC (**Figura 1**) constó de un tanque de 500 L de capacidad para el almacenamiento y un tanque elevado de 1000L para la alimentación, ambos con sensores de nivel que permiten la recarga del tanque de alimentación cuando su nivel es bajo e impiden el encendido de la bomba centrífuga cuando el nivel del tanque de almacenamiento no es suficiente.

El sistema cuenta con una autonomía de una semana y es recargado semanalmente con el efluente cloacal del Instituto Nacional del Agua (Ezeiza).

El riego de los dispositivos fue automatizado empleando un temporizador eléctrico conectado a una electroválvula solenoide y programado para regar los HC dos veces por día con un caudal de 10 L min⁻¹ durante 7 minutos.



Figura 1.- Sistema de alimentación de 6 Humedales Construidos, sistema de riego y tablero de control.

Determinación del tiempo de retención hidráulico

Para la determinación del TRH se empleó la curva de distribución de tiempos de residencia (DTR) (Levenspiel, 2002). Se utilizó como trazador una solución de cloruro de sodio al 0.2% inyectada al sistema como pulso a caudal constante (2.9 L min⁻¹) midiendo de forma continua en intervalos de 10 segundos la concentración del ion cloruro con un electrodo de ion selectivo (modelo HQ 4300) hasta que la concentración vuelva al basal.

El tiempo de retención hidráulico medio se calculó empleando la Ec. 1 (Alasino, 2015):

$$t_M = \frac{\sum(t_i \Delta t_i C_i)}{\sum(\Delta t_i C_i)} \quad [1]$$

donde: t_M es el tiempo de retención hidráulico medio y t_i y C_i son los tiempos y concentraciones.

El TRH fue determinado para cada dispositivo en ambas configuraciones.

Determinación de parámetros fisicoquímicos para evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes

Se determinó, tanto en el efluente, así como a la salida de cada dispositivo: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Disuelto (DOC), Fósforo Total (PT) y Nitrógeno Total por Kjeldahl (NTK), empleando metodologías estandarizadas (APHA, 2018). Para el cálculo de la eficiencia de remoción se utilizó la Ec. 2.

$$\% \text{ Remoción} = \left(1 - \frac{C_o}{C_i}\right) \quad [2]$$

donde C_o : concentración del efluente del HC (mgL^{-1}) y C_i : concentración del efluente cloacal (mgL^{-1})

Resultados y discusión

Se obtuvieron TRH con poca variabilidad entre las réplicas de una misma configuración, pero con diferencias significativas entre estas ($p=0.05$) donde la *configuración II* (22 ± 5 min) presentó un TRH mayor que la *configuración I* (10 ± 1 min) (Tabla 1).

Tabla 1.- Tiempo de retención hidráulico (TRH) obtenido para cada configuración

Humedal	TRH [min]	Promedio	Desv std
I _A	9.76	10	1
I _B	10.95		
I _C	9.56		
II _A	23.10	22	5
II _B	27.18		
II _C	16.94		

Con respecto a las eficiencias de remoción, la *configuración II* presentó eficiencia de remoción significativamente mayores ($p<0.001$) con respecto a la *configuración I* para todos los parámetros evaluados (DQO, DOC, NTK y PT) (Figura 2).

La *configuración I* presentó eficiencias moderadas (33-58%) para DQO, NTK y DOC y una baja eficiencia para el PT (13%). En cambio, en la *configuración II* se observaron remociones elevadas en todos los parámetros (73-92%) incluyendo el PT. Los resultados obtenidos están en consonancia con los TRH calculados donde las mayores eficiencias se obtuvieron en aquella configuración cuyo TRH fue mayor. En este sentido, la duración del contacto entre las aguas residuales y el sistema de HC es fundamental para la eficiencia del tratamiento (Kadlec, 1994; Toet et al., 2005).

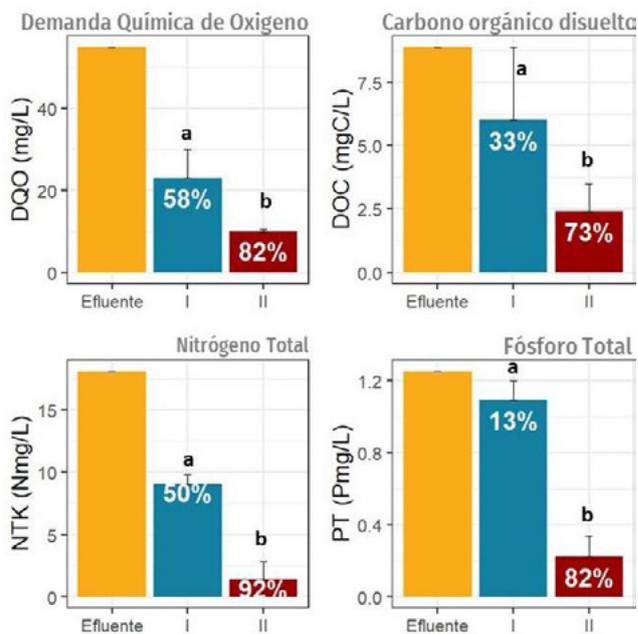


Figura 2.- Concentraciones obtenidas y porcentajes de remoción para los distintos parámetros evaluados en cada configuración y en el efluente de alimentación. Las barras de error representan el desvío estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Conclusiones

El sistema de alimentación automatizado permitió poder tener operativo de forma simultánea 6 HC con 2 configuraciones diferentes. De esta forma se pudo calcular el TRH y evaluar las eficiencias de remoción para cada configuración en condiciones controladas. Se observaron TRH mayores en la *configuración II* lo que repercutió positivamente en las eficiencias de remoción obtenidas para todos los parámetros evaluados. Una mayor revancha combinada con una mayor capa de arena y sustrato reactivo (en este caso la LECA) sumado a un sistema de aireación interconectado, presentó ser, de forma preliminar, una alternativa de HC más eficiente aún para el PT, elemento de difícil eliminación en los HC. Aun así, hay que seguir evaluando estos dispositivos a lo largo del tiempo para comprender mejor el tiempo óptimo de operación, así como también de saturación.

Referencias

- APHA (American Public Health Association). (2018). *Standard methods for examination of water and wastewater*. 23th Ed. Washington DC, USA.
- Alasino, N., Nadal, F., Primo, L., Bollo, P., & Larrosa, N. (2015). Comportamiento cinético e hidráulico de un humedal construido a escala real. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 93-104.
- Cirelli, A. Fernández, and C. Ojeda. 2008. "Wastewater Management in Greater Buenos Aires, Argentina." *Desalination* 218 (1): 52–61.
- Kadlec, R. H. (1994). "Detention and mixing in free water wetlands". *Ecological Engineering*, 3(4), 345-380.
- Levenspiel, O. (2002). *Modeling in chemical engineering*. Chemical Engineering Science, 57(22-23), 4691-4696.
- Stefanakis, A. I. (2019). "The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management". *Sustainability*, 11(24), 6981.
- Toet, S., Van Logtestijn, R. S., Schreijer, M., Kampf, R., & Verhoeven, J. T. (2005). "The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant". *Ecological Engineering*, 25(1), 101-124.

HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS: UN APOORTE DESDE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Schierano, María Celeste^{1,2}; Gutierrez, Gonzalo^{1,2}; Panigatti, María Cecilia¹; Maine, María Alejandra², Boglione, Rosana¹ y Griffa, Carina¹.

¹Grupo de Estudios de Medio Ambiente (GEM). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rafaela. Acuña 49.

Rafaela (2300) – Santa Fe. Argentina. labquimicaun@gmail.com

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Introducción

El aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía de tierras agrícolas y las aguas residuales industriales con tratamiento inadecuado, han llevado al deterioro de la calidad del agua en el mundo. Las industrias lácteas en particular tienen alta producción de aguas residuales, que deben ser tratadas para evitar la degradación ambiental de los cursos receptores. En este sentido, los sistemas circulares se proponen como alternativas más viables y sustentables a los sistemas lineales convencionales.

Se trabajó con una empresa láctea de la cuenca lechera santafesina que, apuntando a la economía circular, se plantea como objetivo la reutilización de sus aguas residuales y el aprovechamiento de subproductos de la industria de la construcción. Para ello, se propone adicionar un humedal construido (HC) como tratamiento terciario al tratamiento biológico ya existente, con el objeto de mejorar las condiciones del efluente y que el mismo sea apto para reúso. Los HCs pueden ser definidos como una solución basada en la naturaleza (SbN) donde los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los humedales naturales son emulados y optimizados para la depuración de aguas residuales. (Maine et al., 2022). Esta tecnología también ofrece un proceso de tratamiento fiable y especialmente adecuado para países en vías de desarrollo y zonas rurales (Liu et al., 2015). Si bien requieren grandes superficies de terreno para su instalación, esto representa una ventaja en países como Argentina, ya que aún se disponen de grandes extensiones de tierras. Además, al contar con bajos costos de operación y mantenimiento, suman un atractivo más para su instalación en nuestro país.

En estudios previos se demostró la eficiencia de un HC del tipo subsuperficial horizontal (HSSH) para el tratamiento de estos efluentes, utilizando *Typha domingensis* como macrófita y canto rodado como sustrato (Schierano et al., 2020). Actualmente, y como punto innovador en el diseño, se propone utilizar como sustrato residuos de ladrillos RETAK®. El objetivo del trabajo es evaluar y comparar la eficiencia de remoción de contaminantes en HCs utilizando canto rodado y residuos de RETAK® como sustratos para el tratamiento de efluentes de una industria láctea.

Metodología

Se construyeron dos HSSHs a escala piloto (2,5 m de largo; 1,0 m de ancho; 0,80 m de profundidad), dispuestos a la salida del tratamiento biológico ya existente (Figura 1). Ambos fueron plantados con ejemplares de *T. domingensis*; en uno se utilizó canto rodado como sustrato y en el otro, residuos de RETAK®. Este material consiste en ladrillos de hormigón celular curado en autoclave (HCCA). El HCCA es un material a base de arena, cemento, cal y un agente expansor, que luego de un curado en autoclave, adopta forma de ladrillo. En nuestro estudio, se utilizó un subproducto formado por trozos de descarte de estos ladrillos.

Se realizaron 7 muestreos sucesivos a la entrada y salida de cada uno de los sistemas (tiempo de residencia hidráulico: 7 días) durante el período comprendido entre Abril-Junio de 2023. Las muestras se trasladaron refrigeradas al laboratorio y se almacenaron a 4 °C hasta el momento de analizarlas. Se determi-

naron por duplicado los siguientes parámetros fisicoquímicos para calcular posteriormente eficiencias de remoción: sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), Nitrógeno Kjeldahl Total (NTK), Amonio (NH₄⁺), Nitratos (NO₃⁻), Nitritos (NO₂⁻) y fósforo total (PT). También se midieron en todas las muestras pH y Conductividad Eléctrica (CE). Para los análisis se emplearon técnicas normalizadas de acuerdo a APHA (2017). Una vez determinadas las concentraciones de los diversos contaminantes a la entrada y salida de cada sistema en evaluación se calcularon las eficiencias de remoción para cada uno.

Resultados

En la Tabla 1 se pueden observar los valores promedio de ingreso a ambos sistemas para los diferentes contaminantes analizados, como así también las concentraciones de salida para el sistema que utilizó canto rodado como sustrato (HC/CR) y el que utilizó RETAK® (HC/R). También se informan los valores de desviación estándar correspondientes.



Figura 1.- Humedales Construidos, día de plantación de los ejemplares de *T. domingensis*.

Como puede observarse, los valores de los compuestos nitrogenados son los que presentaron mayor variabilidad. Para el caso específico de NTK, en ambos sistemas se logró disminuir la concentración de este contaminante. Las concentraciones de amonio, en cambio, presentaron gran variabilidad a lo largo de los diferentes muestreos realizados. En particular, en los últimos muestreos se obtuvieron concentraciones de salida mayores a las de ingreso a ambos humedales. Esto podría deberse a variaciones estadísticas y errores analíticos, ya que como puede observarse

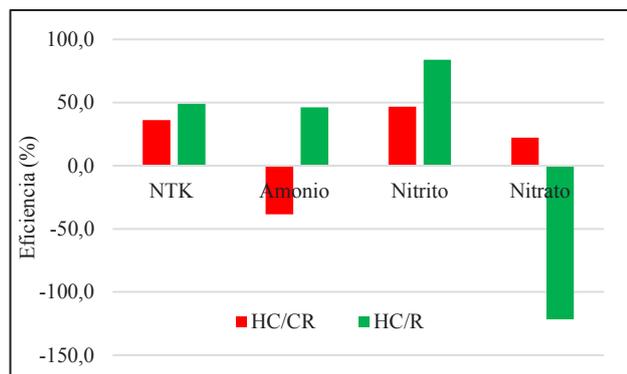
las concentraciones de amonio tanto a la entrada como a la salida son bajas.

Tabla 1.- Valores de entrada y salida de cada sistema. (promedio \pm desviación estándar; n=7)

Parámetro	ENTRADA	HC/CR	HC/R
pH	9,6 \pm 0,1	9,1 \pm 0,4	9,1 \pm 0,3
CE (mS/cm)	6,1 \pm 0,4	5,4 \pm 0,3	5,60 \pm 0,3
SST (mg/l)	181,7 \pm 44,0	28,3 \pm 16,8	27,4 \pm 12,6
DQO (mg O ₂ /l)	269,7 \pm 30,4	123,7 \pm 56,4	117,8 \pm 42,9
DBO (mg O ₂ /l)	71,6 \pm 18,7	33,9 \pm 19,4	32,3 \pm 15,6
NTK (mg N/l)	32,9 \pm 5,1	21,0 \pm 9,6	16,8 \pm 5,0
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	2,0 \pm 2,1	2,7 \pm 1,8	1,1 \pm 1,3
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ /l)	0,7 \pm 0,9	0,6 \pm 0,5	1,6 \pm 2,4
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ /l)	2,0 \pm 3,1	1,1 \pm 2,0	0,3 \pm 0,6
PT (mg P/l)	22,4 \pm 1,7	12,7 \pm 6,9	10,5 \pm 6,7

Observando los valores de entrada para NTK y Amonio también puede inferirse que la mayor parte del Nitrógeno se encuentra en forma orgánica y una pequeña proporción en forma amoniacal.

En cuanto a nitratos y nitritos, también presentaron amplia variabilidad a lo largo del tiempo, no pudiendo establecerse un comportamiento uniforme que permita concluir si un sistema es más eficiente que el otro. En la Figura 2 pueden observarse las eficiencias de remoción promedio de cada sistema para todos los compuestos nitrogenados. El sistema HC/R presentó mayores eficiencias que el sistema HC/CR, a excepción del Nitrato en que la eficiencia es negativa por presentar valores promedio de salida superiores a los de entrada, lo que podría deberse al proceso de nitrificación. Un comportamiento similar ocurrió para Amonio



en el caso del sistema HC/CR.

Figura 2.- Eficiencias de remoción de compuestos nitrogenados para ambos sistemas evaluados.

En relación al resto de los parámetros analizados, las eficiencias obtenidas para cada sistema pueden observarse en la Figura 3. En todos los casos se obtuvieron eficiencias de remoción satisfactorias para los dos sistemas.

Para el caso particular de SST, las eficiencias obtenidas en los dos humedales evaluados fueron superiores al 80%, sin diferencias significativas entre ambos. Por lo general, en los sistemas de flujo subsuperficial horizontal, la eliminación de este contaminante suele ser alta, debido a que el agua a tratar está en permanente contacto con el sustrato y los sólidos son retenidos a través de procesos de filtración, adsorción y sedimentación sobre el mismo (Vymazal, 2022).

La materia orgánica también es eliminada eficientemente en este tipo de sistemas, lo cual puede verificarse observando los porcentajes de remoción de DBO y DQO en ambos HCs, superiores al 50% para ambos casos. La eliminación de materia orgánica puede llevarse a cabo tanto por microorganismos

aeróbicos como anaeróbicos, aunque los procesos aeróbicos prevalecen únicamente en las zonas adyacentes a las raíces y rizomas de las macrófitas, donde se generan microzonas ricas en oxígeno (Vymazal y Kröpfelová, 2009). Al ser la eliminación de materia orgánica un proceso ligado a los microorganismos asociados a las macrófitas, es razonable que no haya diferencias entre los rendimientos obtenidos para los dos sustratos evaluados.

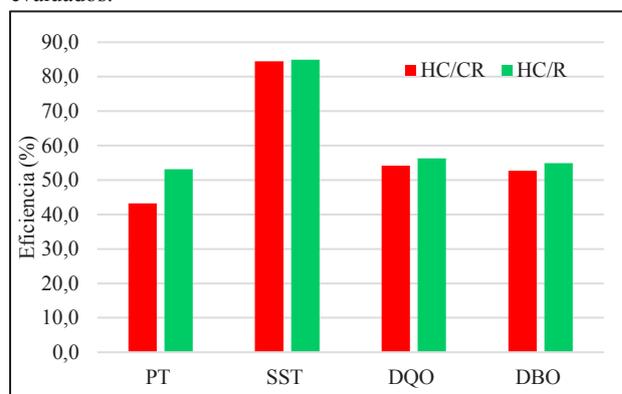


Figura 3.- Eficiencias de remoción de PT, SST, DQO y DBO para ambos sistemas evaluados.

En lo que respecta a PT, tal como se indica en la Figura 3 el desempeño promedio del sistema utilizando RETAK^R (53,2%) fue superior al del sistema con canto rodado (43,2%). De acuerdo a la literatura la eliminación de este nutriente no suele ser alta en HCs que utilizan sustratos convencionales (tal es el caso del canto rodado), pero puede mejorarse con el uso de materiales con mayores capacidades de adsorción. Uno de estos materiales es el RETAK^R ya que con el agregado de agentes expansores y la aplicación de calor durante su fabricación se obtienen mayores sitios de adsorción (Ji et al., 2022).

Conclusiones

La Economía Circular es una premisa a aplicar en los procesos productivos actuales y los HCs son una herramienta tecnológica viable para su implementación.

Utilizando como sustrato en un HSSH, un subproducto (RETAK), se han obtenido eficiencias de remoción satisfactorias para diversos contaminantes, lo convertiría a este material en una alternativa de diseño viable para este tipo de sistemas de tratamiento.

Referencias

- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.
- Ji, Z., Tang, W., & Pei, Y. (2022). Constructed wetland substrates: A review on development, function mechanisms, and application in contaminants removal. *Chemosphere*, 286, 131564.
- Liu, R., Zhao, Y., Doherty, L., Hu, Y., & Hao, X. (2015). A review of incorporation of constructed wetland with other treatment processes. *Chemical Engineering Journal*, 279, 220-230.
- Maine, M. A., Sanchez, G. C., Hadad, H. R., Caffaratti, S. E., del Carmen Pedro, M., Di Luca, G. A., ... & Nocetti, E. (2022). Hybrid wetland system for a pet-care center wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 182, 106700.
- Schierano, M. C., Panigatti, M. C., Maine, M. A., Griffa, C. A., & Boglione, R. (2020). Horizontal subsurface flow constructed wetland for tertiary treatment of dairy wastewater: removal efficiencies and plant uptake. *Journal of Environmental Management*, 272, 111094.
- Vymazal, J. (2022). The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. *Land*, 11(2), 174.
- Vymazal, J. & Kröpfelová, L. (2009). Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of field experience. *Sci. Total Environ.* 407, 3911–3922.

POSIBILIDADES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA NUEVA BASE PETREL, ANTÁRTIDA

Silva Busso, Adrián¹

¹Instituto Nacional del Agua. (SSH), Ezeiza, Buenos Aires Argentina.

E-mail: silvabusso@yahoo.com.ar

Introducción

La nueva Base Petrel se halla en la Cabo Wellchness, Isla Dundee en el nordeste de la península Antártica. La isla posee una superficie de 450 km² que en gran parte se hallan cubiertos de glaciares. En el área libre de hielo más amplia se encuentra la Base Petrel (antigua y nueva) en 63° 28' S y 56° 17' W (figura 1). Un aspecto fundamental para lograr un adecuado apoyo logístico desde la base es tener una adecuada provisión de agua que satisfaga, no solo las necesidades locales, sino también la provisión de navíos. Este trabajo resumirá los cuerpos de agua analizando y sus posibilidades de ser empleados en el futuro abastecimiento de la nueva base considerando la particular hidrogeología y geocriología de la zona,

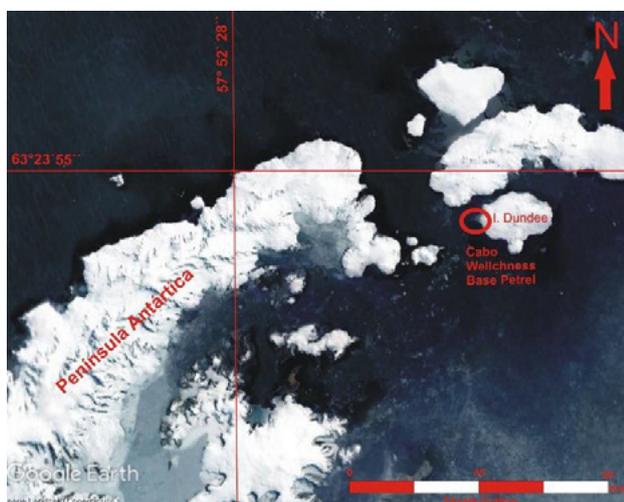


Figura 1.- Base Petrel en el Cabo Wellchness, Isla Dundee, Antártida

Antecedentes

Los primeros estudios sobre geología, geocriología e hidrogeología se analizan en Ermolin et al., (2005) aunque la zona ha sido objeto de estudios geológicos, hidrogeológicos y geocriológicos durante tres campañas posteriores con resultados aún no publicados. En resumen, las unidades aflorantes de este sector de la Isla Dundee están compuestas inicialmente por dos unidades de las rocas sedimentarias mesozoicas. Aquí se hallan afloramientos las lutitas y fangolitas marinas del Grupo Trinity de edad triásica y se superpone a esta secuencia un paquete sedimentario cretácico de lutitas y fangolitas consolidadas. Cubriendo estos depósitos y dada su localización en la península Antártica, la geología y relieve se corresponde con las sucesivas etapas de la glaciación cuaternaria donde se encuentra un complejo conjunto de depósitos glaciares, fluvio-glaciares y marinos depositados desde el Pleistoceno Superior hasta el presente que completan la sucesión estratigráfica. Dominan los depósitos de till fundamentalmente gravosos con arenas subordinadas y escaso material fino. Estos cubren una gran extensión de la zona de estudio y se los supone holocenos. Fisiográficamente forman dos planicies la baja entre las cotas de 3-5 msnm y la planicie alta entre 12 – 15 msnm. Una morena lateral del rumbo norte sur y 66 msnm de altura máxima resulta

el rasgo más dominante y separa la zona occidental de la oriental (figura 2) donde se encuentra el frente del glaciar Rosamaría y sus depósitos morrénicos y fluvio-glaciares actuales Ermolin et al., (2005). El permafrost es continuo y principalmente epigenético en la zona occidental, siendo más discontinuo y singenético en la zona oriental.



Figura 2.- Vistas panorámicas de la zona occidental (superior) y la zona oriental (inferior). Tomado desde la cima de la morena lateral

Resultados

Para analizar el abasto del recurso es fundamental tener una aproximación a la demanda prevista. La demanda de agua en la futura base no se limitará a uso humano, sino que se prevé un almacenamiento de agua para abastecimiento naval todo el año. Así aparece en el plano del proyecto actual de la futura base Petrel (Devoto, 2022) indicando dos embalses 8184m³ y 31738m³ respectivamente. Además, se puede proveer que, como centro logístico, podría llegar a albergar 300 personas en los periodos de máxima actividad logística en el verano antártico durante periodos que pueden llegar a durar un mes, como suele pasar comúnmente en Base Marambio. El consumo de agua en Marambio (actual centro logístico) fue medido en 100-120 l/hab/día. Es difícil calcular el consumo total con exactitud, pero podemos inferir que al menos en un pico de operaciones logísticas debería disponerse de al menos entre 36 m³/día. Este número es una aproximación y debe considerarse que si coincide con el llenado de las cisternas de abastecimiento naval será aún mayor.

Para determinar las posibilidades de abastecimiento de esta demanda de agua debemos conocer las características del permafrost en la zona. En principio, el permafrost se considera continuo en casi toda la zona de estudio debido a dos factores; uno las temperaturas medias anuales de -6.5 °C, o sea mayor a -5 °C, que suele considerarse como el límite entre continuo y discontinuo (Brown, 1967). El otro factor es que ocupa el 90% o más de superficie, a excepción de la zona de costa. Esta afirmación es particularmente validada en la morena, sin embargo, las áreas descongeladas (talik) en las planicies fluvio-glaciares de la zona oriental de la morena lateral son menos extensas comparadas con la superficie del área occidental de la morena. Pero, en las planicies fluvio-glaciares orientales y en las planicies alta y baja en la zona occidental es donde en verano, se encuentra el mayor descongelamiento y desarrollo de la capa activa. Una alternativa para el abastecimiento de agua es analizar la posibilidad de aprovechamiento de los arroyos y sistemas lénticos. En las planicies fluvio-glaciares de la zona oriental discurren los arroyos Rosamaría y Gabriela María que son proglaciares y, dada la naturaleza politermal (French 2007) del glaciar Rosamaría, están directamente alimentados superficial y subterráneamente con la ablación glaciaría todo el año. La descarga combinada de estos arroyos medida en tres campañas

promedia los 66905.67 m³/d. Estos arroyos poseen salinidades bajas pero que oscilan significativamente entre 28 – 131 mg/l, pH entre 8.32 – 9.3, temperaturas entre 1.4°C – 5.7°C y un ORP entre 120 – 152 mv. En la zona occidental los arroyos son de origen nival o bien están parcialmente alimentados por la descarga del acuífero supra permafrost (de no más de 2 metros de desarrollo) o sea, con gran dependencia de los factores climáticos anuales. Estos arroyos poseen salinidades bajas, pero más elevadas que los anteriores entre 248 – 131 mg/l, pH entre 9.3 – 9.4, temperaturas entre 2.8°C – 11.2°C y un ORP entre 113 – 150 mv. No obstante, se ha medido en sucesivas campañas la descarga total de estos arroyos con un valor medio promedio de 1404 m³/d. La descarga total promedio de los arroyos fue de 68309.67 m³/d, y aunque los valores absolutos pueden variar cada año en función del clima, creemos que la proporción relativa se mantiene relativamente constante.

Sobre los sistemas lénticos de la zona oriental presentan un conjunto de cuerpos de agua, también alimentados todo el año por el glaciar, donde se desataca 3 de ellos, los lagos Rosamaría, Grande y Paso Doble. Aunque el menor de ellos, el Lago Paso Doble, rompió su endicamiento natural en el 2019 perdiendo su capacidad de reservorio, los otros dos suman un espejo de agua de 19440 m². Estos cuerpos de agua están relacionados con la dinámica glaciar en zonas con escaso hielo y taliks abiertos. Son también someros, con una salinidad entre 35 -59 mg/l, temperaturas entre 0.8 – 2.4 °C, un pH entre 7.2 – 7.7, un Eh entre 104 – 163mv y sin microorganismos. Los sistemas lénticos de la zona occidental y aquellos localizados sobre la morena lateral (donde más abundan) son, por el contrario, cuerpos de agua de origen termokarstico en áreas de permafrost rico en hielo con talik cerrado. Las profundidades no alcanzan el metro y durante el verano tienen una salinidad entre 79 -311 mg/l, temperaturas entre 1.5 – 4.8 °C, un pH entre 8.3 - 9.2 y un Eh entre 106 – 181mv y se han detectado microorganismos.

Haciendo un rápido balance de agua y comparando ambas zonas tomando en cuenta las descargas de los arroyos de ablación glaciaria y los de alimentación nival resulta que el 98% del volumen de agua se encuentra en la zona oriental vinculada a la dinámica del Glaciar Rosamaría. Por otro lado, en la zona occidental con alimentación nival solo se encuentra el 2% de la disponibilidad de agua. Sobre la base de la superficie total de los sistemas lénticos mencionados, en la zona occidental sobre la morena estos poseen una superficie de 2349 m². En las planicies fluvio-glaciares y vinculados a la dinámica glaciaria totalizan 19440 m². Los primeros totalizan un 9.3% de la superficie de agua embalsada. En la zona oriental los lagos proglaciares poseen un 90.7%, del total de la superficie embalsada. El resto de cuerpos de agua en todo Cabo Wellchness posee muy poca superficie y se consideran efímeros. Al igual que la escorrentía esta cuantificación tiene valor en el sentido relativo más que en superficies absolutas al indicar que las lagunas vinculadas a las descargas de agua del glaciar revisten mayor importancia que las restantes por su aporte constante de agua desde el mismo.

No se descarta la posibilidad de abastecimiento desde el uso de agua subterránea, sobre todo tratándose de una zona con glaciares politermales que suelen alimentar niveles acuíferos en taliks proglaciares como lo demostrara Falk y Silva Busso, (2021) en las Islas Shetland y Scrvaglieri (2021) en bahía Esperanza. En la zona solo se poseen datos parciales del acuífero supra permafrost en la zona occidental solo activo en el verano, con poco espesor y aguas de baja salinidad pero que no resulta la opción más favorable. La zona oriental e incluso el subsuelo de la morena lateral dada la cernía del glaciar presenta a priori mejores posibilidades prospectivas. Actualmente, esta posibilidad de abastecimiento aún está pendiente de análisis en futuras campañas.

Conclusiones

La zona presenta dos áreas fisiográficamente bien definidas separadas con una morena lateral que constituye en cierta forma un rasgo del terreno que condiciona la ocurrencia del recurso. El recurso hídrico superficial, y probablemente el subterráneo también, se encuentra en mayor abundancia en la zona oriental de la morena. También allí, la alimentación de los sistemas lénticos y sobre todo del agua subterránea ocurre todo el año desde el glaciar Rosamaría. Esta característica es contrastante con la zona occidental donde el agua es más escasa y solo se alimenta de las precipitaciones nivales (que resultan muy variables cada año a consecuencia del viento y la influencia de las precipitaciones provenientes del mar de Weddell).

La geocronología local también influye porque las áreas de permafrost continuo y singenético, como la morena, pueden desarrollar sistemas lénticos en taliks cerrados y con nula alimentación, más allá de las precipitaciones nivales. Por otro lado, las áreas de permafrost discontinuo, talik abierto y el frente del glaciar ubicadas en la zona oriental ofrecen sistemas lénticos y arroyos con mejores oportunidades de captación y alimentación. El carácter politermal del glaciar podría alimentar incluso el medio subterráneo siendo factible la búsqueda de zonas de captación.

La accesibilidad desde la futura base a la zona oriental es más dificultosa que en el caso occidental (donde se instalará la base), pero es donde se concentra el 90 al 98% del recurso hídrico local. Por otro lado, la zona oriental de la morena ofrece aguas de muy baja salinidad (que deberán suplementarse para la ingesta), oxidantes y ligeramente alcalinas con caudales suficientes para suplir la demanda en verano y, subterráneamente, incluso en invierno también. Como factor adicional la zona oriental no se encuentra en la zona de operación logística de la base factor que ayuda a su preservación ambiental y calidad del recurso para los diferentes usos previstos. La ausencia de muchos de estos factores reduce la posibilidad de aprovechamiento de los arroyos en la zona occidental o de los sistemas lénticos de la morena, de tal forma que la zona más adecuada para la captación resulta en la zona oriental y particularmente el frente glaciario.

Como síntesis, la zona presenta buenas posibilidades para la captación de agua con fines de abastecimiento humano u otros usos, conforme la demanda prevista. No obstante, esta no parece encontrarse en abundancia en el entorno inmediato de la futura Base Petrel y para lograrlo requerirá de algún tipo de infraestructura de captación sea cual fuere la ocurrencia del recurso

Referencias

- Brown, R.J.E.** 1967. Permafrost in Canada. Geological Survey of Canada Map 124A, Ottawa.
- Devoto F.** 2022. Plano de Implantación de la base Antártica Conjunta Petrel, Dirección General de Ingenieros e Infraestructura, Comando Conjunto Antártico. Ejercito Argentino (inédito) 1 p
- Ermolin E, Silva Busso A, Del Valle R y Lusky J.,** 2005. "Estudio Geocriológico – Geotécnico para el Diseño de la Pista aterrizaje en la planicie del Cabo Wellchness – Isla Dundee, Península Antártica", Dpto. Cs. De la Tierra, Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico (Inédito). 48p
- Falk, U., A. Silva Busso.** 2021. Discharge of groundwater flow to the Potter Cove on King George Island, Antarctic Peninsula. Hydrology and Earth System Sciences (HESS). Publisher: Copernicus GmbH. Germany. (25): 3227–3244.
- French, H. M.:** 2007. The periglacial environment, John Wiley & Sons, Chichester, UK, and Hoboken, New Jersey,
- Scrvaglieri P. A.,** 2021. Geocriología e Hidrogeología de Bahía Esperanza, Península Antártica. Trabajo Final de Licenciatura, Depto. Geología, FCEN, UBA (Inédito). 176p.

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN GRANJAS PORCINAS Y PUNTOS CRÍTICOS DE SU MANEJO

Silva, S.H.^{1,2}, Cisneros Basualdo, N.^{1,3}, Arrien, M.M.^{1,2}, Touriñán, C.¹, Cifuentes, M.R.^{1,2}, González, J.^{2,4,5,6}, Tabera, A.⁶, Aldaya, M.M.⁷ y Rodríguez, C.I.^{1,2}

¹ Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), ² CONICET, ³ CIPCBA, ⁴ Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN- UNCPBA), ⁵ Centro de Investigaciones en Sanidad Animal, Pública y Ambiental (CISAPA-UNCPBA), ⁶ Departamento de Tecnología y Calidad de los Alimentos (FCV-UNCPBA), ⁷ Universidad Pública de Navarra (UPNA), Instituto de Innovación y Sostenibilidad en la Cadena Agroalimentaria (IS-FOOD). Argentina-España. silvasantiago2103@gmail.com

Introducción

Durante las últimas décadas, la transformación de las preferencias alimenticias estimuló un acelerado incremento de la demanda y producción mundial de carne, leche y productos lácteos. Específicamente, la producción porcina adquirió cada vez mayor relevancia siendo su participación en la producción mundial de carne una de las más altas, contribuyendo al 35 % de la expansión productiva (FAO, 2021).

Ligado a este aumento en la producción se generaron cambios estructurales de carácter técnico-geográfico, destacándose el reemplazo de los sistemas tradicionales por sistemas de producción intensivos e industriales (Bouwman et al., 2005) y la modificación de los patrones de distribución geográfica, con el traslado y concentración de los emprendimientos ganaderos desde áreas rurales hacia zonas urbanas y periurbanas. Estos cambios han sido tan rápidos que no se han examinado en profundidad sus consecuencias positivas y negativas. Aun así, se observa que el sector comienza a competir por los usos de suelo, agua y otros recursos naturales escasos, generando diversas problemáticas ambientales (Steinfeld et al., 2006; Aldaya et al., 2020).

A su vez, la concentración geográfica de las explotaciones porcinas industriales implica la generación de grandes cantidades de purín, generando situaciones de riesgo de contaminación hídrica microbiológica y fisicoquímica (De Esteban, 2021).

Según SENASA (2023) el stock de ganado porcino en Argentina tuvo un incremento del 73% en el período 2010-2020. Esta situación se replicó en la provincia de Buenos Aires, con un incremento del 58% para el mismo período. Específicamente, en el partido de Tandil, el stock porcino aumentó un 311% en el período 2010-2020 y alcanza en la actualidad unas 40 mil cabezas. La producción porcina presenta fuertes proyecciones de crecimiento e intensificación, lo que podría traer aparejado importantes alteraciones en la calidad del recurso hídrico local y regional. En este sentido, este trabajo tiene como objetivo realizar un diagnóstico preliminar sobre la calidad del agua subterránea y su manejo en pequeñas y medianas granjas de producción porcina del sudeste bonaerense que permita identificar situaciones ambientales que requieran estrategias para su mejora.

Materiales y métodos

Área de Estudio

Los casos de estudio se ubican en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, distribuyéndose principalmente dentro del partido de Tandil, con excepción de dos emprendimientos, emplazados en los partidos de Rauch y Ayacucho. El área de estudio se caracteriza por presentar una compleja red de drenaje hidrográfica, cuyos arroyos tienen sus nacientes en el sistema serrano de Tandilia. Sus cuencas presentan una extensión

regional con un amplio desarrollo por fuera del área de serranías. Regionalmente, el recurso hídrico subterráneo posee en general carácter influente, descargando sus aguas en los arroyos de régimen perenne. A su vez, su disponibilidad y calidad adquieren centralidad debido a que las poblaciones y las actividades productivas locales utilizan el acuífero libre como principal fuente de provisión de agua (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005; Rodríguez, 2014).

En relación a la geomorfología regional, se distinguen tres unidades: el cordón serrano, el piedemonte y la llanura distal, lo que genera particularidades del recurso hídrico subterráneo para los distintos sitios analizados. La mayoría de las granjas se encuentran ubicadas en la llanura distal de las cuencas de los arroyos Langueyú, Tandileofú, Chapaleofú Chico, Chapaleofú y Las Chilcas, donde el ambiente hidrológico se caracteriza por ser un medio poroso-clástico con un espesor sedimentario de buen desarrollo, permeabilidad primaria y un flujo en forma laminar, con velocidades de circulación lentas. Por otra parte, dos sitios se emplazan en la cuenca alta e intermedia del Arroyo Tandileofú, donde el basamento somero presenta fisuración por fallas y diaclasas que generan una permeabilidad secundaria. Esta característica le confiere al recurso subterráneo en dicha zona una alta vulnerabilidad frente a las cargas contaminantes (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

En Tandil es característica la producción de chacinados, y desde el año 2011 existe la Denominación de Origen del Salame de Tandil, incentivada por la disponibilidad de materia prima local de calidad y por ser parte de la oferta turística de Tandil.

Las granjas porcinas analizadas se encuentran nucleadas en una asociación de productores familiares dedicados a la cría de cerdos, siendo 21 establecimientos que reúnen unos 8000 animales aproximadamente. Este grupo comenzó a funcionar desde el 2012 con el objetivo de mejorar las condiciones de producción en establecimientos de pequeña escala con crianza intensiva en sistemas de túneles de viento con cama profunda y de mediana escala con sistemas de producción intensiva en naves.

Muestras

Durante el año 2022, se trabajó con 9 granjas de producción porcina a pequeña escala y 2 de mediana escala. En cada lugar se realizaron visitas y entrevistas a los productores con el fin de relevar información sobre las etapas del proceso productivo, gestión del recurso hídrico, manejo de efluentes, entre otros. Mediante observación directa en campo, se identificaron las características del medio físico en cada sitio, la infraestructura de extracción de agua, los sistemas de recolección, tratamiento y disposición de efluentes, así como los modos de uso del agua dentro de la granja.

Se realizó una caracterización físico-química básica de campo con la medición *in situ* de pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Se obtuvieron 15 muestras de agua subterránea desde los distintos pozos de abastecimiento presentes en cada sitio. Se determinaron concentraciones de nitratos que pudieran indicar

desviaciones importantes con respecto a la concentración promedio del partido de 33 mg/L (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005) y se contrastaron con los valores de referencia establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2021). A su vez, se tomaron muestras para análisis microbiológico de bacterias aeróbicas mesófilas, coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en base a lo estipulado en el Código Alimentario Argentino (CAA, 2021). Las muestras se obtuvieron desde el punto de extracción más cercano al pozo. A partir de estos bioindicadores se pretende establecer las condiciones ambientales y potenciales riesgos asociados a su presencia. Si bien los cerdos presentan mayor resistencia a este tipo de bacterias, la presencia de algunos grupos de *E. coli* pueden generar colibacilosis en lechones recién nacidos y destetados (Kopp et al., 2015; McOrist y Corona-Barrera, 2015), a su vez, gran parte de las producciones utilizan la misma agua para consumo humano, lo que puede generar afecciones a la salud humana.

Resultados

En las visitas a campo se identificó que ocho granjas presentan al menos una fase productiva con generación de efluentes líquidos, donde cuatro disponen del purín a campo. Las tres restantes desarrollan la totalidad de las fases en sistemas de cama profunda, lo que solo genera residuos sólidos producto de la limpieza de los túneles entre camadas. El 80% de las granjas desarrolla producciones propias de ciclo completo (reproducción interna) y además recibe animales en etapa de recría para engorde, mientras que el 20% restante se dedica exclusivamente al engorde de los animales recibidos.

En la totalidad de los sitios el abastecimiento de agua es de origen subterráneo (la cual se extrae por medio de molinos o pozos de bombeo); en la mayoría de los emprendimientos el agua se almacena en tanques y se distribuye hacia las viviendas y el criadero de manera homogénea.

De las muestras analizadas solo 3 presentaron calidad apta para consumo. El 93% de las granjas presentó en al menos un pozo de extracción indicadores de calidad microbiológica de agua por fuera de los valores de referencia del Código Alimentario Argentino. El 73% de las muestras superan el límite permitido para coliformes totales, mientras que *E. coli* y *P. aeruginosa* se detectaron en el 26% y 20% de las granjas respectivamente.

Cabe destacar que en las granjas donde se detectó presencia de *E. coli* y *P. aeruginosa*, residen familias que consumen y utilizan dicha agua cotidianamente.

Por otra parte, solo un sitio presentó concentraciones de nitratos (60,66 mg/L) por encima del límite máximo recomendado por la normativa argentina (45 mg/L). Además, se pudieron identificar 2 sitios con vuelco de efluentes puntuales que presentan valores superiores al promedio de concentración de nitratos del partido y cercanos al límite permitido para agua de bebida, por lo cual, su evolución hidroquímica podría implicar que dichas fuentes de agua pierdan su calidad para su consumo.

De acuerdo a lo observado, la calidad del agua utilizada para consumo humano y animal se encuentra afectada fundamentalmente por la ubicación de las instalaciones en relación a la fuente de abastecimiento de agua subterránea. Se identificaron vertidos de efluentes, disposición de residuos de la limpieza de túneles y pozos sépticos aguas arriba y en cercanía de las perforaciones de abastecimiento. Sumado a ello, se observó en determinadas granjas que los sistemas de conducción de agua atraviesan sectores encharcados por efluentes, lo que podría generar otras fuentes de contaminación en la dotación de agua.

Conclusiones

En todos los sitios se identificaron posibles focos de contaminación del recurso hídrico subterráneo. La presencia de *E. coli* y *P. aeruginosa* en las muestras de agua fue baja, sin embargo, el amplio desarrollo de bacterias coliformes y el aumento de las concentraciones de nitratos indicarían efectivamente procesos de contaminación del recurso hídrico en la mayoría de las granjas porcinas.

Las principales dificultades detectadas en relación al manejo del agua estarían asociadas a la distribución de la infraestructura de la granja y al tratamiento y disposición de efluentes y restos de cama profunda generalmente cercanos a los pozos de abastecimiento. Esta situación adquiere mayor importancia en aquellos predios donde se vierten grandes volúmenes de efluentes, lo que podría afectar a la comunidad vecina y al recurso regionalmente.

El crecimiento exponencial de criaderos porcinos supone importantes desafíos en relación a la protección de los recursos, siendo necesario un abordaje integral y participativo, que permita elaborar estrategias adaptadas a la realidad local y tendientes a producciones más sustentables.

Referencias

- Aldaya, M., Rodríguez, C.I., Fernandez-Poulsen, A., Merchan, D., Beriain, M.J., Llamas, R. (2020). Grey water footprint as an indicator for diffuse nitrogen pollution: The case of Navarra, Spain. *Science of the Total Environment*, 698 (2020) 134338.
- Bouwman, A. F., Van der Hoek, K. W., Eickhout, B., & Soenario, I. (2005). Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricultural Systems*, 84(2), 121-153.
- CAA. (2012). Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada". Agua potable. Artículo, 982.
- De Esteban, J.S. (2021). Sistema de Aplicación de Purines (Sector Porcino): Balance De Nitrógeno, Huella Hídrica Gris y Huella De Carbono. Trabajo de fin de grado en Máster Universitario en Agrobiología Ambiental. Universidad Pública de Navarra
- FAO. (2021). "Perspectivas Alimentarias". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Kopp, S. B., Pérez, M. A., García, S. D., & Patiño, S. M. (2015). Calidad microbiológica estacional del agua de bebida para cerdos: Análisis comparativo en establecimientos porcinos de la zona núcleo de la provincia de Córdoba. *Revista SNS*, 9, 15-20.
- MAGyP. (2010). Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2010-2020.
- McOrist, S., y Corona-Barrera, E. (2015). Chapter 3: Intestinal diseases of pigs. In *Intestinal health: Key to maximise growth performance in livestock* (p. 1008). Wageningen Academic Publishers.
- SENASA. (2023). Existencias porcinas. Dirección Nacional de Sanidad Animal. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gov.ar/dataset/senasa-existencias-porcinas>.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & De Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture of the United Nations*. UNEP. 2006. Why take a life cycle approach?. Paris.
- Rodríguez, C. I. (2014). Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil (Disertación Doctoral, Universidad Nacional de La Plata).
- Ruiz de Galarreta, A., y Banda Noriega, R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. 99- 108, Río Cuarto, Córdoba.
- Ruiz de Galarreta, A. (2006). Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, Provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.

CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LAS LAGUNAS DE MONTE Y LAS PERDICES, BUENOS AIRES

Tanjal, C.¹; Borzi, G.¹; Carol, E.¹; Piovano, E.²

¹Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, CONICET-UNLP), Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)

²Centro de Investigaciones de Ciencias de la Tierra (CICTERRA, CONICET)

ctanjat@cig.museo.unlp.edu.ar; gborzi@fcnym.unlp.edu.ar; eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar; eduardopiovano@unc.edu.ar

Introducción

Las lagunas pampeanas conforman ecosistemas cuya biodiversidad es de relevancia ambiental y socioeconómica. Esto se debe a que no solo permiten el desarrollo de actividades pecuarias y turísticas, sino que también constituyen un hábitat singular para la flora y fauna local (Geraldí et al., 2011). Estas lagunas se caracterizan por ser polimícticas, con aguas térmicamente homogéneas, saturada en oxígeno y con un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, consideras naturalmente como eutróficas (O'Farrell et al., 2021). No obstante, esta condición puede ser modificada, e incluso agravada, por las actividades humanas (Quirós et al., 2006).

Las lagunas pampeanas de Monte y Las Perdices se localizan en las cercanías de la localidad de San Miguel del Monte, en el NE de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Estas corresponden a los 2 primeros eslabones del sistema de las Encadenadas de Monte (Dangavs, 2005), comunicadas entre sí por medio de una compuerta por rebalse. A su vez, ambas lagunas reciben los aportes de arroyos periféricos.

El objetivo del presente trabajo es analizar el contenido de fósforo (soluble y total) en el agua superficial de dichas lagunas y evaluar el estado trófico de las mismas.

Materiales y Métodos

La toma de muestras de agua superficial se realizó directamente de los cuerpos lagunares, arroyos (muestras 1 y 15 en Figura 1) y un efluente (muestra 16 en Figura 1). *In situ* se midió pH y conductividad eléctrica (CE) del agua y luego, las muestras fueron tomadas y conservadas para el análisis de nutrientes. Los datos corresponden a 2 muestreos realizados en abril y noviembre 2021. En el laboratorio del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, CONICET-UNLP) se realizaron las determinaciones de fósforo soluble (PS) y fósforo total (PT) mediante espectrofotometría UV-Visible (APHA, 1998). Los datos obtenidos de PT (mg/m³) fueron utilizados para determinar el grado de eutrofización mediante el Trophic State Index (TSI) establecido por Carlson (1977):

$$TSI(PT) = 14,42 \times \ln PT + 4,15$$

Este índice permite clasificar a lagunas en oligotrófico (TSI<10), mesotrófico (10<TSI<35), eutrófico (35<TSI<100) e hipereutrófico (TSI>100), considerando al último como el de mayor productividad biológica (Vollenweider y Kerekes, 1982).

Resultados

El análisis de los datos obtenidos se realizó contrastando los muestreos ya que los mismos se llevaron a cabo bajo diferentes condiciones hídricas. Si bien previo al muestreo efectuado en abril hubo precipitaciones abundantes, las mayores temperaturas en los meses previos determinaron altas tasas de evapotranspiración generando una condición de déficit hídrico o seca. Por otro lado, para el muestreo de noviembre, a pesar de que no se registran excesos de agua durante este mes, las precipitaciones en los meses previos y las bajas temperaturas

condicionan a que el suelo se haya encontrado saturado o cerca de la saturación, registrándose como una condición húmeda.

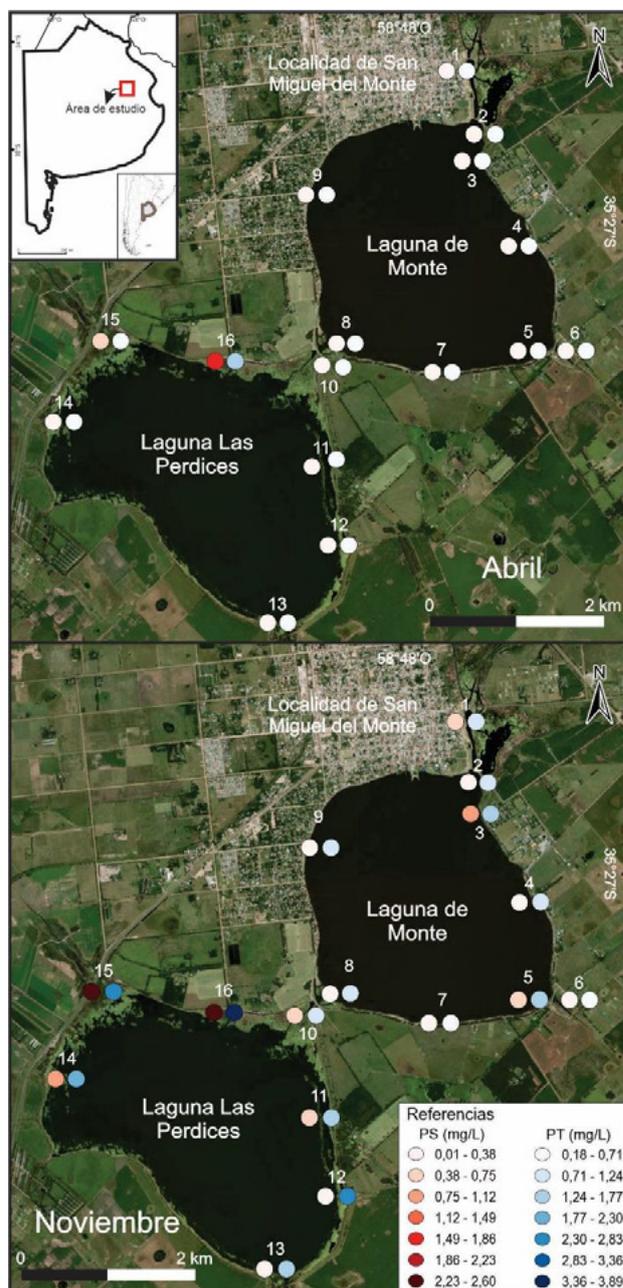


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y de los puntos de muestreo de agua superficial y contenido (mg/L) de fósforo soluble (PS) y total (PT) en los muestreos de abril y noviembre.

En la laguna de Monte, para la condición seca se determinaron valores medios de CE y pH de 1218 μ S/cm y 11,18, respectivamente. Asimismo, presenta concentraciones medias de 0,06 mg/L para PS y 0,19 mg/l para PT (Figura 1), indicando condiciones generales de eutrofia (TSI medio de 80,11%). Durante la condición húmeda, el muestreo evidenció que la CE disminuye levemente con valores medios de 1082 μ S/cm y el pH

se torna menos alcalino (valor medio de 9,12). En cuanto al contenido de nutrientes, las especies de P se incrementan con concentraciones medias de 0,36 y 1,02 mg/L para PS y PT, respectivamente (Figura 1), determinando condiciones generales de hipereutrofia (TSI>100). En el afluente de esta laguna se determinaron valores de CE de 1369 μ S/cm y pH de 11,55 para la condición seca, mientras que para la condición húmeda estos valores fueron de 1512 μ S/cm y 8,68 U de pH. En relación al contenido de nutrientes, durante la condición seca, presenta concentraciones de PS de 0,21 mg/L y PT de 0,39 mg/L (Figura 1). Mientras que, durante la condición húmeda, al igual que en el cuerpo lagunar el contenido de nutrientes tiende a aumentar respecto a la condición hídrica previa, con valores medios de 0,55 y 0,95 mg/L para PS y PT, respectivamente (Figura 1), evidenciando condiciones generales de eutrofia a hipereutrofia de una condición hídrica a otra según los valores de TSI.

Por otro lado, en la laguna Las Perdices, para la condición seca se determinaron valores medios de CE de 3334 μ S/cm y de pH de 10,91 con concentraciones medias de 0,11 mg/L para PS y 0,51 mg/L para PT (Figura 1), indicando condiciones generales de eutrofia (TSI medio es de 93,92%). Durante la condición húmeda, la CE disminuye con valores medios de 1751 μ S/cm y el pH mantiene valores medios cercanos a 10,02. En cuanto al contenido de nutrientes, las especies de P se incrementan con concentraciones medias de 0,53 para PS y 1,85 mg/L para PT (Figura 1) con condiciones generales de hipereutrofia (TSI>100). Con respecto al afluente de esta laguna, en el mismo se midieron valores de CE de 7010 μ S/cm y pH de 8,94 para la condición seca, mientras que para la condición húmeda estos valores fueron de 1877 μ S/cm y 8,64 U de pH. El contenido de nutrientes durante la condición seca presenta concentraciones de PS de 0,52 mg/L y PT de 0,64 mg/L (Figura 1). El contenido de P tiende a aumentar respecto a la condición hídrica previa, con valores medios de 2,34 y 2,60 mg/L para PS y PT, respectivamente (Figura 1), indicando condiciones generales de eutrofia a hipereutrofia de una condición hídrica a otra según el TSI. En el efluente de la planta de tratamiento cloacal, los valores de CE y pH fueron de 2820 μ S/cm y 11,04, respectivamente para la condición seca, mientras que para la condición húmeda dichos valores variaron a 2480 μ S/cm para la CE y 8,56 para el pH. Asimismo, durante la condición seca, se determinaron concentraciones de 1,51 mg/L para PS y 1,55 mg/L para PT (Figura 1). Para la condición húmeda, el contenido de nutrientes presenta la misma tendencia que el agua de la laguna y del afluente, con valores de 2,59 mg/L para PS y 3,65 mg/L para PT (Figura 1), evidenciando condiciones de hipereutrofia en ambas condiciones hídricas.

Discusión

Los resultados evidencian que, en ambos muestreos, el agua superficial de las lagunas presenta pH alcalinos, mientras que la CE tiende a ser más alta en la laguna Las Perdices. No obstante, hay una marcada disminución en este parámetro hacia el muestreo de noviembre con valores cercanos a los de la laguna de Monte.

Respecto al contenido de nutrientes, si bien se esperaría que hacia la condición húmeda disminuya su concentración por un efecto dilución como sucede con la CE, se da la situación contraria observando que los mismos tienden a aumentar. Durante la condición seca, el escaso aporte de los afluentes y la someridad de las lagunas estudiadas generan una mayor interacción agua – sedimento, a diferencia de lo que ocurre en lagos profundos y estratificados, contribuyendo a la variabilidad en el contenido de nutrientes (Diovisalvi et al., 2015). Particularmente, la movilidad de las especies de fósforo está condicionada por procesos como la complejación, adsorción y precipitación favorecidos por la

presencia de carbonato de calcio o materia orgánica en los sedimentos de fondo vinculadas a condiciones alcalinas de pH observadas (Conzonno, 2009; Cao et al., 2016).

Finalmente, la variabilidad del estado trófico de las lagunas está directamente vinculada a los cambios en el contenido de fósforo total, por lo que es de esperar que un aumento de este compuesto genere que las lagunas pasen de condiciones de eutrofia a hipereutrofia. El incremento en el aporte de nutrientes no siempre implica el deterioro del cuerpo de agua, dado que las lagunas cuentan con mecanismos para regular estos desequilibrios. No obstante, pueden existir condiciones ajenas al sistema que afecten dichos mecanismos, como el aporte proveniente del efluente de la planta de tratamiento cloacal donde se determinaron los contenidos de fósforo más altos en ambos muestreos. Esta situación demuestra la influencia que las actividades humanas pueden ejercer sobre el estado trófico de un cuerpo lagunar, razón por la cual la eutrofización cultural es una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial (Yin et al., 2022).

Conclusión

Se concluye que, a diferencia de los parámetros físico-químicos, el contenido de fósforo soluble y total aumenta hacia el periodo húmedo por lo que el agua superficial de las lagunas pasa de condiciones de eutrofia a hipereutrofia. Respecto de los afluentes, el aporte más significativo de fósforo proviene del efluente de la planta de tratamiento cloacal, el cual es vertido en la laguna Las Perdices.

Si bien la información presentada en este trabajo es preliminar, contribuye al conocimiento del contenido de fósforo en el agua superficial de las lagunas pampeanas siendo éste considerado como el nutriente limitante en el desarrollo de los procesos eutróficos y, en consecuencia, de la calidad del agua tanto ecológica como para uso recreativo.

Referencias

- APHA (American Public Health Association) (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater analysis. American Public Health Association, Washington DC.
- Cao, X., Wang, Y., He, J., Luo, X. y Zheng, Z. (2016). Phosphorus mobility among sediments, water and cyanobacteria enhanced by cyanobacteria blooms in eutrophic Lake Dianchi. *Environmental Pollution*, 219, 580-587.
- Conzonno, V. (2009). *Limnología química*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 222.
- Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires.
- Diovisalvi, N., Bohn, V.Y., Piccolo, M.C., Perillo, G.M., Baigún, C. y Zagarese, H.E. (2015). Shallow lakes from the Central Plains of Argentina: an overview and worldwide comparative analysis of their basic limnological features. *Hydrobiologia*, 752, 5-20.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes I. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369.
- Geraldi, A.M., Piccolo, M.C. y Perillo, G.M.E. (2011). El rol de las lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano.
- O'Farrell, I., Sánchez, M.L., Schiaffino, M.R., Izaguirre, I., Huber, P., Lagomarsino, L. y Yema, L. (2021). Human impacted shallow lakes in the Pampean plain are ideal hosts for cyanobacterial harmful blooms. *Environmental Pollution*, 288.
- Quirós, R., Boveri, M.B., Petrachi, C.A., Renella, A.M., Rosso, J.J., Sosnovsky, A. y von Bernard, H.T. (2006). Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas.
- Vollenweider, R.A. y Kerekes, J. (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), Paris, 156.
- Yin, Z., Li, L., Liu, C., Yan, W., Wang, L., Zhang, M. y Wang, D. (2022). Historical variations of sedimentary organic matter sources and their relationships with human socio-economic activities in multiple habitats of a shallow lake. *Ecological Indicators*, 140.

PRESENCIA DE GLIFOSATO EN EL AGUA DE LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE CHACO, ARGENTINA

¹María Alcira Trinelli, ¹Ángeles I. Rodríguez, ²Florencia Mallou, ¹Micaela Cruz, ³Sergio Hanela, ¹Pablo E. Rosi, ⁴Vanina Lombardi, ⁵Juan Alaimes, ³Samuel Díaz, ⁶María Paz González, ⁷Gabriela Berden, ⁸Fabián Caballero, ³Yanina El Kassisse

¹Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, INGEIS-CONICET-FCEN-UBA//²Centro Nacional de Genómica, ANLIS, Malbrán//³Instituto Nacional del Agua. Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua//⁴Agencia de noticias TSS UNSAM//⁵Trama la Tierra productora audiovisual independiente//⁶Departamento de Ciencias Geológicas FCEN-UBA//⁷Centro de Educación Médica e Investigaciones Clínicas “Norberto Quirno” CEMIC//⁸Agrupación Convocatoria Segunda Independencia Chaco, Argentina, E-mail: matrinelli@conicet.gov.ar

Introducción

El glifosato es el herbicida post-emergente, sistémico, no selectivo y de amplio espectro de actividad hacia las plantas más utilizado a nivel mundial (Woodburn, 2000) y particularmente en Argentina representa el 82% del consumo total de herbicidas, equivalente a 200 millones de kg/L/año aplicados (CASAFE, 2012). Ha sido reportado como tóxico para la biota acuática natural (Pechlaner, 2002; Reno et al., 2014; Wu et al., 2016) y para seres humanos (Seveso, 2020). Se han descrito efectos negativos en el metabolismo animal, en particular con efectos crónicos y aleatorios (Cattani et al. 2014; Gasnier et al. 2009; Gill et al. 2018). El producto principal de degradación de glifosato, ácido aminometilfosfónico (AMPA) daña el proceso de reparación de DNA y la síntesis de ARN mensajero en plantas y animales (Duke 2011; Boutet et al., 2004). Además, se reportó que bajas dosis de glifosato causan efectos congénitos en vertebrados (Paganelli et al. 2010) e invertebrados, así también degradación de células del hígado, mutaciones en genes, cambios estructurales en cromosomas, disrupción hormonal, citotoxicidad, genotoxicidad, aberración nuclear, etc. (Gill et al. 2018; Samsel y Seneff, 2013; Seveso 2020). Finalmente, un trabajo reciente demostró la sinergia en el efecto tóxico en anfibios entre arsénico (un metaloide de ocurrencia natural en aguas de la provincia de Chaco y otros lugares de Argentina) y glifosato (Lajmanovich et al. 2019).

En Pampa del Indio, Chaco, los integrantes de la comunidad Qom sufren la falta de acceso a agua de calidad, tanto para consumo como para el riego de sus cultivos desde hace muchos años (Viaje a Chaco, 2014). La localidad recibe pulverizaciones de compuestos agroquímicos aplicados a los cultivos de la zona. A su vez, las redes de agua no alcanzan a las poblaciones rurales, limitando de esta forma su acceso a la misma. Cerca de allí, en Presidencia Roca, hubo una pulverización sobre la población en el año 2021 que afectó la salud de cientos de pobladores (Radio Nacional, 2021).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la calidad del agua en Pampa del Indio en relación con la presencia de glifosato y encontrar rastros de la pulverización sobre Presidencia Roca ocurrida en 2021.

Materiales y métodos

Se realizaron muestreos durante los días 17 y 18 de junio de 2022, en los sitios seleccionados:

Paraje 10 de Mayo reservorio (Latitud -Lat-: -25,80861, Longitud -Lon-: -60,06833); Campo Alemani reservorio (Lat: -26,029684, Lon: -59,977614), Campo Nuevo laguna y aljibe (Lat: -26,17177, Lon: -59,80958); Campo Medina Sala de Salud (Lat: -26,15381, Lon: -59,81956), Campo Medina Pozo (Lat: -26,139641, Lon: -59,8218528); Colonia Alcalá pozo y aljibe (Lat: -26,28429, Lon: -59,71412), Paraje San Isidro Escuela (Lat: -26,16287, Lon: -59,60064), Presidencia Roca Centro Integral Comunitario (Lat: -26,13668, Lon: -59,59379); Río

Bermejo (Lat: -26,136950, Lon: -69,5958180) y Río Guaycurú (Lat: -25,019852, Lon: -59,979671) (Figura 1).



Figura 1.- Mapa de menor escala (abajo a la derecha) y mapa de mayor escala en el resto de la imagen. 1: Pampa del Indio. 2: Presidencia Roca. En globos verdes se representan los sitios de muestreo.

La determinación de glifosato en las muestras se realizó por HPLC en un equipo Agilent 1100 con detector de fluorescencia vía derivatización de las muestras con FMOC (fluorenilmetil cloroformato) y buffer borato pH 9 (Nedelkoska, 2004).

Resultados

Los resultados obtenidos demostraron la presencia glifosato en ambos ríos, en la laguna de Campo Nuevo, en el agua de pozo de Campo Medina y en el agua proveniente de la planta de potabilización de Presidencia Roca en el Centro Integral

Tabla 1.- Valores de concentración de glifosato en muestras

N°Sitio	Origen	Glifosato [ng/ml]
1	Río Bermejo	2,6
2	Agua de red SAMEEP CIC Presidencia Roca	3,3
3	Pozo de Campo Medina	88,5
4	Laguna de Campo Nuevo	2,2
5	Río Guaycurú	2,6

Comunitario CIC, evidenciando de esta manera que el herbicida pulverizado alcanza los cuerpos de agua superficiales y subterráneos donde puede acumularse y permanecer exponiendo a sus pobladores a sus efectos tóxicos también desde el agua. En la Tabla 1, se presentan los resultados del análisis de glifosato realizado en las muestras de agua.

Discusiones

En Chaco, la ley 2026 de Biocidas establece lineamientos para el uso de plaguicidas, en particular en el artículo 26 se establece la prohibición de aplicar agroquímicos por vía aérea a una distancia menor a 1500 metros de centros urbanos, establecimientos educativos y sanitarios, reservas y fuentes o reservorios de aguas y por vía terrestre la distancia límite es de 500 metros (Argentina.gov.ar). Sin embargo, la ley no se cumple. Los días 21, 22, y 23 de octubre de 2021, se llevó a cabo una fumigación en la localidad de Presidencia Roca, donde se vieron afectadas zonas rurales y urbanas y 700 personas tuvieron que ser internadas (Radio Nacional, 2021). En junio de 2022, se realizaron los muestreos pertinentes a este trabajo.

En nuestro país existen numerosos reportes de problemáticas asociadas al uso de formulaciones herbicidas que se agudizan en las zonas con cercanías a campos fumigados (Seveso, 2020). Más aún, en la provincia de Chaco es usual el consumo de agua de lluvia, pozo o de río según la disponibilidad y/o la región. Así, los reservorios de agua pueden verse expuestos a contaminación con plaguicidas si se encuentran al descubierto o si el agua tuvo contacto con suelo fumigado (por ejemplo en escorrentía o en aguas subterráneas). En este trabajo se reportaron concentraciones que varían entre 2,2 y 88,5 ng/ml. Como se puede ver en la Tabla 1, la muestra Sitio 1 pertenece al Río Bermejo, la Sitio 2 al agua de SAMEEP, que es agua del Río Bermejo con tratamiento de potabilización. Con este resultado queda expuesto que el agua tratada y distribuida en los hogares contiene glifosato. Así mismo, otros cuerpos de agua como el Río Guaycurú (Sitio 5) y la pequeña laguna perteneciente a un lote particular (Sitio 4) de donde beben animales también contienen al herbicida en cuestión. Finalmente, se observa que el valor más alto del herbicida (88.5 ng/ml) se midió en el Sitio 3, que corresponde al pozo de un domicilio, también utilizado como fuente de consumo.

El contenido de glifosato en agua de bebida no se encuentra regulado en el Código Alimentario Argentino. Las recomendaciones establecidas por la Organización Mundial de la Salud- OMS del año 2011 argumentan que el motivo para no establecer límites en el agua de consumo humano es que se presenta en concentraciones muy por debajo de las que representan una preocupación para la salud y que tanto glifosato como AMPA tienen toxicidad muy baja (OMS, 2011). A pesar de ello, en el año 2015 la Agencia Internacional de Investigación sobre el cáncer (IARC) de la OMS concluyó que el glifosato es una sustancia probablemente cancerígena (IARC, 2015). Sin embargo, las recomendaciones de la OMS no fueron actualizadas hasta la fecha.

Conclusiones

En este trabajo se demostró la presencia de glifosato en agua de consumo de distintos orígenes en la zona de Pampa del Indio y Presidencia Roca en la provincia de Chaco, lo cual expone a sus pobladores a riesgos para la salud y que nunca antes se ha reportado en revistas científicas.

Referencias Bibliográficas

Argentina.gov.ar, página web:

<https://www.argentina.gov.ar/normativa/provincial/ley-7032-123456789-0abc-defg-230-7000hvorpyel/actualizacion>

Boutet, I., Tanguy, A., Moraga, D. (2004). "Molecular identification and expression of two non-P450 enzymes, monoamine oxidase A and flavin-containing monooxygenase 2, involved in phase I of xenobiotic biotransformation in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*". *Biochimica et Biophysica Acta - Gene Structure and Expression*.

CASAFE Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (2012). *Mercado Argentino de Productos Fitosanitarios*, Kleffmann Group Buenos Aires, Argentina.

Cattani, D., Oliveira Cavalli, V. L., Heinz Rieg, C. E., Tonietto Domingues, J., Dal-Cim, Tasca, C. I., Mena Barreto Silva, F. R., Zamoner, A. (2014). "Mechanisms underlying the neurotoxicity induced by glyphosate-based herbicide in immature rat hippocampus: Involvement of glutamate excitotoxicity". *Toxicol.*, 320: 34-45.

Duke, S. O. (2011). "Glyphosate degradation in glyphosate-resistant and -susceptible crops and weeds". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 19: 11, 5835-5841.

Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M. C., Séralini, G. E. (2009). "Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines". *Toxicol.*, 262:3.

Gill, J., Pal K., Nidhi Sethi, A. M., Shivika D., Madhuri G. (2018). "Glyphosate toxicity for animals". *Environmental Chemistry Letters*.

IARC Monograph on Glyphosate – IARC (who.int)

Nedelkoska, T. V., & Low, G. C. (2004). "High-performance liquid chromatographic determination of glyphosate in water and plant material after pre-column derivatization with 9-fluorenylmethyl chloroformate". *Analytica Chimica Acta*, 511(1), 145-153.

OMS. 2011. *Guía para la calidad del agua de consumo humano*. 4ta edición. Ginebra.

Lajmanovich, R. C., Peltzer, P. M., Attademo, A. M., Martinuzzi, C. S., Simoniello, F., Colussi, C. L., Cuzziol Boccioni, A. P., Sigrist, M. (2019). "First Evaluation of Novel Potential Synergistic Effects of Glyphosate and Arsenic Mixture on *Rhinella Arenarum* (Anura: Bufonidae) Tadpoles". *Heliyon* 5 (10).

Paganelli, A., Gnazzo, V., Acosta, H., López, S. L., Carrasco, A. E. (2010). "Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling". *Chemical Research in Toxicology*.

Pechlaner, R. (2002). "Glyphosate in herbicides: an overlooked threat to microbial bottomup processes in freshwater systems". *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen* 28:1831-1835.

Radio Nacional, (2021) página web: <https://www.radionacional.com.ar/preocupacion-por-las-fumigaciones-en-presidencia-roca/>

Reno, U., Gutierrez, M.F., Regaldo, L., Gagnetten, A.M. (2014). "The impact of Eskoba®, a glyphosate formulation, on the freshwater plankton community". *Water Environ.* 86:2294-2300.

Samsel, A., Seneff, S. (2013) "Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases", *Entropy*, Vol. 15, No. 4, pp.1416-63.

Seveso, M.C.(2020). *Resistiendo al modelo Agrobiotecnológico*. CB ediciones, Argentina.

Viaje a Chaco (2014) "Herramientas para el reclamo de campesinos pobres y pueblos originarios de Pampa del Indio, Chaco por el acceso al agua potable y de riego" Informe técnico del grupo de extensión universitaria Viaje a Chaco de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Woodburn, A. T. (2000). "Glyphosate: production, pricing and use worldwide". *Pest Manag. Sci.* 56:309-312.

Wu, L., Qiu, Z., Zhou, Y., Du, Y., Liu, C., Ye, J., Hu, X. (2016). "Physiological effects of the herbicide glyphosate on the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*". *Aquat. Toxicol.* 178:72-79.

TURBERAS EN CUENCAS URBANAS Y PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE USHUAIA

Urciuolo Adriana¹, Iturraspe Rodolfo¹, Fank Lucía², Peralta Eliana³

(1) Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Argentina
aurciuolo@untdf.edu.ar, riturraspe@untdf.edu.ar

(2) Subsecretaría de Hábitat. Municipalidad de Río Grande
lucia.fank@gmail.com

(3) Dirección General de Recursos Hídricos. Secretaría de Ambiente. MPyA. Provincia de Tierra del Fuego A.I.A.S.
eperalta@tierradelfuego.gov.ar

Introducción

Las turberas son humedales representativos de Tierra del Fuego, que brindan numerosas contribuciones a la comunidad. Constituyen reservorios de biodiversidad, almacenamientos de carbono importantes para la mitigación del cambio climático y archivos paleo-ambientales (RAMSAR, 2002). Cumplen funciones ec hidrológicas en la cuenca hídrica, como la atenuación de efectos de crecidas, retención de sedimentos y transformación de contaminantes (Iturraspe & Urciuolo, 2021). En proximidades de áreas urbanas, estas funciones son relevantes en el control de riesgos hídricos y de la calidad del agua.

Diversas turberas de alto valor ambiental, paisajístico y recreativo se presentan en la zona urbana de Ushuaia y en cuencas cercanas de fuentes de agua potable. En muchos casos, estos humedales han sido severamente afectados por el crecimiento acelerado de la ciudad asociado a actividades productivas, impulsadas desde la década de 1970. El presente trabajo aborda el problema de los cambios físicos producidos en las turberas por distintos usos, con el objeto de definir estrategias para su manejo racional en el marco de cuencas urbanas/periurbanas y proponer recomendaciones para el uso/manejo racional de las turberas identificadas como relevantes.

Metodología

El área de estudio comprende la zona urbana y periurbana de la ciudad de Ushuaia (Fig. 1), específicamente el área conocida como Valle de Andorra ubicada hacia el noreste de la ciudad.

Se realizó el relevamiento y mapeo de las turberas de la ciudad y áreas cercanas a partir de imágenes satelitales de alta resolución y reconocimiento de campo, identificando aquellas que están asociadas a cuencas de fuentes de agua potable.

Para el desarrollo del trabajo se seleccionaron tres sistemas de turberas, en cuyo análisis se consideraron los siguientes ejes principales: 1) identificación de las contribuciones que las turberas prestan a las personas; se denominan como CNP (contribuciones de la naturaleza a las personas, siguiendo enfoque IPBES, 2012); 2) revisión de prácticas de uso y manejo de las turberas identificadas; 3) identificación de afectaciones de turberas por el crecimiento urbano y otros factores (modificaciones físicas y deterioro ambiental) y/o principales amenazas; 5) definición de lineamientos estratégicos para su manejo racional y/o conservación (LE).

Resultados

Turbera de Monte Gallinero: Es un sistema de turberas que ocupa un área deprimida y de escasa pendiente en la zona urbana. La superficie que abarca es de 5.68 ha. y la profundidad de la turba en algunos sectores es mayor a 6 m. Comprende los macizos que se muestran en la Figura 1, separados por una calle que se construyó previo relleno de la turba con áridos.

CNP: Esta turbera constituye un espacio verde que contribuye a la calidad del hábitat urbano y un sitio de recreación de los habitantes de barrios aledaños. Por otra parte juega un importante rol en la regulación hidrológica local.



Figura 1.- Turbera de Monte Gallinero

Prácticas de uso y manejo: El humedal fue objeto de erróneas prácticas que generaron múltiples inconvenientes urbanos. Un sistema de zanjas de drenaje perimetral fue ampliado progresivamente, aislando totalmente este espacio verde del resto de la ciudad y ocasionando su degradación. En la actualidad las parcelas 84-A, 85 A-2 y 85-A-3d quedan comprendidos en la Ordenanza 3123/06 que las declara Reserva Ambiental, para su conservación y protección como Patrimonio Histórico y Cultural y con destino a un uso predominantemente turístico. Asimismo la Ordenanza 5325/17 dispone el ordenamiento integral del sector correspondiente al Macizo 84 A y declara a la parcela 84-A-1ª como Reserva Natural Urbana "Hol-Hol".

Afectaciones/Amenazas: La principal afectación del sistema de turberas corresponde a las profundas zanjas de drenaje que rodean el humedal (Municipalidad de Ushuaia, 2019) y a los aportes de dudosa calidad que aún recibe, los cuales incluyen el Chorrillo Alegre que circula por un zanjeo marginal a cielo abierto. Por una parte el drenaje altera el régimen hidrológico del humedal degradando la turbera y por otra, el mismo se utiliza como receptor de vertidos pluvio-cloacales y eventualmente de residuos sólidos. Todo ello conforma un foco de contaminación, peligroso para la población de sus adyacencias, que en algunos sectores debió ser relocalizada por el riesgo sanitario y su carácter informal, lo cual conllevó conflictos judiciales. Desde hace décadas la urbanización ha avanzado sobre los márgenes de la turbera, generando una base de relleno parcial con áridos, la que sin embargo resulta inepta para sustentar fundaciones de viviendas o de servicios públicos.

LE: Resulta fundamental la restauración hidrológica de la turbera a partir de la clausura de los drenes correspondientes al zanjeo perimetral. Es asimismo importante poner en valor el sitio como espacio recreativo natural, mediante acciones previas de limpieza y restauración ambiental. De igual manera resulta importante la implementación de un plan de educación ambiental conjunto entre UNTDF y Municipalidad y el desarrollo de actividades participativas con la comunidad.

Turberas del escalón morénico: ubicadas al norte de Ushuaia en la parte media de las cuencas de agua potable de la ciudad, arroyo Buena Esperanza, chorrillo Rodríguez y chorrillo Este.

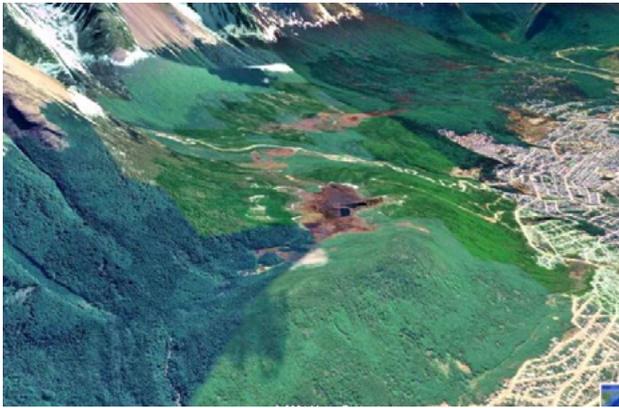


Figura 2.- Turberas del Escalón morénico

CNP: Estas turberas brindan protección a la ciudad ante fenómenos torrenciales provocados por eventos extremos de lluvia y nieve. Juegan un importante rol retardando los picos de crecida y como plataforma de protección ante avalanchas y deslizamientos (Figura 2). En cuencas de fuentes de agua potable contribuyen a mejorar la calidad del agua por su capacidad de retención de sedimentos y transformación de contaminantes.

Prácticas de uso y manejo: Estas turberas están declaradas como Reserva Ambiental mediante la Ordenanza 3123/06 y se encuentran en “zona de conservación” según el ordenamiento de turberas aprobado por Res. SDSyA 401/11.

Afectaciones/Amenazas: La principal amenaza es el avance de la expansión urbana hacia las zonas superiores de la ciudad. Si bien aún no han sido ocupadas, los asentamientos informales han proliferado en el sector oriental. Las turberas han sido rodeadas progresivamente por viviendas precarias sin servicios cloacales y nuevos senderos y caminos de acceso contribuyen a su degradación, la que podría ser agravada por la ejecución inapropiada de obras públicas, como ya ha sucedido en otras.

LE: Dadas las amenazas existentes, se debería proceder en forma urgente a un Plan de manejo que contemple entre otros aspectos: monitoreo del estado y necesidades de restauración; coordinación de áreas técnicas de distintos organismos para la planificación de proyectos y ejecución de obras en la zona; difusión de la importancia de estas turberas para la seguridad hídrica urbana.

Turberas del Valle de Andorra: ubicadas en la cuenta intermedia del Arroyo Grande.



Figura 3.- Turberas del Valle de Andorra

CNP: Las principales contribuciones a las personas se refieren a la calidad del agua, por cuanto el Arroyo Grande es la principal fuente de agua potable de Ushuaia. Considerando su ubicación, juegan un importante rol en la amortiguación de efectos de crecidas por eventos extremos y por su impactante belleza natural en el turismo/recreación y educación ambiental.

Prácticas de uso y manejo: La cuenca superior está protegida

por pertenecer al Parque Nacional TDF. En la cuenca media se ubica el Sitio RAMSAR “Glaciar Vinciguerra y turberas asociadas” (Figura 3). Si bien a través de esta categoría se reconoce la importancia internacional de estos humedales, la designación RAMSAR no constituye una protección estricta. En la cuenca baja se ha realizado uso extractivo en condiciones que muestran gran precariedad. Están contempladas en la Ord. 3123/06 y se ubican en zona de conservación según Res. SDSyA 401/11.

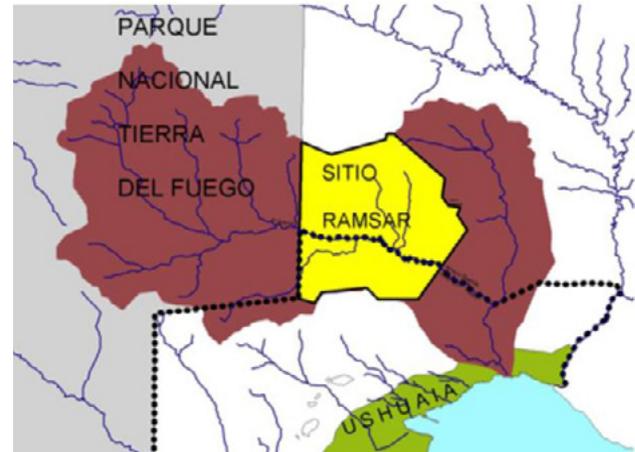


Figura 3.- Ubicación del Sitio Ramsar en la cuenca del A° Grande

Afectaciones/Amenazas: En la actualidad presenta degradación en la zona de uso extractivo y en varios sectores por pisoteo de caballos. La principal amenaza la constituye la reactivación del uso extractivo (minería de turba). Se destaca que los drenajes para esta actividad propician transferencia de carbono orgánico disuelto a los sistemas fluviales favoreciendo la formación de Trihalometanos en el proceso de potabilización. Otras amenazas son la posibilidad de modificaciones de la Res. 401/11 y la expansión urbana hacia la cuenca intermedia.

LE: Se proponen lineamientos como la protección de la cuenca con categoría de Reserva Hídrica; diseño e implementación de un Plan de Manejo del Sitio RAMSAR; creación de comisión participativa Municipio-Provincia, UNTDF, ONGs; restauración ambiental de la turbera intervenida; trabajo conjunto de distintos actores para la educación ambiental en el sector.

Conclusiones

El trabajo realizado muestra que las turberas urbanas de la ciudad de Ushuaia han sufrido diferentes afectaciones asociadas al crecimiento urbano, tales como cambios físicos y alteraciones en su condición ambiental, que ponen en riesgo la continuidad de las contribuciones que brindan a las personas. En todos los casos se vio como necesario proceder a un plan de manejo particular al sector, tal como lo indica la Ord. 3123/06 en su Art. 4 (sin que se haya realizado hasta el presente). La educación ambiental y el trabajo participativo se identificaron como acciones esenciales para la puesta en valor y protección de estos humedales.

Referencias

- IPBES (2012). Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.
- Iturraspe, R. and Urciuolo, A. (2021). “The ecosystem services provided by peatlands in Patagonia”. In Peri P., M.Pastur G. & Nahuelhual L. (Eds.), *Ecosystem Services in Patagonia*. Springer. 155–186.
- Municipalidad de Ushuaia (2019). “Turbera B-85-A. Diagnóstico Ambiental y Propuesta de Remediación”. Informe técnico.
- Ramsar Convention on Wetlands (2002). “Resolución VIII.17. Lineamientos para la acción mundial sobre las turberas”. *Wetlands: water, life, and culture. 8th Meeting of the Conference of the Contracting parties to the Convention on Wetlands*. Valencia, España.

CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA MATANZA- RIACHUELO: CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO DE USO IV

Cecilia Valea, Micaela Redlich y Juan Pablo Barabino

Coordinación de Calidad Ambiental- Dirección Técnica- ACUMAR, Argentina.
E-mail: cvalea@acumar.gov.ar, mredlich@acumar.gov.ar, jbarabino@acumar.gov.ar

Introducción

En la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo (CHMR) se monitorea la calidad del agua superficial en forma ininterrumpida desde el año 2008. Inicialmente se contaba con una red compuesta por 38 estaciones de monitoreo (EM), ubicadas principalmente sobre el curso principal del río y los afluentes y descargas sobre la cuenca baja. Con el paso del tiempo, la misma se ha ido incrementando hasta llegar hoy en día a más de 80 EM, distribuidas en todas las subcuencas que conforman la CHMR, lo que permite obtener una caracterización más representativa de cada zona, considerando cada subcuenca como unidad de análisis y gestión. Son varios los parámetros que se determinan, pudiendo agruparlos en físico-químicos, orgánicos, biológicos, microbiológicos y metales pesados.

Una forma resumida de presentar dicha información es a través de un Índice de Calidad de Agua (ICA), herramienta de síntesis y gestión útil para conocer el estado del recurso hídrico superficial, analizar su evolución o tendencia espacio-temporal, evaluar la eficiencia de los programas de gestión en ejecución y comunicar de forma sencilla y de fácil interpretación los resultados obtenidos (CCME, 2017; UNLP, 2017).

Existen varios ICA desarrollados en el mundo. En general, todos se basan en una combinación de ciertos parámetros químicos, físicos, biológicos, que tratan de representar la realidad de la mejor manera posible. La selección e implementación de cada uno depende de diferentes variables, entre las que se destacan el objetivo que se persigue y la disponibilidad de información (tanto en calidad como cantidad de datos).

Objetivo

El objetivo del presente trabajo consiste en calcular el ICA canadiense (CCME, 2017) en 35 estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial a partir de su comparación con los valores objetivo de Uso IV “Apta para actividades recreativas pasivas”, definidos en la Res. ACUMAR N°283/2019, para el período junio 2008- mayo 2022.

Metodología

Para el desarrollo del trabajo se seleccionó un índice reconocido a nivel internacional, desarrollado por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, por sus siglas en inglés). Éste, tiene la particularidad que deja a criterio del experto la selección de los parámetros y el período de tiempo a utilizar, con el único requisito que deben presentar un valor meta u objetivo para su comparación (CCME, 2017). En esta oportunidad, se seleccionaron los parámetros regulados para Uso IV, definidos en la Res. ACUMAR 283/2019 (Tabla 1), considerando un período anual de junio a mayo del año posterior, incluyendo al menos tres (3) muestreos por período y siete (7) parámetros de los diez (10) definidos. De esta forma, el ICA arroja un resultado anual sintético que manifiesta la calidad del agua a partir de la base del cumplimiento de las concentraciones de dicho Uso.

Para su cálculo, se seleccionaron 35 EM, distribuidas en las 14 subcuencas/áreas que conforman la CHMR (Fig. 1),

considerando sitios en la cabecera/zona media y desembocadura de los afluentes principales, así como sitios emplazados en el curso principal del río Matanza-Riachuelo y las descargas pluviales de mayor relevancia en el tramo bajo.

Tabla 1.- Valores de los parámetros regulados para USO IV.

Parámetro y Valor objetivo	
pH 6 - 9 upH	Temperatura (T) <35 °C
Oxígeno Disuelto (OD) >2 mg/L	Fósforo Total (PT) <5 mg/L
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅) >15 mg/L	Sustancias Fenólicas (SF) <1 mg/L
Detergentes (SAAM) <5 mg/L	Sulfuros Totales (S ²⁻) <1 mg/L
Hidrocarburos Totales (HTP) < 10 mg/L	Cianuros Totales (CN) < 0.1 mg/L

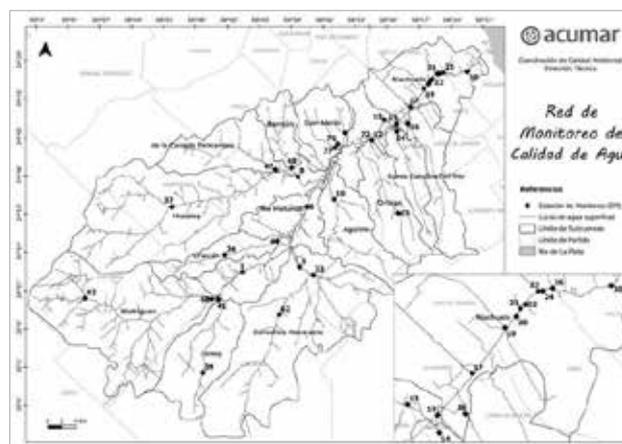


Figura 1.- Ubicación de las 35 EM. Fuente: Elaboración propia.

Metodología de cálculo del ICA

El índice seleccionado proporciona un marco matemático para evaluar las condiciones de la calidad del agua en relación a los objetivos de calidad a través del cómputo de tres factores: F1- Alcance (representa el porcentaje de parámetros que superan el límite regulado), F2- Frecuencia (representa el porcentaje de resultados individuales que no cumplen con los límites establecidos) y F3- Amplitud (representa la cantidad por la cual los valores fuera de rango no cumplen con los límites correspondientes), los cuales se combinan para producir un valor único, que varía entre 0 y 100, y describe la calidad del agua (CCME, 2017).

Se define el Índice de Calidad de Agua (ICA), como:

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right) \quad [1]$$

Categorización de los resultados

La clasificación se basa en 5 clases (Tabla 2), y representa las condiciones del curso de agua relacionada al deterioro que presenta considerando su alejamiento del Uso IV. Es decir, una calidad excelente significa que la calidad del agua está protegida, sin apenas deterioro y la condición del recurso es casi igual a la del estado deseado de Uso IV.

Tabla 2.- Escala de clasificación del ICA.

ICA	Clasificación
94.5-100	Excelente
79.5-94.49	Buena
64.5-79.49	Regular
44.5-64.49	Marginal/Mala
0-44.49	Muy Mala

Fuente de información

Los datos para el cálculo de este índice se basan en las campañas de la red de monitoreo de calidad del agua superficial de ACUMAR (disponible en la [Base de Datos Hidrológicos-BDH](#)).

Resultados

A nivel general, durante los primeros años de monitoreo se observa una distribución de categorías equitativa, con presencia de la clase más baja al inicio, aunque inmediatamente comienzan a aparecer sitios con la categoría más alta (Fig. 2). A partir de 2012 se observa predominancia de la clase “Buena” y aumentos relativos de la clase ”Excelente”, situación que se mantiene hasta 2018. Cabe destacar que durante este período se ha ampliado la red de monitoreo y la frecuencia de muestreo. Para los períodos 2018-2019 y 2019-2020 no se alcanzó el mínimo de campañas necesario para efectuar el cálculo, mientras que en el período siguiente la distribución relativa de categorías cambió significativamente. Se observa un aumento de las condiciones más desfavorables en 2020-2021, con leves mejoras para 2021-2022. Este cambio abrupto se presentó principalmente durante 2020, en las campañas efectuadas en el marco del ASPO (Aislamiento Social y Preventivo Obligatorio) debido a la pandemia de COVID-19. Para el período siguiente, se debe considerar las condiciones climáticas de sequía, donde la mayoría de los cursos presentaban niveles muy bajos, siendo fuente importante los vertidos industriales y domiciliarios, especialmente en las nacientes de los arroyos de cuenca alta.

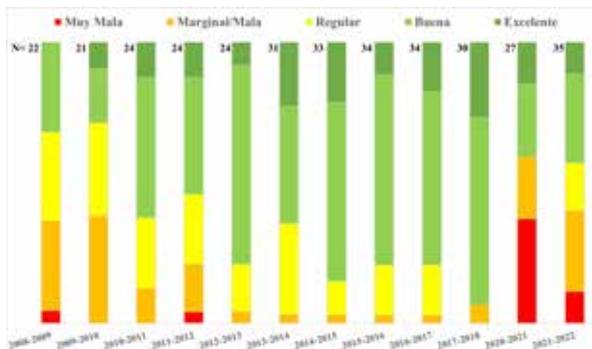


Figura 2.- Distribución relativa de las clases del ICA por período.

Desde la perspectiva espacial (Tabla. 3), las peores condiciones se encuentran en la cuenca baja, donde los impactos por la actividad humana ejercen mayor presión, tanto por la elevada densidad poblacional, como por el mayor grado de industrialización. En la cuenca alta se observan algunos sitios con valores bajos, situación debida a la presencia de núcleos urbanos e industriales que vierten sus efluentes líquidos en los arroyos, provocando impactos locales, situación acrecentada en estos últimos años por las escasas precipitaciones en la zona. Respecto de los últimos dos períodos, se percibe una mejora en ciertas zonas de la cuenca media y en la cuenca baja, como ser los arroyos Dupuy, del Rey, el curso principal en su tramo bajo, conocido como Riachuelo, así como algunas de las descargas y afluentes que vierten allí, mientras que ciertas zonas de la cuenca alta evidencian condiciones desfavorables. A modo descriptivo, en términos generales, los parámetros que

presentan inconvenientes en su cumplimiento son OD y DBO₅ y, en menor medida, PT, S²⁻, pH y HTP.

Tabla 3.- Valores del ICA en relación al cumplimiento de Uso IV para el período 2008-2022 en 35 EM de la CHMR.

SUBCUENCA	EM	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2020-2021	2021-2022
RODRÍGUEZ	42	--	--	--	--	--							
	68	--	--	--	--	--							
CEBEY	39	--	///										
	41	--	--	--	--	--							
CAÑUELAS	62	--	--	--	--	--						///	
	33	--	--										
	3												
CHACÓN	34		--	///	--	///							
	4											///	
MORALES (Cañada Pantanosa + Barreiro)	37	--	--										
	47	--	--	--	--	--							
	48	--	--	--	--	--						///	
	8												
RÍO MATANZA	1												
	6											///	
	12											///	
	13												
	15												
AGUIRRE	10												
DON MARIO	11											///	
	76	--	--	--	--	--	--	--					
	77	--	--	--	--	--	--	--					
ORTEGA	63	--	--	--	--	--							
	72	--	--	--	--	--	///						
SANTA CATALINA	14												
DEL REY	16												
RIACHUELO	17												
	19												
	20						///		///	///	///		
	21												
	22												
	23												
	24												
	25												
	30												

Ref: -- Sin Datos; /// N° de campañas ≤2. **Nota:** Los períodos 2018-2019 y 2019-2020 presentaron N° de campañas ≤2 en todas las EM. El orden de las EM se presenta desde cuenca alta hacia cuenca baja. **Fuente:** Elaboración propia.

Conclusiones

El índice seleccionado permite una buena comparación entre los resultados obtenidos en los monitoreos ambientales y los valores regulados en la normativa. El mismo resulta representativo de la calidad del agua dado que integra los diferentes parámetros y, principalmente, no sólo evalúa su cumplimiento (cumple/no cumple), sino que considera el grado de alejamiento entre el resultado medido y el valor regulado. Actualmente, este índice, elaborado por la Coordinación de Calidad Ambiental, forma parte del [Sistema de Indicadores](#) de ACUMAR. Asimismo, se debe considerar que el 100% de calidad que se menciona, se corresponde con el Uso IV, cuyo cumplimiento es el actual objetivo establecido por el organismo.

Referencias Bibliográficas

Canadian Council of Ministers of the Environment (2017). “Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User’s Manual – 2017 Update”. En: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Universidad Nacional de La Plata- UIDET Gestión Ambiental (2017). Informe Final: Índice de Calidad de Agua Superficial. Proyecto para la evaluación de indicadores de calidad de vida e índices de calidad de aguas en la Cuenca Matanza Riachuelo. Convenio Específico N°1-ACUMAR – UNLP. Disponible en: http://www.bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=502381&retorno=publicacion_listado.php

DINÁMICA DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS EN UNA CUENCA DEL NORTE DE ENTRE RÍOS, CON AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA.

Van Opstal N.¹, Gabioud E.¹, Seehaus M.¹, Pighini R.², Repetti M.³, Wilson M.¹, Wingeyer, A.¹, Cuatrin, A.¹, Regaldo L.⁴, Gagnetten A.⁴, Sasal M.C.¹

¹ Departamento de Recursos Naturales y Gestión Ambiental. Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Paraná, Entre Ríos, Argentina. ² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Santa Fe, Argentina. ³ Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Universidad Nacional del Litoral (UNL). Santa Fe, Argentina. ⁴ Laboratorio de Ecotoxicología, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias (FHUC), Universidad Nacional del Litoral (UNL). Santa Fe, Argentina.

*e-mail: vanopstal.natalia@inta.gob.ar, gabioud.emmanuel@inta.gob.ar, seehaus.mariela@inta.gob.ar, pighini.ramiro@inta.gob.ar, marorepetti@gmail.com, wilson.marcelo@inta.gob.ar, wingeyer.ana@inta.gob.ar, cuatrin.alejandra@inta.gob.ar, luregaldo@gmail.com, amgagnetten@gmail.com, sasal.maria@inta.gob.ar

Introducción

Los ambientes acuáticos localizados en cuencas con producción agrícola pueden recibir el aporte difuso de plaguicidas por deriva, infiltración, depositación atmosférica, escurrimiento o erosión (Primost et al. 2017; Regaldo et al. 2018; FAO and IWMI 2018). Los plaguicidas son potenciales fuentes de contaminación ambiental, particularmente por deterioro en la calidad del agua, afectación a la flora y la fauna, y desaparición selectiva de las especies menos tolerantes.

La provincia de Entre Ríos posee una vasta red hidrográfica, conformada por ríos y arroyos en todo su territorio. En el centro norte de la provincia se desarrolla la región Espinal, que ha experimentado la expansión de la frontera agrícola. Para comprender los complejos procesos vinculados al avance de la frontera agrícola sobre los ecosistemas acuáticos, los estudios deben realizarse a escala de cuenca (Allan, 2004; Ren et al. 2022). Una cuenca representativa de la región del espinal es la cuenca del Arroyo Estacas, ubicada al norte de la provincia de Entre Ríos (Wilson et al. 2020).

Objetivo

El objetivo de este estudio fue conocer la distribución de las concentraciones de plaguicidas en agua superficial, asociada a cultivos presentes en las áreas de aporte de la cuenca del arroyo Estacas representativa de la región del Espinal.

Materiales y métodos

La cuenca del arroyo Estacas tiene un área de 730 km², está ubicada en el departamento La Paz, provincia de Entre Ríos. Su geomorfología se caracteriza por grandes pendientes de 0,5 a 2,5 %. En su cuenca superior posee cursos de agua temporales y, en la cuenca media y cuenca inferior posee cursos permanentes con aporte de agua subterránea, que constituye su caudal base (Pighini et al. 2019; Singh et al. 2019). Se seleccionaron 7 sitios de muestreo de agua superficial y se determinaron las áreas de aporte de dichos sitios. Cinco sitios están ubicados en el curso de agua principal (S2, S3, S5, S6, S7), y dos en cursos secundarios (S1 y S4) (Fig 1). Se realizaron seis muestreos entre abril de 2018 (M1) a febrero de 2019 (M6). En cada sitio y momento de muestreo, se tomaron muestras de agua superficial para la cuantificación de plaguicidas.

Se estimó la ubicación y proporción de la superficie de los principales cultivos anuales en la cuenca: trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*) y soja (*Glycine max*), en las áreas de aporte de los sitios. Se realizaron mapas de cultivos y de carga de plaguicidas dominantes. Se utilizó la plataforma Land Viewer (<https://eos.com/products/landviewer/>), imágenes satelitales de Landsat 8 de los años 2018 a 2019. Con el programa Qgis 3.2.2. se cuantificó la superficie cubierta de cada cultivo.

A las muestras de agua recolectadas se les realizó un screening de 125 plaguicidas. Los residuos de plaguicidas se determinaron mediante cromatografía líquida y gaseosa, y espectrometría de masas (LC-MS/MS + GC-MS/MS).

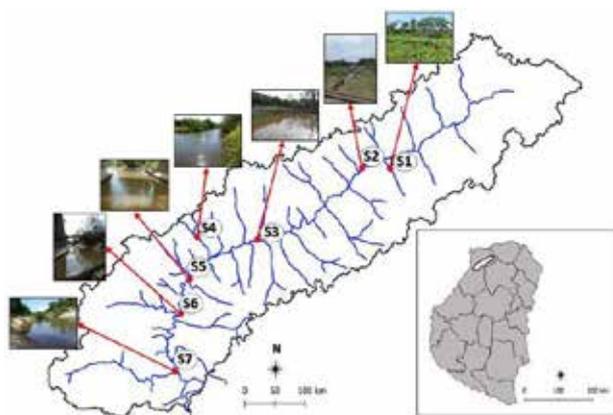


Figura 1.- Sitios de muestreo en la cuenca del arroyo Estacas

Se realizó una clasificación de los plaguicidas detectados con el diagrama de Olmstead –Tukey (Sokal y Rohlf 1981) para determinar: dominantes (mayor frecuencia de detección y mayor concentración de plaguicidas); frecuentes (mayor frecuencia de detección y menor concentración); ocasionales (menor frecuencia de detección y mayor concentración); raros (menor frecuencia de detección y menor concentración).

Resultados

El cultivo sembrado en mayor proporción en el período de estudio fue soja, representando aproximadamente el 71% del total del área cultivada en la cuenca; maíz y trigo representaron 15 y 14%, respectivamente. El resto de la superficie de la cuenca, sin cultivos, está cubierta fundamentalmente por bosque nativo, urbanizaciones y una superficie menor de monte implantado para forestación. El área de aporte con mayor proporción de superficie ocupada con cultivos agrícolas es la del sitio S4 (39%). En el área de aporte de S1 el 97% de la superficie corresponde a bosque nativo. Sin embargo, junto al sitio de muestreo se encuentra un lote de producción agrícola. Las áreas de aporte de los otros sitios, presentan entre un 19 y 21 % de su superficie con cultivos agrícolas (Tabla 1).

Tabla 1. - Superficie total del área de aporte de cada sitio de muestreo y superficie con cultivo.

Sitio	Superficie total (ha)	Superficie con cultivo (ha)
S1	1013	31
S2	22776	4794
S3	39425	7928
S4	592	230
S5	49058	9337
S6	54129	10391
S7	71154	14669

Se detectaron 19 plaguicidas y AMPA en el agua superficial de la cuenca. Los plaguicidas se distribuyeron de la siguiente manera: 42% herbicidas, 26% insecticidas y 32% fungicidas. El diagrama de Olmsted – Tukey mostró que los compuestos de plaguicidas dominantes fueron: Atrazina, glifosato, metolacloro, s-metolacloro y AMPA, mientras que los más frecuentes fueron azoxistrobin, ciproconazol y diazinon. El resto de los 19 compuestos, se ubicaron en las categorías ocasionales o raros (Fig. 2).

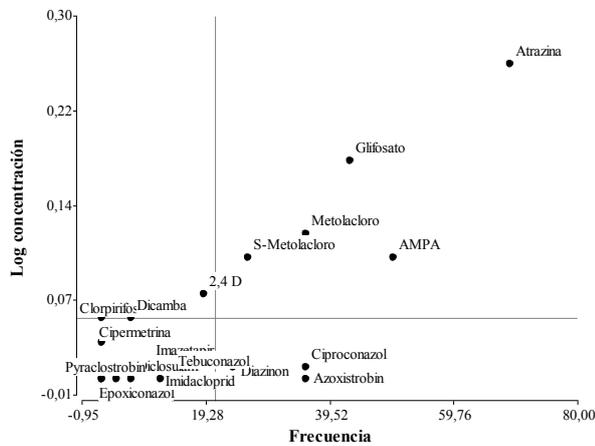


Figura 2.- Relación de la frecuencia de plaguicidas en función del logaritmo de la concentración obtenido con el Diagrama de Olmsted – Tukey

En los distintos momentos de muestreos (M1 a M6), los 5 compuestos dominantes del grupo de los herbicidas se detectaron en distintas concentraciones. Las mayores concentraciones detectadas fueron en: M3 86 $\mu\text{g l}^{-1}$ de atrazina, M4 40 $\mu\text{g l}^{-1}$ de atrazina, 24 $\mu\text{g l}^{-1}$ de metolacloro, 19 $\mu\text{g l}^{-1}$ de glifosato, 15 $\mu\text{g l}^{-1}$ de s- metolacloro y 5 $\mu\text{g l}^{-1}$ de AMPA; y en M5 4 $\mu\text{g l}^{-1}$ de atrazina y glifosato. En M1, M2 y M6 las concentraciones detectadas, estuvieron por debajo de 1 $\mu\text{g l}^{-1}$. Las concentraciones detectadas en M3 a M5, son coincidentes con los momentos de aplicación de los cultivos presentes en la cuenca.

Para M3 y M4 las concentraciones de atrazina halladas superaron el nivel guía para protección de biota acuática nacionales (3 $\mu\text{g l}^{-1}$). En M3, M4 y M5 se detectaron concentraciones de glifosato por debajo del nivel guía para la vida acuática de 240 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Van Opstal et al. 2022).

Los mapas de carga de plaguicidas (Fig. 3) mostraron que atrazina se detectó en un área de captación relativamente baja en comparación con otros plaguicidas como el glifosato, que se aplica en todos los campos agrícolas de la cuenca. Particularmente, glifosato se aplicó en todos los lotes agrícolas de la cuenca explicando así la ubicuidad en el agua superficial de la cuenca. La carga de metolacloro y s-metolacloro abarcó una gran superficie de la cuenca, porque son utilizados en lotes de soja y maíz. Su detección se da fundamentalmente en el momento de su aplicación (M4). Ambos herbicidas no tienen niveles guía para protección de biota acuática nacionales, considerando su amplio uso, es una falencia de importancia al estudiar el impacto del uso de estos herbicidas en el ecosistema acuático.

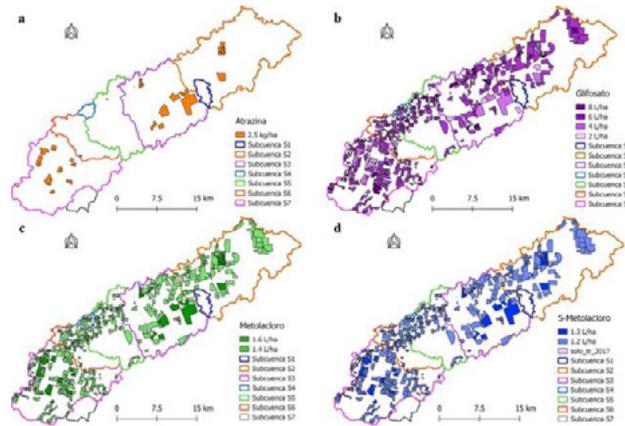


Figura 3.- Mapas de carga de herbicidas dominantes por lote agrícola: a) Atrazina; b) Glifosato; c) Metolacloro; d) S-metolacloro

Este trabajo da cuenta de la asociación entre el uso del suelo, el momento de aplicación de pesticidas a los cultivos y la detección de plaguicidas en agua superficial. Estos resultados indican la necesidad de proponer medidas para su gestión integrada como la sistematización de tierras y la protección de cursos de agua. En este sentido, el trabajo aporta conocimientos relevantes para adecuar la toma de decisiones de manejo en cuencas afectadas por la expansión de la frontera agrícola sobre el bosque nativo.

Referencias

- Allan, J.D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 257-284.
- FAO and IWMI. (2018). More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture. Edited by J. Mateo-Sagasta, S. M. Zadeh, and H. Turrall. Rome, Italy: FAO Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems.
- Pighini, R.J., Wingeyer, A., Wilson, M.G., Gabioud, E.A., Van Opstal, N.V., Seehaus, M.S., Sasal, M.C. (2019). Caracterización de la Cuenca del Arroyo Estacas y relación con el uso del suelo y la morfología del cauce. *Revista Científica Agropecuaria* 23 (1):35-48. ISSN 0329-3602.
- Primost, J.E., Marino, D.J., Aparicio, V.C., Costa, J.L., & Carriquiriborde, P. (2017). Glyphosate and AMPA, "pseudo-persistent" pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution*, 229, 771-779.
- Regaldo, L., Gutierrez, M.F., Reno, U., Fernández, V., Gervasio, S., Repetti, M.R., & Gagneten, A.M. (2018). Water and sediment quality assessment in the Colastiné-Corralito stream system (Santa Fe, Argentina): impact of industry and agriculture on aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6951-6968.
- Ren, D., Engel, B., Mercado, J.A.V., Guo, T., Liu, Y., & Huang, G. (2022). Modeling and assessing water and nutrient balances in a tile-drained agricultural watershed in the US Corn Belt. *Water Research*, 210, 117976.
- Singh, S.K., Pahlow, M., Booker, D.J., Shankar, U., & Chamorro, A. (2019). Towards baseflow index characterisation at national scale in New Zealand. *Journal of Hydrology*, 568, 646-657.
- Van Opstal, N.V., Seehaus, M.S., Gabioud, E.A., Wilson, M.G., Galizzi, F.J., Pighini, R.J., Repetti, M.R., Regaldo, L.M., Gagneten, A.M. & Sasal, M. C. (2022). Quality of the surface water of a basin affected by the expansion of the agricultural frontier over the native forest in the Argentine Espinal region. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.
- Wilson, M.; Sasal, C.; Gabioud, E.; Van Opstal, N.; Wouterlood, N.; Ledesma, S.; Benetti, P.; Wingeyer, A.; Seehaus, M.; Sione, S.; Oszust, J.; Beghetto, S. y F. Galizzi. (2020). Observatorio Agroambiental Cuenca arroyo Estacas, La Paz-Entre Ríos. En *Aportes para el Ordenamiento Territorial de Argentina. Estudio de casos y experiencias en marcha* (B. Giobellina, N. Murillo y Y. Céliz, comp.). Ediciones INTA. ISBN 978-987-8333-51-9. 184-189.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS EN MUESTRAS PROVENIENTES DEL RÍO URUGUAY

Villemur, María Silvina; Rimini, Marta Gabriela; Leis, Analía Susana; Figueroa, Juan Pablo; Vicente, Dora Esperanza; Ciuccio, Gloria Liliana; Saavedra Fuentes, Soledad; Arrieta, Yolanda Elisabeth; Garea, Yari Eduardo

Laboratorio Experimental de Calidad de Aguas - Instituto Nacional del Agua - Autopista Ezeiza-Cañuelas, tramo Jorge Newbery, km. 1,620
- Ezeiza, República Argentina
msvillemur@ina.gov.ar

Introducción

Dentro del marco de las actividades de tipo analítico, de cooperación con la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU), y con la finalidad de potenciar los recursos disponibles y dar la mejor respuesta a los requerimientos de orden científico técnico, se propone en este estudio la optimización de la metodología de seguimiento y control de los resultados de muestras de aguas superficiales y de sedimentos provenientes del Río Uruguay analizadas en el laboratorio, como así también la implementación de nuevos métodos analíticos que permitan adaptarse a requisitos que vayan surgiendo y acrecentar la calidad de los resultados emitidos.

Objetivo

- Optimización de la metodología de seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos para diferentes parámetros en aguas superficiales y sedimentos;
- Implementación de nuevos métodos de análisis que permitan un aumento en la respuesta del laboratorio, ya sea ante nuevos parámetros y/o una mejora relacionada con la eliminación de posibles interferencias; como también la disminución de los tiempos de ejecución;
- Construcción de base de datos de otros parámetros de interés para el laboratorio a fin de disponer de información de base que pueda resultar de utilidad a futuro.

Desarrollo

Para lograr los objetivos planteados, se consideraron diversas líneas de acción, desarrolladas en diferentes momentos, según los requerimientos que fueron surgiendo.

-Para la optimización de la metodología de seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos para los distintos parámetros:

- ✓ Se reforzaron los controles analíticos de calidad mediante cartas control de Shewhart lo que permite monitorear la estabilidad de un proceso de medición, evaluar tendencias, estableciendo si el sistema está bajo control estadístico. Para ello, según el parámetro a considerar, se analizan en conjunto con las muestras, alguno o varios de los tipos de muestras control que se detallan: blanco de laboratorio, blanco fortificado, muestra duplicada, muestra fortificada, muestra fortificada duplicada, material de referencia certificado, material de referencia secundario. Los datos de control obtenidos, se vuelcan para su seguimiento en cartas de exactitud (cartas X) y de precisión o rango (cartas R);
- ✓ Se mantiene actualizada una base con los datos obtenidos para los diferentes parámetros, en cada muestra de cada muestreo recibido, evaluando los mismos según la transecta de muestreo, lo que permite determinar si los valores obtenidos son esperables de acuerdo a los valores históricos. Asimismo, se evalúan los resultados obtenidos según correlaciones esperadas por tipo de parámetros relacionados, por ejemplo, entre los diferentes tipos de

sólidos analizados; entre aceite y grasas e hidrocarburos y entre algunos metales (hierro, manganeso, aluminio).

-En cuanto a la implementación de nuevas metodologías analíticas, se detallan las de mayor relevancia (Standard Methods 23rd Edition, 2017 - EPA SW 846, 3rd Edition):

- ✓ Métodos de análisis que permitiesen determinar la presencia de bario y de cobalto en muestras de aguas superficiales: para ello, debido a los límites de detección y de cuantificación requeridos, se implementó la técnica de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito, de mayor sensibilidad que el modo llama que era el desarrollado anteriormente por el laboratorio para el análisis de bario. Para el cobalto, la implementación se requirió debido a que no se analizaba este analito;
- ✓ Dado el nivel de aluminio encontrado en las muestras de aguas superficiales, se requirió la implementación de un método de análisis menos sensible que el utilizado por el laboratorio, lo cual significó poner a punto la determinación por espectrometría de absorción atómica en modo llama con llama de óxido nitroso/acetileno. Esto aportó una disminución de los tiempos de análisis por ser este método notoriamente más rápido que el método por horno de grafito, como lo analizaba el laboratorio y también una disminución de los costos analíticos;
- ✓ Ante el requerimiento de análisis de varios aniones cuya determinación no es posible por métodos clásicos (titulación, turbidimetría, electrodo de ion selectivo), y ante la adquisición de un cromatógrafo iónico, se implementó en primera instancia la determinación de bromuro y clorato por esta técnica. Se trabajó primeramente en esta implementación, dada la necesidad de dar una rápida respuesta a la determinación de estos aniones. Posteriormente, se continuó con la implementación de otros aniones los cuales se analizaban por alguno de los métodos clásicos ya mencionados, como son cloruro, sulfato, fluoruro. Asimismo, se implementó la determinación de otros aniones no requeridos en el presente trabajo pero de interés para el laboratorio (nitrito, nitrato, bromato, ortofosfato, acetato, cromato, formiato, tiosulfato) y posteriormente perclorato (Villemur, Figueroa, Leis, 2019);
- ✓ Para sedimentos, al recibir las primeras muestras, debido a tratarse de matrices evaluadas como de menor complejidad, se validó la determinación de arsénico con menores límites de detección y de cuantificación;
- ✓ Determinación de cianuro y de sulfuro por electrodo de ion selectivo (ISE): la determinación de cianuro se realizó desde el inicio por el método de destilación y posterior reacción colorimétrica con Cloramina-T. Investigando la forma de reducir el tiempo de análisis de este parámetro y de la cantidad y costoso equipamiento de vidrio que se requiere, se consideró conveniente adquirir equipamiento que permitiese determinar cianuro por electrodo de ion selectivo (Laguna, Villemur, Figueroa, 2022). En cuanto al sulfuro, su determinación se realizó desde el inicio por el método colorimétrico de azul de molibdeno. Investigando la posibilidad de implementar un método

que fuese menos afectado por interferencias como ser por el color y/o la turbidez de las muestras, al igual que para cianuro, se consideró conveniente adquirir equipamiento que permitiese determinar sulfuro por electrodo de ion selectivo (Vega, Villemur, Figueroa, 2023).

Para todas estas implementaciones se requirieron diferentes ensayos para la validación de los métodos, entre otros: selección del intervalo de calibración, determinación de los límites de detección y de cuantificación metodológicos como así también evaluación de su adecuación, estudios de precisión y exactitud, análisis del sesgo, recuperación en diferentes matrices, a fin de poder asegurar una adecuada implementación. Todos estos ensayos requieren de análisis estadísticos.

-En cuanto al seguimiento de otros parámetros de interés: Se implementó una base para el seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos para un grupo de aniones que resultan de interés para el laboratorio, los cuales son analizados por cromatografía iónica en conjunto con los aniones de interés propios del proyecto. Esta base se va actualizando con los datos de cada muestreo de aguas superficiales. Este seguimiento permite tener conocimiento de la posible presencia de otros aniones y disponer así de una línea de base o de “fondo químico natural”.

Resultados

-Se resumen en la siguiente tabla, las ventajas y desventajas resultantes de las implementaciones de nuevos métodos o de las adecuaciones realizadas:

Tabla 1.- Ventajas y desventajas de los métodos implementados

Analito/s de interés	Ventajas	Desventajas
Bario	Mayor sensibilidad	Más lento y costoso que el método usado previamente
Cobalto	Dar respuesta al pedido	---
Aluminio	Más rápido y económico que el método usado previo a este convenio	---
Bromuro, clorato, cloruro, fluoruro, sulfato	-Rápido, se analizan varios aniones en conjunto y aniones que no se podrían analizar por otros métodos, -Mayor sensibilidad	Mantenimiento costoso del equipamiento
Arsénico (en sedimentos)	Mayor sensibilidad, para este tipo de matriz	---
Cianuro	-Más rápido -Menor trabajo -Menor costo en material de vidrio	---
Sulfuro	-Más rápido -Menor trabajo -Menos interferencias	---

-Con respecto al seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos, los controles de aseguramiento de la calidad resultaron satisfactorios. Ver figura 1, a modo de ejemplo, de una carta R de muestras analizadas por duplicado, para bario, con valores todos dentro del nivel de alarma (línea verde).

En cuanto a la base con los datos obtenidos para los diferentes parámetros, se actualiza permanentemente, contando con información proveniente de 851 muestras de aguas superficiales y de 283 muestras de sedimentos, con un total de 26.685 parámetros (datos) considerados, permitiendo fortalecer la comparación de valores actuales con históricos. Del análisis de las diferentes muestras por transecta (ambas márgenes y centro del canal), para cada parámetro, en general no se observan diferencias significativas, excepto para uno de los sitios en una

de las márgenes con respecto a las otras muestras de su transecta.

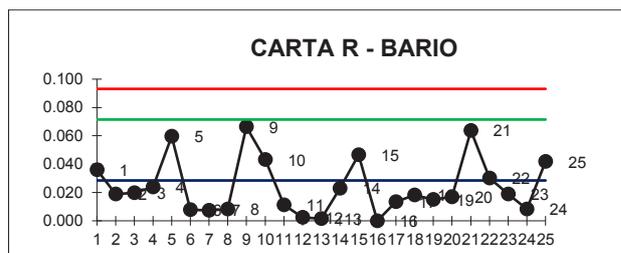


Figura 1.- Carta R de muestras analizadas por duplicado para bario

-Para los aniones de interés relevados (acetato, bromato, cromato, formiato, ortofosfato, nitrato, nitrito, tiosulfato y en el último tiempo también perclorato), en general, no se encontraron valores cuantificables.

Conclusiones

-Con un adecuado seguimiento de los resultados obtenidos, el presente estudio contribuye con información de calidad siendo una herramienta confiable para la toma de decisiones de los usuarios. En este caso, cumplimiento con las normativas, entre ellas el “Digesto sobre el Uso y Aprovechamiento del Río Uruguay”.

-Las implementaciones de métodos analíticos y el uso de nuevo equipamiento, que buscan adaptarse a los diferentes requerimientos, permiten dar una mejor respuesta, ya sea en reducción de tiempos de análisis, en la incorporación de parámetros, y/o en la eliminación de algunas interferencias o bien en mejor sensibilidad en algunos parámetros de interés.

-Con futuras implementaciones, como es la determinación de algunos contaminantes emergentes (residuos de fármacos), se prevé responder a un interés de CARU de disponer de información acerca de la posible presencia de estos compuestos en el Río Uruguay y, a nivel institucional, de contar con tecnología que le permita investigar en esta nueva línea de contaminantes que resulta de interés a nivel internacional (Villemur, Leis, Forastieri, Harbar, 2021).

Referencias bibliográficas

Laguna, M. E.; Villemur, M. S.; Figueroa J. P. (2022). “Validación de la determinación de Cianuro por ISE”. *Informe de Beca INA*.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition (2017). Edited by Baird, R. B.; Eaton, A. D.; Rice E. W. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Métodos de análisis.

Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, SW 846 - EPA SW 846 3rd Edition. Métodos de análisis.

Vega, R. B.; Villemur, M. S.; Figueroa J. P. (2023). “Validación de la determinación de Sulfuro por ISE”. *Informe de Beca INA*.

Villemur, M. S.; Figueroa, J. P.; Leis, A. S. (2019). “Determinación en conjunto de trece aniones en diferentes tipos de aguas mediante cromatografía iónica”. Publicado en el libro digital SP-P24, en la Sección “Separaciones Analíticas” del “10^o Congreso Argentino de Química Analítica 2019”. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-863-375-0.

Villemur, M. S.; Leis, A. S. Autoras secundarias: Forastieri, E.; Harbar, A. (2021). “Contaminantes emergentes en la legislación internacional”. *Proyecto interno de investigación*.

ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ASOCIADO A PRODUCCIONES AGROINDUSTRIALES EN LA PROVINCIA DE LA RIOJA

Vuksinic, Evelyn y Miguel, Roberto Esteban

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Catamarca La Rioja, Estación Experimental Agropecuaria Chilecito
Ruta de la Producción Km 7,5, Tilimuqui, Chilecito, La Rioja, Argentina.
E-mail: vuksinic.evelyn@inta.gov.ar; miguel.roberto@inta.gov.ar

Introducción

El Valle Central Antinaco Los Colorados (VCALC) presenta un importante desarrollo agrícola y agroindustrial asociado a producciones vitivinícolas, olivícolas, nogaleras y hortícolas. Es una región que ha sobrellevado diversas presiones ambientales en el transcurso de los años, impactando principalmente sobre el recurso hídrico y por ende en el desarrollo económico y social de la región. Varias publicaciones advierten sobre uno de esos problemas: la salinización originada por retornos de riego y efluentes agroindustriales (Poblete y Guimaraes, 2006; Miguel et al., 2016; Miguel et al., 2022). Vuksinic et al (2018) evaluaron la vulnerabilidad del sistema acuífero al sur del VCALC. Sin embargo, no se han efectuado trabajos que indaguen sobre el peligro de contaminación. El objetivo del trabajo es analizar la vulnerabilidad y el peligro de contaminación del sistema hídrico subterráneo, en relación a la actual disposición de efluentes agroindustriales asociados a producciones vitivinícolas, olivícolas, nogaleras y hortícolas en el VCALC.

Materiales y métodos

Para determinar la vulnerabilidad de contaminación del acuífero se utilizó la metodología GOD desarrollada por Foster e Hirata (2002). En ella se utilizan tres factores que hacen referencia al acrónimo del nombre en inglés: G, Ocurrencia del agua subterránea; O, Sustrato litológico, y D, profundidad del agua subterránea. Para la determinación de la ocurrencia y sustratos litológicos se analizaron los trabajos de Victoria (1962), Sosic (1971), Rocca (1975) y Poblete y Guimaraes (2006). La profundidad del agua subterránea se obtuvo a partir de la medición de niveles estáticos en 58 pozos con una sonda graduada bipolar de 150 m y sonda unipolar de acero de 300 m (Julio 2020). Estos pozos corresponden a la Red de Monitoreo Público-Privada de INTA EEA Chilecito, abarcando una superficie 646 Km² del VCALC. Los datos puntuales asociados a cada pozo –ocurrencia del agua subterránea, sustrato litológico y la profundidad del agua subterránea– se cargaron en planilla Microsoft Excel® junto a su georreferenciación en coordenadas planas (POSGAR 98 Faja 2). Del producto de cada factor se obtuvo la Vulnerabilidad Intrínseca del Acuífero que fue digitalizada por interpolación Kriging en el Programa Q.GIS 3.0. Para la caracterización de la carga contaminante (CC) se analizaron las cuatro características propuestas por la metodología GOD con las luego se construyó el Índice de Carga Contaminante (En adelante, ICC). 1. Clase de contaminante, 2. Intensidad de contaminación, 3. Modo de disposición y 4. Duración de la CC. Para la representación, se utilizaron los diagramas propuestos por Foster e Hirata (1988). Se identificaron cada una de las agroindustrias estudiadas en el área del diagrama, ponderando así el valor entre 0,1 y 1 para cada característica, para luego obtener un valor general ICC que consideró la suma de cada característica multiplicada por un factor de ponderación homogéneo de 0,25 siguiendo la propuesta de Lexow et al., (2016). De esta manera se clasificó al ICC como bajo (0-0,25), moderado (0,26-0,5), elevado (0,51 – 0,75) y extremo (0,76-1). Luego se procedió de manera similar, siguiendo la propuesta de Foster e Hirata (1988) donde el ICC no se pondera y toma el valor más elevado de las cuatro categorías. De la intersección de la

Vulnerabilidad del Acuífero y el ICC se valoró el peligro de contaminación en un rango de bajo a extremo. Se representó el peligro considerando la vulnerabilidad y las dos propuestas de ICC, ponderado y no ponderado. Finalmente se propusieron lineamientos para la gestión de los efluentes agroindustriales.

Resultados

La vulnerabilidad a la contaminación del sistema acuífero para el VCALC adquiere valores de 0,18 a 0,63, determinando tres tipos de vulnerabilidades: baja, moderada y alta. De las 31 agroindustrias mapeadas, 18 se encuentran en áreas de vulnerabilidad moderada, 4 en áreas de vulnerabilidad baja y 3 en áreas de vulnerabilidad alta. Algunas agroindustrias se ubican en zonas de transición entre vulnerabilidades baja y moderada (3 agroindustrias) y entre vulnerabilidades moderada y alta (3 agroindustrias) (Figura 1).

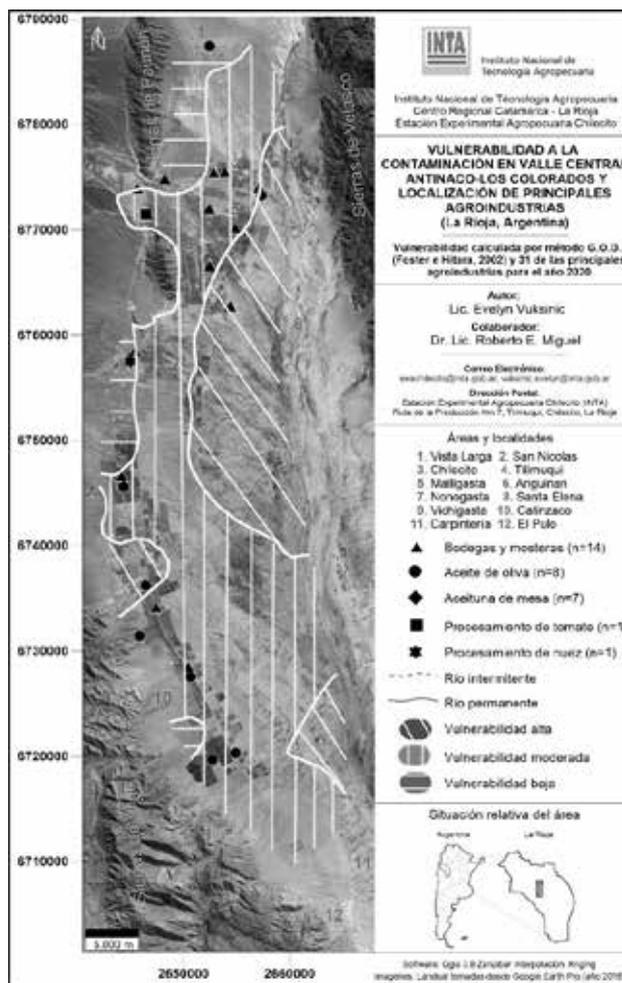


Figura 1.- Mapa de vulnerabilidad a la contaminación

Para el ICC, los valores de cada categoría fueron: clase de contaminante= 1 debido a que se trabajó con nitrato para todas las industrias, excepto para aceituna de mesa que se consideró

cloruro. Intensidad a la contaminación= 0,2, considerando el área de recarga afectada (<0,01%) y los órdenes de magnitud de concentración relativa del contaminante en función de los valores guía de OMS (1x103). Según la gestión de los efluentes en las agroindustrias estudiadas se definieron tres modos disposición final: vuelco de efluente en suelo o lecho de río seco (0,4), balsa de evaporación (0,2) y a la red cloacal (0,1), finalmente para la variable duración de la CC se consideraron los vertidos de efluente todos en una escala temporal entre años y décadas asignándose valores de 1 (suelo o lecho de río seco), 0,8 (balsa de evaporación) y 0,5 (red cloacal). Siguiendo la propuesta de Lexow et al., (2016) todas las industrias presentan una ICC elevado, de 0,55 para las que presentan disposición en balsas de evaporación y 0,65 para las que disponen sus efluentes en terreno o lecho de río. La única industria que presentó un ICC moderado fue una vitivinícola por su disposición en cloacas (ICC=0,45). Siguiendo la propuesta de Foster e Hirata (1988) todas las industrias presentan un ICC=1 debido a que esta metodología toma el mayor valor, correspondiente, en este caso, a clase de contaminante. Esta última propuesta se posiciona desde una visión de seguridad, contemplando que, los contaminantes que puedan transportarse por flujo advectivo, en algún momento alcanzan las capas superiores del sistema acuífero. Los ICC ponderados se estimaron como elevados mientras que los ICC sin ponderar se estimaron como extremos para todas las agroindustrias. En base a los índices de vulnerabilidad del sistema hídrico subterráneo e ICC se determinó el peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo (Figura 2).

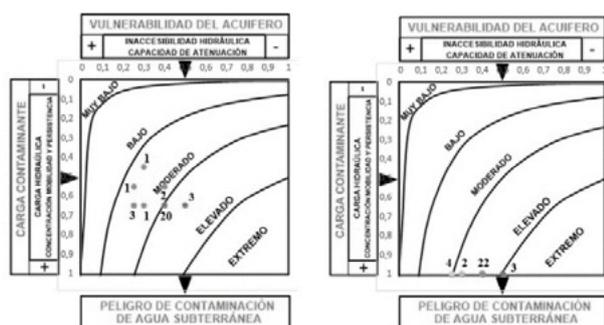


Figura 2.- Peligro de contaminación del agua subterránea

Si se analiza el peligro, tomando la ponderación según Lexow et al. (2016) (izquierda), en el Valle hay ocho agroindustrias con peligro moderado de contaminación, dos con valores cercano a peligro bajo. A su vez, existen 23 agroindustrias en peligro elevado de contaminación, 20 en áreas cercanas a valores de peligro moderado. Sin embargo, el peligro de contaminación de agua subterránea sin ponderar, según Foster e Hirata (1988) (derecha), ubica a la mayoría de las agroindustrias en peligro elevado de contaminación, y tres de las agroindustrias en peligro extremo. Esta última propuesta, como se mencionó anteriormente, se posiciona desde la seguridad, evaluando el peor escenario posible. A los fines de contribuir a una gestión de los efluentes agroindustriales en el VCALC se presentan lineamientos para reducir el peligro de contaminación del agua subterránea:

- En industrias a instalarse o instaladas que utilicen como tratamiento y disposición final balsas de evaporación, deberían acondicionarlas con características semejantes a un relleno de seguridad.
- Monitorear la presencia de contaminantes o concentraciones por encima de las de fondo natural en agua subterráneas, principalmente en áreas de vulnerabilidad alta y moderada.
- Realizar mapas de riesgo de la contaminación de acuíferos, incluyendo en el análisis la vulnerabilidad social asociada a las producciones del Valle.
- Para el emplazamiento de nuevas industrias o balsas, se recomienda trabajar previamente con herramientas que ayuden a

tomar decisiones sobre la gestión de los recursos, asociadas al uso de la tierra y el espacio, por ejemplo: análisis multicriterio o sistemas de decisión de soportes espaciales.

Conclusiones

El peligro de contaminación del agua subterránea en el Valle es, en general, elevado, ya que más de 20 agroindustrias se localizan en esas áreas. A los fines de la gestión del recurso hídrico, se vuelve necesario considerar la vulnerabilidad, las cargas contaminantes potenciales y el peligro de contaminación del recurso, para garantizar el desarrollo productivo del Valle preservando la calidad del recurso hídrico subterráneo. Cabe destacar que, al sur de la cuenca, donde los peligros de contaminación son elevados o extremos, ya se han advertido procesos de contaminación debido a vuelco de efluentes agroindustriales (Poblete y Guimaraes, 2006) o estos sumados a contaminaciones difusas por los retornos de riego (Miguel et al. 2016). Esta situación advierte sobre la necesidad de una gestión integral de la cuenca, que incluya las actividades productivas y su interrelación con los recursos hídricos y así garantice su calidad, esencial en el desarrollo y futuro productivo del VCALC.

Referencias

- Foster, S.S.D., e Hirata, R.C.A. (1988). Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data. In Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data (pp. 86-86).
- Foster, S.S.D. e Hirata R.C.A. (2002). Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO.
- Lexow, C., Di Martino, C., Lafont, D., Albouy, R., y Marcos, Á. (2016). Identificación y cuantificación de la carga contaminante al acuífero freático en la localidad de Monte Hermoso. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, (37), 37-44.
- Miguel, RE.; Tálamo, E; Cristos, D; Gonzalez Ribot, JV; Chayle, L. (2016). Análisis y evolución del proceso de salinización del sistema acuífero Antinaco – Los Colorados en las colonias Vichigasta y Cantinzaco, La Rioja. Argentina.
- Miguel, RE., Gonzalez Ribot, JV. y Canelo, HN. (2022) Evolución hidrogeológica del Valle Central Antinaco-Los Colorados. Parte 4: Vichigasta y Catinzaco. Congreso Argentino de Hidrogeología. Universidad Nacional de Sur y Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino. 25 al 28 de octubre de 2022. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas del Congreso. Auge, M y Abouy, R. (Coord) Editorial Universidad Nacional del Sur EdiUNS. ISBN 978-987-655-310-0273-281 pp
- Poblete, MA. y Guimaraes RE. (2006). Evaluación hidrogeológica de los acuíferos explotados en la cuenca Antinaco-Los Colorados. INA-CRAS. p 28.
- Rocca, J.A.; Ortíz, A.; Zambrano, J; Taballione, C.; Togores, E.; Robles, J.O.; Victoria, J.A.; Pelegrino, J; Salvioli, G.; Bosch, E.; Martinis, N.; Coria, E.; Lonh, P.; Garcia Perón; Ferres, C.; Álvarez, A.; Frontera, H.; Aberastain, S.; Toro, M.A. y Nally, J. (1975). Investigación del agua subterránea en el Valle Antinaco-Los Colorados, Provincia de La Rioja. Publicación N° P-067. INA CRAS. Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano, Subsecretaría de Recursos Hídricos. pp. 350.
- Sosic, M. (1971). Descripción hidrogeológica del Valle de Antinaco-Los Colorados, prov. De La Rioja. Buenos Aires. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 123. 51 pp.
- Victoria, J. (1962). Capítulo 4: Provincia geológica de los bolsones de los llanos occidentales"Editor: Victoria, J. "Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Recursos Hidráulicos Subterráneos" Consejo Federal de Inversiones 55-73. Buenos Aires. Editorial CFI.
- Vuksinic, E.; Miguel, RE. Y Gonzales Ribot JV. (2018). Vulnerabilidad del sistema acuífero Antinaco Los Colorados en las localidades de Vichigasta y Catinzaco. X Congreso Argentino de Hidrogeología y XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Salta, 2018.

BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS EN UNA ZONA RURAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Tornello, Carina¹; Mantovano, Julián¹; Chagas, Celio²; Moretton, Juan¹; Nuñez, Lidia¹

¹ Salud Pública e Higiene Ambiental, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Junín 956 Buenos Aires
² Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 Buenos Aires, Argentina
E-mail: chagas@agro.uba.ar; caritornello@yahoo.com.ar

Introducción

El uso de antibióticos en la práctica médica y veterinaria, unidos a otros usos en la cría de animales, permite un proceso de selección de bacterias resistentes y multiresistentes en casi todos los ecosistemas conocidos. En años recientes el impacto de las bacterias resistentes en la salud humana se ha considerado un tema de importancia central en el mundo. La utilización de antibióticos en la producción ganadera, avícola y en acuicultura se consideran como importantes fuentes de bacterias multiresistentes. Una vez utilizados, los antimicrobianos suelen eliminarse a líquidos residuales y residuos sólidos agrícolas, efluentes y otros residuos de mataderos y frigoríficos y en líquidos cloacales y residuos sólidos urbanos permitiendo la selección y diseminación de bacterias resistentes en el ambiente. Bacterias resistentes a antibióticos utilizados en la cría de animales han sido detectadas en suelos destinados a la ganadería y en diferentes ecosistemas acuáticos como aguas superficiales, subterráneas, líquidos residuales (Medina-Pizzali y col., 2021). La cría de animales utiliza fármacos incluyendo antibióticos para el crecimiento de los animales que pueden contaminar las aguas superficiales (Luque Muñoz, 2017). La expansión e intensificación de las prácticas ganaderas intensivas han planteado importantes cuestiones sobre la contaminación ambiental y su impacto en salud pública. Los antibióticos utilizados en la cría de animales tanto como promotores del crecimiento como para fines terapéuticos pueden alcanzar el medio ambiente acuático al contaminarse cursos de agua con líquidos residuales de feedlot o por la aplicación de estiércol en cultivos como abono.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la resistencia a antibióticos de la población bacteriana en el sistema de bebederos naturales que conecta un feedlot de la Pampa Ondulada con Arroyo Burgos y en la microcuenca del Río El Tala

Metodología

Muestreo: Se tomaron muestras estacionales a la salida del feedlot (punto 1), a 3 km del feedlot (punto 2), en Arroyo Burgos (punto 3), en Arroyo El Tala alto (punto 4) y en el Tala bajo (punto 5). (Figura 1)



Figura 1.-Microcuenca del Arroyo Burgos

Ensayos de susceptibilidad antimicrobiana; La prevalencia de bacilos Gram negativos resistentes a antibióticos se determinó mediante el método de dilución en agar, en medio Agar Violeta Rojo Bilis con y sin antibióticos (ceftriaxona, ceftazidima, ceftiofur, oxitetraciclina y clortetraciclina). La

sensibilidad a los antibióticos de bacterias Gram negativas seleccionadas se determinó mediante la técnica de difusión en disco (CLSI, 2023). La detección de BLEE y carbapenemasas se realizó mediante pruebas fenotípicas según CLSI (2023).

Resultados

En todas las muestras se observaron bacterias resistentes a la ceftriaxona. Se observó que las muestras de la microcuenca Arroyo Burgos presentaron una mayor prevalencia a ceftriaxona seguida de ceftiofur, alcanzando valores máximos de 100,00% y 30,00 % respectivamente. En el Arroyo El Tala alto, también se observa un mayor porcentaje de bacterias resistentes a ceftriaxona (24,00%), aunque se observa una menor prevalencia de bacterias resistentes a ceftiofur.

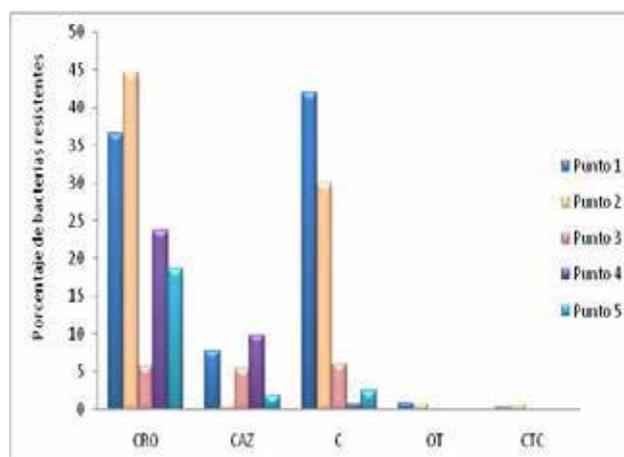


Figura 2.- Prevalencia de bacterias resistentes en los diferentes puntos de muestreo

Entre las cepas aisladas, en el punto 2, se identificó *Escherichia coli*, confirmando el fenotipo BLEE (betalactamasa de espectro extendido). En Arroyo EL Tala se aislaron cepas multiresistentes de *Pseudomonas* y se aisló una cepa de *Pseudomonas fluorescens* con fenotipo BLEE.

Se puede considerar que la ganadería intensiva puede contribuir a la propagación de bacterias resistentes y representar un riesgo para la salud pública.

Referencias bibliográficas

CLSI (2023) Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; Twenty-First Informational Supplement. CLSI document M100-S21, Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA

Luque Muñoz, A. (2017). "Comportamiento y evolución química de fármacos y productos de cuidado personal en compost procedente de lodo edar y en suelo agrícola enmendado." *Fundación Dialnet*, 1

Medina-Pizzali ML, Hartinger SM, Salmon-Mulanovich G, Larson A, Riveros M, Mäusezahl D.(2021) "Antimicrobial Resistance in Rural Settings in Latin America: A Scoping Review with a One Health Lens". *Int J Environ Res Public Health*. Sep18, 18, pp 9837.



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA

06

Gobernabilidad y gobernanza

LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y LAS INTERFERENCIAS DE COSTOSA RESOLUCIÓN María Belén Alonso, María Carla Pagani y Raúl Alberto Navarro	724
ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES Mabel Elizabeth Amarilla y Lucio Ángel Auhad	726
DESAFÍOS TÉCNICOS JURÍDICOS PARA LA GESTIÓN EN LA CUENCA DEL RIO TUNUYÁN SUPERIOR M. Marcela Andino, Guillermo Arreghini, Martin Boni, María T. Badui, Ezequiel Pérez Daldi, Sergio Marinelli, Víctor Medina, Martín Obredor, Leonor Piccone, Mauricio Pinto y Rubén Villodas	728
DINÁMICA DEL PROCEDIMIENTO SANCIONATORIO DE LA LEY DE AGUAS Nº 13.740 DE LA PROVINCIA DE SANTA FE Diego Ariño, Carlos Scioli, Federico Sieber y Luciano Silva	730
MAPAS PARLANTES: UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA LA INTERVEN- CIÓN TERRITORIAL María Lucrecia Ávila y Juan Cruz Tasso	732
OPTIMIZACIÓN DE DATOS ECONÓMICOS PARA ESTIMACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO-ECONÓMICO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MENDOZA, ARGENTINA F. Sebastian Riera, Marcos Ayende y Alejandro Gennari	734
EXPANSIÓN URBANA: LA PLATA A UNA DÉCADA DE LA INUNDACIÓN DE 2013 Guido Barbero y Juan C. Etulain	736
CONTAMINACIÓN POR CROMO: LA IMPORTANCIA DEL ACCESO AL AGUA DE RED EN SITIOS CONTAMINADOS Luciana Antolini, Agustina Biondi, Patricio Carmona, Valeria Malinovsky, Antonela Palma Nasuti y Juan Antonio Reinoso	738
¿CUÁL ES LA COBERTURA DE AGUA Y SANEAMIENTO? ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE INDICADORES Federica Sofía Brenner	740
CONFLICTOS HIDROSOCIALES EN CUENCAS METROPOLITANAS DE BUENOS AIRES. CASO: BARRIO LOS PINOS, QUILMES Agustina Brun Tropiano	742
LA DIMENSIÓN AMBIENTAL COMO FORMA INSTITUCIONAL DE REGULACIÓN EN LA CONFIGURACIÓN TERRITORIAL DE MENDOZA Mauricio J. Buccheri y Santiago Ruiz Freites	744
LA RECUPERACIÓN ESTATAL DE LA PLUSVALÍA HÍDRICA COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN MENDOZA Mauricio J. Buccheri y Mauricio E. Pinto	746
CIENCIA Y POLÍTICA. GESTIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN EL PIEDEMONTE DE MENDOZA Víctor H. Burgos, Mauricio Buccheri, Paula Salcedo y Santiago Ruiz Freites	748
LA CALIDAD DEL AGUA: SU REGULACIÓN EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Verónica Cáceres y Clara Minaverri	750
IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES ANTE AMENAZAS NATURALES EN VOLCÁN, JUJUY, ARGENTINA Susana Chalabe, María Sangroniz, Jorge Prieto Villarroya y Guillermo Sadir	752

PROBLEMÁTICAS Y DESAFÍOS DE LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN LECHERA Nicolás E. Cisneros Basualdo, C. Touriñán, M. Macarena Arrien, Santiago H. Silva, M. Dualde, Juan A. Passucci, Alejandra Krüger y Corina I. Rodríguez	754
PROPUESTA DE INDICADORES ECONÓMICOS, SOCIALES Y DE GOBERNANZA PARA EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA HUELLA HÍDRICA DEL AJO EN MENDOZA Bárbara Civit, Vicente Abbate, Gustavo Almeida, Mauricio Buccheri, Víctor H. Burgos, Martín Cavagnaro, Adriana Mariani, Carolina Ramirez, Santiago Ruiz Freites y Ana Paula Salcedo	756
ORGANIZACIÓN Y RESILIENCIA DE SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS PARA HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO Alejandro Diego Crojethovich, Clarisa Mercedes Cánepa, Leandro Ezequiel Álvarez y Micaela Soledad Giulianetti	758
RIESGO DE INUNDACIÓN EN ASENTAMIENTOS POPULARES: COMPARACIÓN ENTRE RECIFE Y BUENOS AIRES Fabrizio de Luiz Rosito Listo, Claudia Eleonor Natenzon, Keila Maria Bezerra de Lima Ferreira, Samia Nascimento Sulaiman y Danielle Gomes da Silva Listo	760
LA INVERSIÓN EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS-HIDRÁULICOS INTEGRALES DEBE SER PARTE DE LA INVERSIÓN EN OBRAS ESTRUCTURALES Federico Derman, Patricia Graciela Ruggeri y Raúl Alberto Navarro	762
GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UNA CUENCA SERRANA DE TANDIL (ARGENTINA): ANÁLISIS PRELIMINAR DE ACTORES SOCIALES Adriana Alejandra Díaz, María Laura Zulaica y Corina I. Rodríguez	764
SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL PARA CONSUMO HUMANO Y ANIMAL Claudio Alejandro Dualibe, Gabriel Hernán Maidana, Carla Daniela Chejolan Ramski, Julián Antonio Romero, María Camila Salvador y Guillermo José Mendez	766
MAPA DE RIESGO FRENTE A INUNDACIONES URBANAS. IMPLEMENTACIÓN COMO MEDIDA NO ESTRUCTURAL EN LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO Sandra L. Flores, Eduardo F. Salto, Federico M. Rodríguez, Osvaldo Guillermo Mena, Pablo G. Romanazzi	768
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL COSTO DE RIEGO PRESURIZADO CON PIVOTE CENTRAL EN EL ÁREA DE REGADÍO DE LA PAMPA Dardo R. Fontanella, Roberto Torrado, Carolina M. Aumassanne y Javier Herrada	770
FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DEL CONSORCIO GRAL. ROCA DE RIEGO Y DRENAJE Vanesa Funes y Ponce Valeria	772
SISTEMA INTEGRAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN LA MUNICIPALIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE M. Paula Gagliardi y Silvina Serra	774
LA GESTIÓN NO ESTATAL DEL AGUA SUBTERRANEA. SU IMPORTANCIA EN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Nicolás Gonzalez Del Solar	776
COOPERACIÓN INTERSECTORIAL PARA ALCANZAR EL ACCESO UNIVERSAL AL AGUA POTABLE EN AZUL, BUENOS AIRES María Soledad Gualde, Matías Maino Minetto, María Eugenia Peralta Reyes, Romina y Marcovecchio y Sebastián Dietrich	778
PARTICULARIDADES Y POTENCIAL EN ÁREAS DE REGADÍO DE PERIURBANOS DEL ALTO VALLE DE RIO NEGRO Y NEUQUÉN Sheridan Miguel Guiñazú Maira	780
EXPERIENCIA DE TRABAJO INTERINSTITUCIONAL: I JORNADAS PATAGÓNICAS DE ACCESO Y GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA FAMILIAR Maira Guiñazu Micames, L. Bilbao, V. Buda, Joaquín Córdoba, D. Gómez, M. Lucía Mañueco, Ayelén Montenegro, Gabriela Polla, Joaquín Reissig y Sheridan Miguel Guiñazú Maira	782
LOS FONDOS DE AGUA: UNA HERRAMIENTA PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD HÍDRICA Pablo A. Jarabo, Ailén S. Flores, Mariel Etchegaray y Clara M. Minaverri	784

LA PLANIFICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN DE GOBERNANZA EN LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN Guillermo Jelinski, Germán Ciucci y Ana Mugetti	786
EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS COMPROMISOS INSTITUCIONALES, NORMATIVOS Y ADMINISTRATIVOS Marta S. Juliá, Santiago M. Reyna, Andrea Rico, Teresa M. Reyna, Agostina L. Morello y Agustina Bonini	788
ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA VID, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICAS DE REASIGNACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL OASIS NORTE DE MENDOZA Carolina Lauro, Verónica Farreras, Laura Abraham y Emilce Vaccarino	790
GESTIÓN HÍDRICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN. CASO ARGENTINA Y TRIÁNGULO NORTE DE CENTROAMÉRICA Ludwing Antonio Llamas Alvarez	792
MEJORAS EN EL ACCESO AL AGUA Y SANEAMIENTO DE UN PASILLO EN BARRIO SAN FRANCISQUITO DE LA CIUDAD DE ROSARIO María Luz López Lefoll, Albertina González, Soledad Méndez Zacarias y Virginia Pacini	794
POLÍTICA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS (ART) PARA RIEGO EN RÍO NEGRO Santiago Jorge Magnin	796
CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL CANAL PRINCIPAL DE RIEGO DEL ALTO VALLE: UNA EXPERIENCIA HACIA LA GIRH M. Lucía Mañueco, Ayelén Montenegro, Maira Guiñazu Micames, M. Barrionuevo, Joaquín Córdoba, M. Cecilia Gittins, Sheridan Miguel Guiñazú Maira, Enrique Kamerbeek, Héctor Labollita, M. Ayelén Othaz Brida, Gustavo Romero, Anibal Contreras, Gabriel Sora, María de la Paz Merino Tosoni, César Storti, Osvaldo Vettori, Adela Bernardis y M. Cecilia Navarro	798
INSTRUMENTOS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO APLICADOS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA Aníbal Manzur, Fabio Lorenzo, María T. Badui, Sergio Marinelli y Marcela Andino	800
HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN FUTURA DEL AGUA Sergio Marinelli, Marite Badui y Marcela Andino	802
METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE INVERSIÓN PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO URBANO A NIVEL NACIONAL Osvaldo Guillermo Mena, Roxana Cecilia Mazzola, Sandra Liliana Flores, María Belén Arvili, Ana Laura Rydzewski y Santiago Valdés	804
PROYECTO NAYE, UNA EXPERIENCIA ABORDANDO LAS NORMATIVAS DE AGUA Y EFLUENTES M. Laura Minhondo, Nicolás Rodríguez Bormioli, Marisol Reale y Sergio Hanela	806
EXPERIENCIA DEL PROGRAMA “PLANES MUNICIPALES DE CONTINGENCIA ANTE INUNDACIONES” EN LA CUENCA MATANZA-RIACHUELO Carolina Montera, Christian Dibitetto, Fernando Barrera, Samanta Doudtchitzky, Daniela Fierro, Cecilia González Bravo, Nicolás Monza, Andrés Portas, Mariano Re y Lautaro Toth	808
ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE UN RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES PARA UN TRAMO DEL RÍO COLORADO, ARGENTINA Martín Nini, Santiago Lema, Federico Schmidt, Leonel Bergagno, Daniel Petri, Mario Schreider, José Fernandez Yuste, Carolina Martinez, Leticia Carrero y Fernando Magdaleno Mas	810
¿CÓMO APORTAR HERRAMIENTAS DESDE LA CIENCIA ANTE CRISIS SOCIO-HIDROCLIMÁTICAS? CASO DE LA CRISIS HÍDRICA 2021 EN CHUBUT Natalia Pessacg, Ana Liberoff, Franco Salvadores, Pablo Rimoldi, Laura Brandizi, Virginia Alonso Roldan, Lara Mac Donnell, M. Ambrosio, Daniela Raguileo, H. Malnero, Pia Rius y Lucas Díaz	812
GRUPO TÉCNICO DEL COMITÉ DE CUENCA DEL RÍO CHUBUT: EXPERIENCIA Y APRENDIZAJES Natalia Pessacg, Ana Liberoff, Pablo Rimoldi, Franco Salvadores, Lucas Díaz, Laura Brandizi, Virginia Alonso Roldan, Pia Rius, Gabriel Kaless, Silvia Flaherty, Marcos Hernández y M. Pascual	814
LA MODIFICACIÓN METEOROLÓGICA COMO ARMA Mauro Queirolo	816

TRANSFORMACIÓN DE “UN PRODUCTO CIENTÍFICO” A “UN PRODUCTO DE INTERÉS PARA LOS TOMADORES DE DECISIONES Y USUARIOS” Silvia Rafaelli, María Rosana Mazzón y María José Müller	818
ANÁLISIS ESTOCÁSTICO EN LA HIDROMETEOROLOGÍA DE CÓRDOBA PARA IDENTIFICAR INDICIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Santiago M. Reyna, Marta S. Juliá, Andrea Rico, Teresa M. Reyna, Fabián Fulginiti, Agustina Bonini, Agostina L. Morello y Paula L. Bonillo	820
REVISIÓN DE POLÍTICAS DE GESTIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL DISTRITO ROSARIO (SF), ARGENTINA Gerardo Riccardi, Hernán R. Stenta, Carlos M. Scuderi, Pedro A. Basile y Erik D. Zimmermann	822
RACIONALIDADES Y LIMITACIONES EN LA AGRICULTURA IRRIGADA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES Constanza Riera, Natalia Gattinoni, Néstor Barrionuevo y Cynthia Waldman	824
ACTIVIDADES, PERSPECTIVAS E IMPACTO DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA REGIÓN. CONSTITUCIÓN DEL CAPÍTULO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE F. Sebastián Riera, Guillermo Donoso, Pilar Villar, Rocio Vileña y Ariana Rossen	826
PROPUESTA DE ACCIONES LOCALES PARA UNA GESTIÓN INTEGRADA DE CRECIDAS EN LUJÁN, BUENOS AIRES Leonardo Máximo Rivero, Viviana Graciela Zucarelli y María José Denegri	828
CUENCAS HIDROGRÁFICAS, TERRITORIO Y PAISAJE. HERRAMIENTAS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL AMBA Daniela Rotger	830
IMPLEMENTACIÓN DE LAS ÁREAS DE RIESGO HÍDRICO LEY 11.730 EN NUEVAS URBANIZACIONES PROVINCIA DE SANTA FE José Luis Sánchez	832
UNA RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA: ACTORES SOCIALES Y USOS DEL AGUA EN EL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT Zahira Amira Santos	834
DECISORES HÍDRICOS DE BASE FÍSICA. COMITÉS DE CUENCAS Teresa María Reyna y Javier Fernando Schlegel	836
FORTALECIMIENTO A DOS ASOCIACIONES DE ACUEDUCTOS VEREDALES DEL MUNICIPIO DE ANORÍ, COLOMBIA. EPM-UDEA, 2021-2023 Davinson Salazar, Tatiana Sierra, John Soto, Adriana Torres y Camila Jiménez	838
APLICACIÓN DE LOS DATOS DE LA RED HIDROLÓGICA NACIONAL ARGENTINA EN LA GENERACIÓN DE UN MAPA PRELIMINAR DE OBSERVACIÓN DEL ODS 6.3.2 Mariana Sosa, Luz M. Jakomin, María Gabriela Panepucci y Yamila Sanzone	840
PORTAL DE INFORMACIÓN HÍDRICA DE CÓRDOBA (PIHC) César Suaya, Alejandro Aleksinkó, Victoria Chiodi, Tomás Agustín Moyano Reartes, Gino Mosconi, Guido Briones y Jonas Olmos	842
EL ACUÍFERO LIBRE DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ¿ES APTO PARA EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS? Andrés Jesús Tarditti, Olga Susana Heredia y Cecilia Casas	844
DIEZ MIL MÓDULOS FAMILIARES DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN ARGENTINA. EL DESAFÍO DE AVANZAR HACIA LA SEGURIDAD HÍDRICA Lucas Javier Vazquez y Roger Alejandro Benitez	846
UNA REVISIÓN DE POLÍTICAS DE GOBIERNO PARA EL FOMENTO DE LA COSECHA DE AGUA DE LLUVIA URBANA Daniela G. Villanueva y Facundo J. Alonso	848
DISTRIBUCIÓN DE RIEGO EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA – CUENTA DE AGUA Rubén Villodas, M. Marcela Andino, María T. Baduí y Sergio Marinelli	850
ÍNDICES PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO Rubén Villodas, Héctor Segal, María T. Baduí, Sergio Marinelli	852

LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y LAS INTERFERENCIAS DE COSTOSA RESOLUCIÓN

María Belén Alonso, María Carla Pagani y Raúl Alberto Navarro

Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe, Argentina

Juan Manuel de Rosas 847 – 2000 Rosario, 0341 4721584 mbalonso@hotmail.com, carlapagani@yahoo.com, mavarro@santafe.gov.ar

Introducción

La realización de estudios y proyectos hidrológicos-hidráulicos con diseño de obras de infraestructura de desagües pluviales siempre está acompañada por la determinación de las denominadas interferencias que son todas aquellas instalaciones que afectan directamente la traza de algún componente del sistema de drenaje.

Con esta información se trata de anticipar a la posibilidad de toparse con inconvenientes que pudiesen suscitarse al momento de la construcción de las mencionadas obras.

Dentro de las posibles interferencias hay algunas que pueden resolverse de manera sencilla, como pueden ser las líneas de telecomunicaciones, de luz, algunas redes de agua. Otros casos pueden ser algo más complicados como las redes domiciliarias de gas o las de cloaca que deben estar previstas dentro de los pliegos licitatorios para que las obras no se demoren. Finalmente hay otras interferencias que, por el costo que involucraría su modificación, hacen necesario adecuar la obra hidráulica a ellas, obteniéndose en muchos casos soluciones que no permiten cumplir las pautas de los diseños hidráulicos. Dentro de estos casos se pueden incluir los grandes acueductos, gasoductos de alta presión o poliductos.

Muchas de estas últimas interferencias mencionadas fueron construidas en tiempos en que no había una fluida comunicación entre los distintos niveles Municipales, Provinciales y Nacionales.

En la actualidad la interrelación entre organismos ha mejorado. Sin embargo, subsisten aún situaciones de conflicto y se considera muy importante que las mismas sean disminuidas al máximo a favor de la economía del estado y de la reducción de los tiempos de obra.

Se presentan en este poster algunos casos en los cuáles se ha tenido intervención y se refuerza la necesidad de difundir, entre los técnicos que proyectan estos tipos de obras, la necesidad de incorporar a la interferencia hidráulica con la misma preponderancia que cualquiera de las otras dándole intervención a las autoridades de aplicación en temas hidráulicos locales en todos los proyectos que se encaren.

Desarrollo

Se planteará la problemática a partir de la presentación de casos recientemente resueltos.

La Ciudad de Armstrong en la Provincia de Santa fe, está ubicada en una zona de divisoria de cuencas importantes, ellas son la del Río Carcarañá y la del Arroyo Totoras. Dada esta ubicación, recibe aportes pluviales de áreas no muy grandes, pero tiene la desventaja de tener muy poca pendiente natural por la misma razón. El desarrollo urbano había permitido resolver los desagües pluviales mediante intervenciones de magnitudes medias lo cual empezó a generar inconvenientes de inundaciones cuando la impermeabilización y el aumento del ejido urbano avanzaron. Fue entonces necesario encarar un proyecto de mayor magnitud para darle a la población la seguridad necesaria. Los diseños de los pavimentos bajando las cotas de calzada respecto al terreno natural y colocando en

algunos casos conductos enterrados, definió cotas de salida de los desagües con una profundidad tal que fue necesario diseñar un canal en un bajo natural rural con una profundidad que generaba un impacto importante. Esto fue así para poder darle las condiciones de diseño hidráulico admisibles. Este impacto fue aceptado por los propietarios rurales afectados. El inconveniente importante surgió en una zona rural alejada de la ciudad en donde ya se contaba con una pendiente natural aceptable. El estudio de las interferencias arrojó como resultado la presencia de un gasoducto de alta presión a muy poca profundidad, construido en épocas en las cuáles no se toman recaudos cuando se pasaban debajo de bajos naturales. No se los analizaba hidráulicamente y no se pedían permisos a las autoridades locales de aplicación quienes debían definir a qué profundidad debía pasar el ducto para no entorpecer los sistemas de desagües a futuro. La magnitud de la obra que se debía realizar, en el caso que nos toca, para bajar el gasoducto era tal que se desistió de ello y se llegó a una solución de compromiso por la cual, en la zona próxima al sitio, el caudal de diseño circularía desbordado, condición inadecuada técnicamente, ya que las recurrencias de diseño empleadas en estos casos es baja, y que impiden la posibilidad de mejora del sistema por avance del desarrollo urbano.

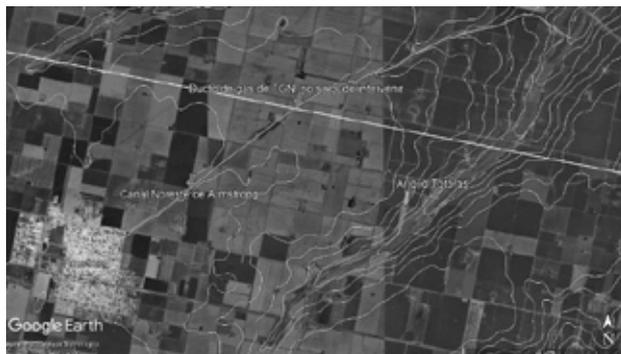


Figura 1.- Canal Noreste de Armstrong

Un segundo caso similar fue tratado en la zona rural del Distrito Serodino, también debido a un gasoducto de alta presión, siendo en este caso posible realizar un diseño en el cual el caudal escurra encauzado. Esto requirió adoptar una base de fondo mayor a la deseable lo cual implicó la utilización de una servidumbre hidráulica importante con el consiguiente costo al erario.



Figura 2.- Canal Serodino

Junto a ello, se inutiliza una superficie mayor a la esperable en una zona donde el valor de la tierra por sus rindes es muy importante.

Un tercer caso similar se produjo en el Distrito Coronel Bogado. El canal en cuestión lleva el mismo nombre y tiene dimensiones importantes. Otro gasoducto de alta presión lo atraviesa y la empresa estatal que lo construyó le colocó una protección rígida a una cota por encima de la del fondo del canal sin pedir autorización a la autoridad de aplicación, limitando también la posibilidad de ejecutar una mejora en el funcionamiento hidráulico de la conducción.

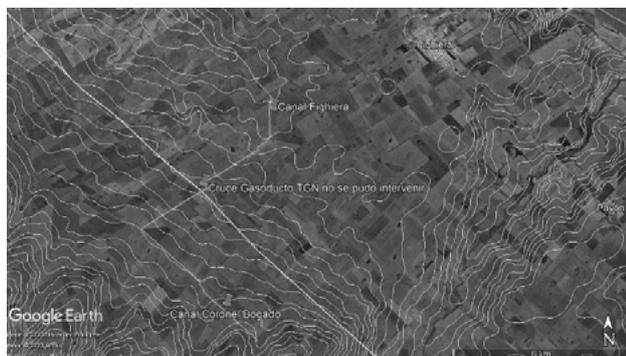


Figura 3.- Canal Coronel Bogado

Por otro lado, los condicionantes que algunas de las empresas responsables de los ductos ponen a la hora de solicitar un permiso para realizar una obra hidráulica son tales, que ni siquiera ellas mismas podrían desarrollarlas si quisiesen poner sus propios ductos en situación de control de riesgos.

El gobierno de esta provincia está encarando la construcción de nuevos gasoductos y para ello ha armado un equipo de proyectistas abocados al tema que se están contactando con la Secretaría de Recursos Hídricos como autoridad de aplicación en temas hídricos. Las presentaciones realizadas solicitando los condicionamientos para los cruces bajo elementos del sistema de desagües provincial demuestran que se requiere una tarea de difusión de estas problemáticas ya que las consultas vienen en general referidas a los cruces de ríos u arroyos de importancia reconocida, pero omiten cualquiera otra facilidad de menor dimensión que para aquellos a quienes sirve, son de primordial importancia.



Figura 4.- Gasoducto Gran Rosario

En la Figura 4 se presenta el caso del Gasoducto Gran Rosario en su tramo que va desde el ducto de alta presión de TGN en el Distrito Roldán pasando por los Distritos Funes, Ibarlucea y Granadero Baigorria. En el trayecto indicado se cruzan cuatro canales importantes de las distintas localidades. Sin embargo, analizando el complejo sistema de desagües regional, desarrollado a partir del avance impetuoso de los

emprendimientos urbanísticos, el número total de puntos a analizar superan los 20.

Esta visión integral sobre los posibles problemas que podrían sucederse a futuro por la interposición de un ducto bajo una línea de escurrimiento o un canal que puede ser ampliado, la tiene la Autoridad de Aplicación quien posee la planificación hidráulica de la cuenca involucrada o puede realizar evaluaciones rápidas en base al conocimiento del sistema y definir posibles pasos a seguir y con ellos indicar si la interferencia puede o no ser importante y a partir de ello actuar.

Los pasos a seguir serían en primera instancia la visualización ante los actores principales de la importancia de tener en cuenta, durante la etapa de proyecto de cualquier servicio ya sea de comunicación, de energía o de saneamiento, la necesidad de participación de los referentes hidráulicos públicos locales y trabajar en conjunto de modo de alcanzar la mayor previsión posible de futuros inconvenientes que pudiesen devenir en inversiones importantes que podrían ser evitadas con el solo hecho de realizar intercambios técnicos entre los distintos entes involucrados en la problemática a encarar.

Conclusiones

Es necesario dejar de lado las antiguas prácticas de considerar que un ámbito público de nivel superior puede decidir sobre el futuro de una determinada cuenca sin realizar consultas con aquellos que tienen a su cargo el territorio que va más allá de la zona de obra.

Los niveles públicos inferiores deberían robustecerse en sus áreas técnicas territoriales de modo de permitir respuestas rápidas acordes a las necesidades actuales que presentan las obras de desarrollo de servicios de transporte o conducción de fluidos a mediana y gran escala de modo de incentivar la interconsulta y permitir el conocimiento entre los actores lo cual redundará en una resolución más sencilla en la generalidad de los casos.

Se requiere una mayor atención en la calidad de la información que se vuelca en los medios públicos técnicos digitales que ofrezca confianza a los usuarios públicos y privados. Debe haber un protocolo sobre la manera de convalidar toda aquella información que se incluya en una página web para que la misma sea todo aquello que esté aprobado oficialmente e incluir la mayor cantidad posible de características de aquella información subida que ayuden a formar a los proyectistas de todos los ámbitos una visión lo más integral posible lo cual redundará en ahorros económicos de proyecto y de obra.

Referencias

Centro Documental MISPyH (2023). *Proyectos y Conformes a Obra*. Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, Gobierno de la Provincia de Santa Fe, Argentina.

Google Earth (2023). Imágenes Satelitales Airbus.

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN COMUNIDADES RURALES

EXPERIENCIA SANTIAGO DEL ESTERO

1^{er}. Mabel Elizabeth Amarilla y 2^{do}. Lucio Ángel Auhad

El Colorado-Formosa, Argentina (1), Santiago del Estero, Argentina (2)

E-mail: amarilla.mabel@inta.gob.ar(1), auhad.lucio@inta.gob.ar(2)

Instrucción

En Argentina, el acceso al agua segura en áreas rurales sigue siendo una de las principales limitaciones para las familias y comunidades. Durante las últimas dos décadas, el **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)** ha contribuido a la temática mediante la implementación de Planes, Programas y Proyectos en diferentes niveles (nacional, provincial y local), tales como el "Programa Nacional Agua, INTA", el proyecto "Acceso, Uso, Re-uso y Manejo del Agua con Fines Múltiples" y otros, en colaboración con otras instituciones, como el "Plan de Acceso al Agua para la Agricultura Familiar, Campesina e Indígena", y en particular, el "Proyecto de inclusión socio-económica en áreas rurales (PISEAR)", además de los Proyectos Especiales de ProHuerta en cooperación con el Ministerio de Desarrollo Social de la Nación.

El INTA ha aportado en la sistematización y acceso a información básica sobre el estado y la disponibilidad del recurso hídrico, su evaluación, diagnóstico y propuestas de soluciones, así como también en la innovación mediante el desarrollo de tecnologías inclusivas y apropiables para el acceso al agua segura.

Con el objetivo de catalogar las intervenciones e inversiones del INTA en la provisión de agua en la provincia de Santiago del Estero, se realizó un inventario de infraestructura hídrica. Utilizando estos datos, se diseñó un producto gráfico que resume, simplifica y comunica la acción institucional y su impacto. Este producto incluye especificaciones técnicas y administrativas, ubicación y cantidad de beneficiarios.

Metodología

Con motivo de generar un producto comunicacional para el evento "Jornada Regional de Arsénico" (21 y 22 de noviembre de 2019-Mesa Interinstitucional Provincial) y con la intención de catalogar las intervenciones e inversiones en provisión de agua en las que ha participado INTA, en el ámbito de la provincia de Santiago del Estero, nos embarcamos en la búsqueda de información en todos los portales INTA-ProHueta. Del mismo modo que en las plataformas de los organismos e instituciones socias como por ejemplo PISEAR, Proyecto de Inclusión Socio-Económica en Áreas Rurales. Figura 1.

En un primer momento nuestra propuesta era relevar proyectos ejecutados en los últimos 15 años. Sin embargo, tuvimos que definir un recorte temporal mucho más riguroso, llegando a trabajar con proyectos de 10 años a 5 años de antigüedad.

Cada proyecto relevado contaba con especificaciones, detalles técnicos y administrativos, pero no todos contaban con la misma calidad y variedad de datos. Por lo que se asumieron algunos criterios generales, entre ellos debía ser infraestructura de acceso al agua segura, a escala familiar o comunitaria, con participación de al menos un técnico de INTA.

Portales consultados

A continuación se presentan algunas de las plataformas y portales consultados.



<https://intranet.inta.gob.ar/procesos/Paginas/default.aspx>



<https://intranet.inta.gob.ar/procesos/servicios/prohuerta%E2%80%8B-proyectos-especiales.vermas.aspx>



<https://colaboracion.inta.gob.ar/prohuerta/SitePages/Home.aspx>



https://colaboracion.inta.gob.ar/prohuerta/_layouts/15/start.aspx#/Proyectos%20Especiales/Forms/AllItems.aspx

UNIDAD	COMPONENTE	GESTIÓN DE INGRESO	CUMPLIMIENTO 3 MESES	Ingresado EIAS	Ida nom	CUMPLIMIENTO 3 MESES	MTA 2019	DEVENGADO 2019	SALDO	% EJECUCIÓN
312000-EIASD	1.3.2.2018.22.72-Aprocheamiento	22/4/2019	22/7/2019	24/4/2019			1.271.877,99	0	1.271.877,99	0,00%
312000-EIASD	1.3.2.2018.22.73-Aprocheamiento	22/4/2019	22/7/2019	24/4/2019	7/5/2019	24/7/2019	4.180.522,84	0	4.180.522,84	0,00%
312000-EIASD	1.3.2.2018.22.63-Cisternas	22/4/2019	22/7/2019	24/4/2019			454.053,74	0	454.053,74	0,00%

Reporte administrativo

Figura 1.- Plataformas consultadas

La búsqueda fue bastante laboriosa debido a que los portales están pensados para otro tipo de búsquedas, fundamentalmente para requerimientos administrativos y de gestión. Sin embargo, el poder dialogar con los equipos técnicos de INTA y realizar las consultas y verificaciones personalmente, alivianaron el trabajo de sistematización.

Logramos la confección de un primer listado, a través de

entrevistas con el coordinador del área de Coordinación Territorial y Desarrollo Rural y el Coordinador Regional de ProHuerta, quienes nos facilitaron el detalle de todos los proyectos que se desarrollaron desde 2016 hasta septiembre 2019, discriminados por códigos de inventario, nombres, años y montos adjudicados.

En este listado general, identificamos los proyectos que abordan la temática agua y correspondieren a infraestructuras de cisternas, aljibes, tanques, represas, bombas de agua, redes de distribución, sistemas de riego, pozos y perforaciones.

Incluimos en la lista proyectos financiados por el Ministerio de Producción y Trabajo, Ministerio de Salud y Desarrollo Social, Secretaría de Agroindustria, ProHuerta, Fundación AVINA, Cisternas Sinceramente. En todos los proyectos seleccionados el INTA estuvo involucrado, con sus equipos de investigación y extensión, también colaborando en la gestión y logística según las necesidades.

Una vez identificados los proyectos, procedimos a buscarlos individualmente en el portal PROCESOS/INTA. Al acceder a sus contenidos según cada gestión de proyecto, los analizamos y catalogamos, logrando conocerlos con mayor especificidad a cada uno de ellos.

Sin embargo, encontramos algunas inconsistencias, sin la inclusión de las observaciones sugeridas por los evaluadores y los montos finales ejecutados.

Fue entonces, que decidimos entrevistarnos personalmente con cada uno de los responsables de dichos proyectos.

A partir de allí, pudimos incluir detalles en relación a las observaciones de los evaluadores, las modificaciones de forma, los métodos y materiales empleados, los montos enunciados y montos adjudicados, etc. Estos últimos datos los pudimos trabajar junto al personal de la administración de la experimental.

Finalmente, con la información disponible, propusimos centrarnos en lo construido y el estado de las obras hasta el momento de la sistematización. En este proceso, dada la gran cantidad de información existente, acordamos sistematizar los proyectos ejecutados en el ámbito de la Estación Experimental Agropecuaria de Santiago del Estero, desde enero de 2016 a septiembre del 2019. Así mismo, decidimos detenernos en el análisis de los módulos multipropósito, la cantidad de personas beneficiarias y los montos de inversión.

Pieza de comunicación

Con la información recabada, se realizó una pieza de comunicación que tuvo circulación en dos formatos; un poster doble impreso y su respectiva copia digital, que fue publicada en el sitio web de INTA Santiago del Estero. Para la construcción de este producto comunicacional se utilizó un formato de infografía, presentando los datos más relevantes de la sistematización, subrayando el impacto de estas acciones en los distintos departamentos de la provincia y el monto invertido.

Para complementar el trabajo se hizo una muy cuidadosa selección de imágenes, pretendiendo hacer visibles tanto las tecnologías, como los territorios donde estas tecnologías se utilizan, y por sobre todo, quiénes son los actores y beneficiarios de estas acciones. El material fotográfico fue cedido por los técnicos del Sistema de Extensión del INTA Santiago del Estero y tanto el diseño como la maquetación de la infografía, fueron realizados por el equipo de Comunicación de la Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero.

La infografía exalta la “cisterna de placa” Figura 2, como infraestructura de almacenamiento en los módulos de captación de agua de lluvia, una de las más difundidas en la región del Gran Chaco Americano, en la agricultura familiar y los pueblos originarios. Donde históricamente el agua de lluvia es parte del

desarrollo de los territorios. Del mismo modo resaltan los valores relevantes como la cantidad de familias y el monto de inversión.



Figura 2.- Infografía producida

Conclusiones

La visibilidad de las acciones del Estado, a través de sus Instituciones es, en relación al agua, de gran importancia porque permite a la sociedad conocer y comprender los esfuerzos y los logros articulados en cuanto a la gestión y uso responsable los recursos que se destinan para el abordaje de la problemática. La transparencia y la difusión de información sobre las políticas y programas relacionados con el agua fomentan la participación ciudadana y la colaboración

Estado–Sociedad, tanto en la toma de decisiones como en la implementación de soluciones innovadoras. La visibilidad de estas acciones ayuda a generar conciencia sobre la importancia del agua y la necesidad de su conservación y protección, contribuyendo finalmente en la promoción del uso sostenible del recurso hídrico.

Bibliográficas

Amarilla M. y Auhad L. (2019). *El INTA participó en la Jornada Regional del Arsénico*. Santiago del Estero, Argentina.

<https://inta.gob.ar/documentos/el-inta-participo-en-la-jornada-regional-del-arsenico>

Amarilla M. y Nackab A. (2021). “1° TALLER NACIONAL VIRTUAL, Acceso al agua para usos múltiples en la Agricultura Familiar – Relevamiento y evaluación para la mejora en la toma de decisiones”. Colección Investigación, desarrollo e innovación. Ediciones INTA. Argentina.

<https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/13642>

DESAFÍOS TÉCNICOS JURÍDICOS PARA LA GESTIÓN EN LA CUENCA DEL RIO TUNUYÁN SUPERIOR

M. Marcela Andino, Guillermo Arreghini, Martin Boni, María T. Badui, Ezequiel Pérez Daldi, Sergio Marinelli, Víctor Medina, Martín Obredor, Leonor Piccone, Mauricio Pinto, Rubén Villodas

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215
marcelaandino71@gmail.com, guilleurreghini@hotmail.com, sboni@irrigacion.gov.ar, licbadui@gmail.com,
ezequiel.perez.daldi@gmail.com, slmarinelli@yahoo.com, martin.obredor@irrigacion.gov.ar,
vemedina4@gmail.com, picconeleonor@mail.com, ticio2006@gmail.com, arvillo1@gmail.com

Introducción

Si bien el Código Civil y Comercial de la Nación (CCyCN) afecta el agua, -superficial, subterránea y atmosférica-, como un bien del dominio público (artículo 235), no dispone la publicidad de todas las aguas, fracturando con ello el ciclo hidrológico. Coexisten en consecuencia categorías de aguas del dominio público, de los particulares (artículo 239) y las del dominio privado del Estado (artículo 236), sin perjuicio de la categoría de aguas privadas que preveía el antiguo artículo 2350 del CC (vertientes que nacen y mueren en una misma heredad) y que en la provincia de Mendoza se encuentran registradas como tales. Este entramado jurídico deriva en diversos títulos jurídicos para el acceso al agua (concesiones definitivas, permisos precarios de aguas vivas y desagües, usos directos-dominio privado) lo cual genera serias dificultades para la gestión del agua en cuencas con diversidad de fuentes de agua y compleja hidrología como la parte alta del río Tunuyán Superior. El agua en esta cuenca tiene origen en las nevadas de la cordillera Principal y los aportes de vertientes provenientes de la cordillera Frontal. Los escurrimientos del río son, fundamentalmente, deshielo al menos en la zona donde se encuentra el Dique Valle de Uco, inicio del sistema de riego de alrededor de 15.000 ha. Los aportes de vertientes, forman una serie de arroyos que riegan otros sistemas de riego menores, para luego infiltrarse casi en su totalidad. Aguas abajo, luego de interactuar con los acuíferos superficiales y subterráneos, el agua vuelve a la superficie, formando nuevos arroyos afluentes del río Tunuyán, aguas arriba del embalse El Carrizal. Esta problemática técnica - jurídica se ha abordado con profusos estudios hidrogeológicos y de títulos jurídicos que resultan esclarecedores para la gestión de este tipo de cuenca.

Particularidades hidrogeológicas de la cuenca del río Tunuyán Superior

La cuenca del río Tunuyán, abarca una superficie de 18.954 km², localizada en la zona centro norte y centro de la provincia de Mendoza.

La hidrogeología de toda esta cuenca es compleja, ya que tiene diversas fuentes de recarga, tanto de las cordilleras Principal y Frontal; de los arroyos de origen nival y de las distintas zonas bajo riego.

El cauce de este río presenta un recorrido que nace en los glaciares de la cordillera principal, en la vertiente sur-Oeste del Volcán Tupungato, atraviesa el Valle de Uco, transpone la Sierra de las Huayquerías y se extingue en la depresión o llanura de travesía del este mendocino.

El curso del río Tunuyán se puede dividir en tres partes perfectamente diferenciadas:

i. Subcuenca Alta Montaña que abarca el sector montañoso más

importante y se desarrolla hasta la Estación de Aforos Valle de Uco, con una superficie aproximado de 2.400 km². Los aportes de esta parte de la cuenca son prácticamente los generados por la precipitación nival, con neta variación entre los caudales de invierno y verano.

ii. Subcuenca Tunuyán Superior Abarca una superficie aproximada de 6.500 km², y corresponde al oasis de riego del Valle de Uco. Esta parte de la cuenca se caracteriza por participar del aporte nival de la primera y aporte pluvial propio, así como una disminución de la diferencia entre aportes de invierno y verano.

iii. Subcuenca Tunuyán Inferior constituida por el llano o travesía del Este, se extiende desde las Huayquerías hasta el Departamento de La Paz. Incluye el oasis de riego, aguas abajo del Embalse El Carrizal. Alimentada por las erogaciones del dique, el río como tal prácticamente ha desaparecido, quedando sólo el lecho del río, raras veces surcado por las aguas.

En función de lo detallado precedentemente, se puede apreciar la complejidad de la oferta hidrológica de la cuenca, así como también los desafíos que se presentan para la gestión de los recursos hídricos.



Condición jurídica del agua y su gestión

El CCyCN en su artículo 235 (ex 2340 CC) determina que los bienes conforman el dominio público del Estado, siguiendo un criterio meramente enumerativo. Tal norma incluye el agua, casi en la totalidad de las formas en la que se presenta en la naturaleza, entre los bienes que integran el demanio público razón por la cual, entonces, quedará comprendida dentro del régimen de imprescriptibilidad, inembargabilidad e inalienabilidad, (Artículo 237).

No obstante ello se ha mantenido una categoría aunque residual de aguas privadas que son denominadas "aguas de los particulares" (artículo 239).

Por otra parte, debe tenerse presente que las aguas por sí solas no revisten la condición de muebles o inmuebles, sino que

puede presentar cualquiera de esas condiciones según las circunstancias del caso, y ello dependerá de cómo se las ubique. De tal modo, serán inmuebles cuando en la operación jurídica que se efectúe se las considera como integrantes o partes fluidas del predio; pero si bien su consideración como inmueble puede ser preponderante, también es posible que se las considere muebles si se las separa del predio y se las transporta de una parte a otra.

El CCyCN contempla que las aguas que surgen en los terrenos de los particulares pertenecen a sus dueños, quienes pueden usar libremente de ellas, siempre que no formen cauce natural. Pertenecen al dominio público si constituyen cursos de agua por cauces naturales (art. 239). Esta clase de agua es la que la doctrina y jurisprudencia denomina como “de fuentes”, las que implican aguas que “surgen” -o “brotan” del subsuelo, y pertenecen al dominio privado en cuanto no formen cauce natural; es decir, son privadas las aguas que se encuentran en el caput fontis (ámbito del terreno donde emanan), sin que se presente un caput fluminis (inicio del escurrimiento).

La naturaleza privada de las aguas importa que integran el patrimonio que tutela el art. 17 CN, en virtud de lo cual el titular dominial tiene todas las facultades de usar, gozar y disponer material y jurídicamente de la cosa que integra su dominio, dentro de los límites previstos por la ley (art. 1941 CCyCN).

La regla de las vertientes privadas del art. 2350 CC, era una excepción al principio general de publicidad de las aguas contenida en el art. 2340. De este modo, toda agua que formaba un cauce natural –incluyendo los casos de caput fluminis provenientes de fuentes o manantiales– era del dominio público, con excepción de las vertientes que inician y mueren dentro de una misma heredad. Debe advertirse que la excepción referida a cauces privados constituidos por vertientes intraprediales no ha sido mantenida en el texto actual del CCyCN el que sólo incluye a las aguas de fuentes como propia de los particulares, pero sin determinar los efectos de una vertiente intrapredial.

Cabe mencionar además que el CCyCN incluye a los lagos no navegables en el dominio privado del Estado (art. 236), pero en Mendoza los mismos han sido afectados al dominio público por Ley 9190, y por otro lado, el art. 1947 define como cosa mueble apropiables por particulares al agua pluvial que caiga en lugares públicos o corra por ellos.

Ahora bien en la práctica, y en particular en la cuenca del río Tunuyán Superior, se presentan casos de discordancia entre usos empadronados como derechos sobre aguas privadas y la real condición –pública– de tales aguas, en virtud de que las vertientes existentes en propiedades donde inicialmente nacían y morían, por fraccionamiento dominial han cambiado su condición jurídica a aguas públicas, pero de manera anómala subsisten registralmente como privadas, aún cuando se gestionan como públicas.

En muchos casos el supuesto fáctico del dominio privado se habría desvanecido por actos de disposición de los propietarios, que al fraccionar los predios hacen que las aguas dejen de ser intraprediales para transformarse en aguas del dominio público que deben administrarse bajo el derecho administrativo, y por ende no debieran ser objeto de disposición por los particulares. Frente a ello, cuando determinados cursos no corresponden actualmente a la categoría de aguas del dominio privado, serán respetados los empadronamientos existentes y los usos que se hagan en esa calidad, hasta la superficie realmente cultivada que cada propietario acredite, pero el cauce se deberá gestionar como integrante del dominio público. Este principio se encuentra en el actual régimen dispuesto por el art. 32 de la Resolución 334/21 HTA del Departamento General de

Irrigación.

Conclusiones

En una cuenca con gran complejidad hidrológica la existencia de distintas categorías jurídicas de aguas implica agudizar la ya difícil gestión del agua.

Existiendo un sistema de distribución, con tomas y servidumbres para abastecer diversas propiedades, es evidente que se descarta un caso de aguas de fuentes privadas que sólo existe cuando el recurso no tiene la cuantía para formar un cauce natural. En la medida en que los titulares registrales se avengan y/o no se opongan a los hechos que eventualmente se acrediten en relación a la publicidad de las aguas, el trámite de revisión de los títulos jurídicos para acceder al agua podrá ser resuelto administrativamente, sin perjuicio del eventual control judicial posterior

Referencias

ANDINO, Mónica. (2016). “Las Aguas del Dominio Público” en MATHUS ESCORIGUELA (Dir) Análisis crítico del Código civil y Comercial de la Nación en materia de agua y ambiente, Editorial IDEARIUM de la Universidad de Mendoza, pp.53-90.

PINTO M. y MARTIN L. (2016). “Un paso atrás: mantenimiento y regulación de las aguas privadas en el nuevo Código Civil y Comercial argentino de 2015”. En: Clara M. Minaverry y Javier Echaide (Coordinadores), Derecho de Aguas y Derecho Ambiental. Revista Jurídica de Buenos Aires, Abeledo Perrot, 2016-I, pp. 67-90.

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACION (2021) Actualización de Balance Hídrico Cuenca del río Tunuyán Superior.

DINÁMICA DEL PROCEDIMIENTO SANCIONATORIO DE LA LEY DE AGUAS N° 13.740 DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

Diego Ariño (1), Carlos Scioli (1) (2), Federico Sieber (1), Luciano Silva (1)

(1) Secretaría de Recursos Hídricos – Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat – Prov. Santa Fe, Argentina

(2) CHyGA Dr. R. Pedraza, I+D+i - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH-UNL), Santa Fe, Argentina.

Email: diegoarino@hotmail.com; sciolicarlos@gmail.com; fdsieber16@gmail.com; lucianoricardosilva1979@gmail.com

Teléfono: +54 0342-4573732/33/07/09 Int. 121

Introducción

Santa Fe, es la última provincia de la República Argentina en tener una Ley que regule el uso del agua de manera sustentable (Ley de Aguas), previo a esto, para tratar obras irregulares, la única normativa con la que se contaba era la Ley 12.081 del año 2003 “Resolución de conflictos de origen hídrico”, la que establece un régimen de resolución de situaciones conflictivas originadas por los efectos de obras menores, obras hidráulicas no autorizadas u otras obras, en los casos que alteren o modifiquen el escurrimiento natural de las aguas y causen un daño real o previsible. No está demás aclarar, que la misma sigue vigente, pero no cuenta con un régimen contravencional y los resultados en la aplicación de la resolución de conflictos no fueron muy satisfactorios en su *eficacia*¹. Las audiencias conciliatorias en muchos casos, no llegaban a resolver el problema fáctico o su resolución era temporaria, volviendo a reincidir en la realización de obras irregulares o clandestinas, con el agravante de no registrar estas obras en el Ministerio u organismo encargado de velar por los recursos hídricos de la provincia. La situación mejoró desde que la provincia de Santa Fe, cuenta con la Ley de Aguas N° 13.740 del año 2018 la que, entre otras finalidades, cuenta con un procedimiento destinado a dar solución en la regulación de obras hidráulicas dentro del territorio santafesino, con una novedad en el ámbito de la registración, ya que a partir de la entrada en vigencia de la Ley y su reglamentación, se creó el Registro de Obras Hidráulicas (ROHi); que es el órgano que toma razón sobre la *registración* – o no – de las obras referidas.

El **objeto** de la presente Ley, entre otros, en cuanto refiere a obras hidráulicas, es la detección de aquellas obras clandestinas (ocultas) u obras que, solicitado la aprobación del proyecto, la misma se ejecutó sin la referida aprobación - En otras palabras, obras hidráulicas clandestinas o irregulares - El ámbito de aplicación es el descripto anteriormente y el órgano de aplicación es Ministerial – Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat (MISPyH), la que, en uso de facultades conferidas, delega la misma en la Secretaría de Recursos Hídricos (SRH), la función de control, investigación, regulación y sanción sobre las obras irregulares o clandestinas, creándose para estas misiones, una unidad destinada a los procedimientos sumariales – *Unidad de Atención de Procedimientos* (UAP). La que, mediante resoluciones reglamentarias de la Ley de Aguas, lleva a cabo las funciones delegadas a la SRH. –

Dinámica del Procedimiento Sancionatorio

A partir de la promulgación de la Ley de Aguas 13.740, en sus Capítulos 1 y 2, del Título IV, Libro IV es posible contar con herramientas jurídicas para corregir, impedir y/o adaptar conforme a las normas vigentes, las obras hidráulicas no autorizadas. La anulación o regularización de obras hidráulicas

sin proyectos aprobados se realiza a partir de legislar sobre las sanciones aplicables ante cualquier incumplimiento de las obligaciones y/o comisión de contravenciones previstas en la misma Ley.

El procedimiento tiene su génesis con la detección de las obras no aprobadas por la Autoridad de Aplicación (MISPyH), por medio de: **1) Denuncia de terceros** (nota ingresada por mesa de entradas o denuncia web a través del portal del gobierno provincial); y **2) De oficio mediante a) Informe por Agentes de la Secretaría de Recursos Hídricos o b) Acta de Aviso de Obra No Registrada y Paralización de Obra**. En el caso del numeral 1), recibida la denuncia, se procede a verificar lo expuesto. Una vez constatada la irregularidad, se consulta en el Registro de Obras Hidráulicas, si la obra en cuestión cuenta con antecedentes al respecto y su tipo (aprobaciones, observaciones, conciliaciones celebradas entre particulares, autoría, etc.), esta consulta, que vale como doble verificación, se realiza teniendo en cuenta los derechos del Administrado y cumpliendo con el mandato Constitucional de no incurrir en arbitrariedades por parte del Estado. Seguido a esto, y de corresponder, se intima al infractor a restituir las condiciones al estado original o regularizar la obra presentando proyecto según art. 93 “Requisitos mínimos” de la citada Ley 13.740, dándole de esta forma la oportunidad de componer su situación, pudiendo, los intimados, solicitar una audiencia para instruirse al respecto. En caso de persistir la irregularidad o clandestinidad, el Secretario de Recursos Hídricos, por medio de una Resolución fundada conforme hechos y derecho, da inicio al Sumario Administrativo a efectos de investigar la posible comisión de infracción a la Ley conforme a las constancias que obran en el expediente, designando para tal fin al Instructor Sumarial, quien llevará adelante el procedimiento. A grandes rasgos el procedimiento tiene características similares a cualquier proceso, llevando consigo por supuesto las garantías constitucionales para el presunto infractor: Traslado de la Infracción – Descargo, Ofrecimiento y Producción de Pruebas – Alegatos (informe fundado) y Resolución Ministerial.

Traslado de la Infracción:

El que se hará, mediante cédula al domicilio del ahora encartado, conteniendo la misma: la parte resolutive que da inicio al Sumario, conjuntamente con copia del informe preliminar, elaborado por el Instructor Sumarial. En esta instancia se le hace saber además al presunto infractor, que podrá acogerse a un plan de pago, el que será formalizado, solicitando una estimación de la multa, el pago de la misma, varía al momento de efectuarse – según la etapa del procedimiento en que se realice. –

Descargo, Ofrecimiento y Producción de Pruebas:

Recepcionada la cédula de traslado, el encartado, podrá ejercer su derecho de defensa, mediante descargo, ofreciendo la prueba de la que intente valerse, siempre que la misma sea pertinente. El Instructor procederá entonces a otorgar plazo de producción, Ley mediante. Es importante destacar que en caso que el administrado no formule su descargo en el plazo indicado por la norma, ello no significa que de alguna manera acepte los hechos que le son imputados o se genere su indefensión.

Alegatos (Informe Fundado):

¹ Descripción de los tres estadios de la Ley: Validez: suficientemente sancionada y promulgada, Vigencia: que rige determinado aspecto de la vida social y no ha caído en desuso. Eficacia: la efectiva aplicación de la ley en casos similares).

Concluida la producción de pruebas, la Autoridad Instructora procede a la elaboración de Informe Fundado, que no es otra cosa que la determinación de manera fundada, que la conducta imputada constituyó, o no, una infracción a la Ley. Asimismo, y dentro de sus facultades, en caso de encontrar responsable al administrado por la comisión de la infracción, SUGERIRÁ a la Autoridad de Aplicación (Ministerio), la sanción correspondiente y/o acciones complementarias destinadas a corregir o modificar la situación de hecho.

Del mismo se correrá traslado por el término de Ley, para que el presunto infractor formule sus alegatos.

Resolución Ministerial:

Previo dictamen de la Asesoría Jurídica se dicta Resolución Ministerial, que pone fin al procedimiento, pudiendo aplicar una sanción o absolver al encartado. Ello mediante, los fundamentos obrantes en el expediente.

Amén que Ley de Aguas N° 13.740 poseen un régimen contravencional, y se cuenta con un Régimen de Pago de Sanciones Pecuniarias, no está demás aclarar, que el objetivo de la normativa es lograr acciones correctivas de las obras irregulares y no un finrecaudatorio.

Resultados:

Con el correr de la aplicación del procedimiento, se encuentran vicisitudes propias de todo proceso de conocimiento. A modo de ejemplo se mencionan: **a)** En párrafos arriba se expresó que el procedimiento tiene su génesis en la recepción de una denuncia de terceros por una obra clandestina (ej. canalización) en una parcela, obra que en su visita a campo y análisis en gabinete, puede tratarse de varias parcelas, las cuales pueden tener uno a varios propietarios, lo cual significa que el expediente se vuelve considerablemente complejo, atento a la pluralidad de intimados/notificados, diversidad de plazos, defensas, planteos y eventual conexidad de expedientes, la coordinación en lo que respecta a la corrección de la irregularidad (...de aguas arriba hacia aguas abajo...) es otro tema a considerar; **b)** En cuanto a las notificaciones, se formalizan en los domicilios fiscales descriptos en folios catastrales, los cuales en algunos casos no se encuentran determinados o ciertos (ej. Ruta Provincial N° 93 S/N localidad de Hughes – Santa Fe) y otros no están actualizados, lo que conlleva en caso de tratarse de personas jurídicas (ej. Sociedades) a la consulta en los registros públicos, en caso de tratarse personas físicas, a consultar en los registros fiscales (AFIP) y/o Secretaría Electoral (padrón electoral); **c)** La estimación de la sanción en la labor del instructor en cuanto a justipreciar la misma, es una actividad que debe realizarse a conciencia velando por los bienes de los particulares y Estado sin causar un menoscabo patrimonial al infractor; por lo que, al momento de sugerir la sanción, ésta debe ser la menos gravosa posible para el infractor, sin embargo a su vez debe ser de suficiente entidad para que el mismo (infractor), se acoja a la norma, en cuanto a lo que refiere a requisitos y recaudos previos a una obra hidráulica. En síntesis, la sanción debe ser sugerida (y eventualmente aplicada) según la magnitud de la obra y el daño producido. Debe ser justa, equitativa y debe tener su adecuación con las anteriores sanciones (casos análogos), por último; **d)** para completar un esquema de vicisitudes, se presenta el modo de cumplimiento de las sanciones: i) Si es un apercibimiento, obraran antecedentes en expediente reservado y en el ROHi; ii) si la sanción conlleva a volver las cosas al estado anterior, esta manda a su cumplimiento íntegro y en un plazo determinado o determinable según la naturaleza de las obras a realizar. Para el caso de que el infractor haga caso omiso al mandato y en atención a la gravedad de las obras clandestinas en cuanto pongan en riesgo los bienes particulares o del Estado, es que la Administración se encuentra facultada para la

remediación sean mediante acción directa, mediante autorización de órgano competente (Orden de Allanamiento), todo ello cargando al infractor con los gastos ocasionados a la Administración Cuando se dice de que la reparación debe ser completa, significa que la reparación debe ser suficiente para que, al momento de la inspección, el orden de cosas se encuentre en exacto estado anterior a la ejecución de la obra clandestina o irregular. Respecto de la multa, su cumplimiento es estricto. En caso de no abonar el infractor, serán los organismos y Direcciones determinados por Ley y Decretos o Resoluciones Reglamentarias quienes llevarán adelante la ejecución del título



Figura 1.- Desactivación de obra clandestina (canal) mediante Orden de Allanamiento – Departamento Gral. López – Provincia Santa Fe.

Conclusión:

Como conclusión de la aplicación de la nueva legislación, a la fecha (julio de 2023) se han dictado sesenta (60) Resoluciones que dan inicio a sumario administrativo, de las cuales se han culminado once (11) y diez (10) se encuentran en curso. Paralelamente, se han recepcionado más de ochenta (80) denuncias web, se iniciaron aproximadamente noventa (90) denuncias de oficio por la Unidad de Atención de Procedimientos y gran cantidad de denuncias por otras direcciones y reparticiones del Estado. Los titulares de las parcelas donde se encuentran las obras clandestinas, han desactivado canalizaciones, con la ejecución de taponos en lugares indicados por esta Secretaría, se han presentado proyectos de obra hidráulica a fin de regularizar la situación, otros han vuelto las cosas al estado anterior; se llevan reuniones con Comunas y Municipios a fin de instruir las acciones que deben llevar a cabo ante la detección de una obra presuntamente clandestina. Se trabaja fuertemente, dentro del marco de la Ley, en los Departamentos San Javier y Garay, en los que la producción arrocerá es el principal emprendimiento empresarial, por sus recursos naturales, abordando la problemática de la inadecuada (sin estudios previos) utilización de los mismos.

MAPAS PARLANTES: UNA HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA LA INTERVENCIÓN TERRITORIAL

María Lucrecia Ávila, Juan Cruz Tasso

EEA INTA Sgo. del Estero, Jujuy 850, 1168095131. Argentina. E-mail: avila.marialucrecia@inta.gob.ar
EEA INTA Sgo. del Estero, Jujuy 850, 3854087259. Argentina. E-mail: tasso.juan@inta.gob.ar

Introducción

Mapas Parlantes es el nombre que tiene un método de trabajo de intervención territorial con representación cartográfica, concebido a partir de la idea de acompañar procesos comunicacionales comunitarios y que a lo largo del presente trabajo lo presentaremos como propuesta para la construcción colectiva de conocimientos.

Esta metodología permite establecer un lenguaje común acerca del estado de un tema o problema de interés y puede transformarse, en complementación con otras herramientas (entrevista, observación, talleres participativos, encuestas, toma de muestras) que a la vez que complejizan el análisis, también permiten ordenarlo, convirtiéndolo en insumo del proceso y también para la planificación.

El método propone cartografiar el espacio, a base de hacer memoria, dibujar, debatir, reconocer, y proyectar colectivamente dónde discurre la problemática, o tema común, para visibilizar información acerca de las relaciones que se establecen en una fracción seleccionada intencionalmente. Entre los trabajos que conocemos con estas características están los Iconoclasistas (Risler, 2013)

El marco fue el Proyecto Nacional sobre “Captación, conducción y cosecha de agua” que a nivel local, en Santiago del Estero, es punto de partida para diagnosticar y estudiar el semiárido santiagueño, amplio universo poblacional que se extiende por 8 unidades de extensión: Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa Banda, Capital y Silípica, Agencias de extensión rural Fernández y Frías, Unidad de Extensión Nueva Esperanza, Oficina de Información Territorial Termas de Río Hondo, Unidad de Extensión Loreto-Atamisqui, Unidad de Extensión Ojo de Agua-Sumampa y la Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero.

Planteamiento del problema

Consideramos que, hasta los más recientes proyectos y programas para la intervención territorial, que provienen de las estructuras del Estado, de cualquier tipo de jurisdicción, son instrumentos configurados bajo una lógica tutelar (Inadi, 2005; Zaffaroni, 2010), que se caracterizan por intervenir en el territorio utilizando el diagnóstico bajo las formas antes descriptas. Aún se recolectan con preferencia datos cuantitativos.

Los proyectos en temática hídrica no son la excepción, y los casos de proyectos donde la propuesta de *manejo* no ha sido adoptada y las obras realizadas no se usan, o se encuentran abandonadas, son un buen ejemplo de resultados, y de la opinión de la comunidad.

En función de ser conscientes de esta crítica, y de no tener otra alternativa que trabajar con estas “limitadas” herramientas de financiamiento, es que buscamos por otros medios, realizar el trabajo de diagnóstico previo, y que además este diagnóstico sea esencialmente un proceso participativo que no comienza con la recolección de datos.

Entendemos al diagnóstico participativo como la instancia de trabajo que además de la participación, contiene la experiencia y el saber de las comunidades. Aborda un tema común a toda la comunidad, con un conocimiento experiencial exhaustivo, y también compartido.

Consideramos que la participación y el conocimiento local siempre es fundamental, y también, por experiencias vividas, no necesariamente suficiente. La mirada, los datos, el análisis del problema, y los aportes externos que representamos como equipos técnicos, del INTA por ejemplo, aún son necesarios.

Objetivos

Indagar la situación del agua en las comunidades, utilizando la metodología de mapas parlantes, en etapa de diagnóstico participativo, incorporando nuevas disciplinas y con ellas la complejidad y la multiplicidad de combinaciones para analizar el territorio.

Caracterizar lo geográfico, lo ambiental y lo social, en relación al agua, a partir de instrumentos de recolección de datos que propongan recorridos de observación, y la apertura de la palabra, para las instancias de debate y puestas en común.

Estado del arte/antecedentes

En América Latina se han utilizado diversas metodologías para diagnosticar problemáticas regionales. Desde el Estado las más veces ha sido recolectar información con datos secundarios acerca de poblaciones y volcar soluciones a través de diferentes esquemas operativos como programas y proyectos desde que éstos comenzaron a institucionalizarse a fines de los años 50' en Argentina.

El INTA surge en 1956 en medio del debate centro-periferia, países desarrollados y subdesarrollados, presente en toda América Latina, y en Argentina, con una política agraria acorde a la revolución verde. Más adelante ya en los 90, se registra un cambio en el enfoque de desarrollo rural: *el paso de una visión sectorial, centrada en los aspectos técnico-productivo y económico a un enfoque sistémico e integral de lo rural basado en el concepto de territorio. Así, de un discurso técnico-agrarista centrado en las cadenas productivas, la productividad agropecuaria y los mercados, se da paso a un discurso que revaloriza la cultura e identidad rural, el medio ambiente, las diversas actividades productivas y la infraestructura o servicios para mejorar la calidad de vida de la población* (Sili, 2005). En el plan estratégico institucional (PEI) del período 2005/15, imprime en su matriz institucional las transformaciones territoriales, hasta el actual, 2015/30 que incluye palabras como desarrollo sostenible, inclusivo, equitativo, cuidadoso del ambiente. Esta referencia que se plantea en otros términos políticos acerca de la cuestión agraria, abre la posibilidad a seguir puliendo los instrumentos con los cuales recolectamos la información y la necesidad de nuevas narrativas. Es en ese eslabón donde aún no se traducen en clave de derechos, preguntas neurálgicas para caracterizar la heterogeneidad de los territorios, sobre todo alrededor de temas fundamentales como lo son la propiedad de la tierra y el acceso al agua.

En general, podemos visualizar que quien diagnostica es casi siempre un externo, y que además es quien aporta, desde un lugar del saber otorgado por el tecnicismo, la ciencia, el estado u otros organismos técnicos, determinando las factibilidades de una solución.

Esta lógica tutelar explica que los formularios, y plataformas, desde dónde se receptan y cargan los proyectos estatales para la intervención territorial, no contemplan en su estructura la incorporación de algún tipo, u etapa, de diagnóstico, que tenga directa vinculación con los objetivos, acciones e inversiones, que se describen en el proyecto.

Si bien todo proyecto posee tácitamente algún tipo de diagnóstico previo, la estructura que los recibe no prevé un espacio para dar cuenta de él, ni para que se realice o explicita. Pero aún, si lo tuviera, la crítica a la lógica tutelar expone que no sólo se trata de la inclusión de un diagnóstico, sino que ese diagnóstico sea participativo, es decir que dé cuenta del proceso y la opinión local en directa vinculación a los objetivos del proyecto. De este modo al menos, se propiciaría a restringir y/o dificultar la gestación de proyectos que dan trato de alteridad histórica (Segato, 1998, 2006), a las comunidades.

Materiales y Método

El trabajo ha significado la definición de un “sitio piloto”, cuyas poblaciones participantes tenían relación previa con diversos integrantes del equipo técnico.

Se utilizó un diseño de instrumentos de recolección de datos para indagar acerca de la cuestión hídrica local y además caracterizar lo geográfico, lo ambiental y social a partir tres instancias diferentes que propongan la apertura de la palabra, instancias de debate comunitario, así como de recorridos de observación y puestas en común: a) Taller comunitario con demarcación en imágenes satelitales tomadas de la aplicación google earth, y construcción de un mapa desde una hoja en blanco, b) encuestas familiares con demarcación en el mapa, c) observaciones y toma de muestras para conocer la calidad del agua.

Abordaje

Se dio inicio a una prueba piloto en Yanacón Bajada, Dpto. Juan Felipe Ibarra, un paraje típico del semiárido santiagueño con 28 familias que viven en una fracción contigua (dimensión física), pero que pertenecen a 11 parajes diferentes que comparten la gestión del agua por ser parte de una asociación comunal denominada “El Rejunte” (dimensión política).

a/ Se ha realizado una primera instancia colectiva, donde los referentes de la organización indagaron acerca de dimensiones generales como ubicación de los participantes, gestiones comunitarias para la obtención de agua (línea de tiempo), fuentes propias con que se abastecen, almacenamiento, y calidad.

En otro momento se ha indagado también acerca de fuentes acuíferas, cursos de agua, captación, conducción, lugares comunes de abastecimiento, y lugares familiares.

Respecto del ambiente, se ha indagado sobre áreas de cultivo, de pastoreo, de recursos maderables naturales. Especies de fauna y flora, régimen pluvial, actividades extractivas, y áreas forestales implantadas.

En cuanto a lo social: organización comunitaria, salud, educación, viviendas, seguridad, vías de comunicación, linderos comunales, (camino principales, caminos comunitarios,

transporte) y otros servicios: electricidad, combustible, abasto de alimentos.

b/También las encuestas familiares, con demarcación en el mapa, expusieron la diversidad de sus actividades/necesidades: proporción y tipo de animales de crianza, dimensión de la agricultura, Origen, reserva y uso del agua. Materiales de construcción y capacidad de los reservorios. Estado del sistema de captación y conducción del agua. Y tipos de energía para extraerla.

Conclusiones

Si bien el trabajo aún se encuentra en ejecución, porque hay etapas no terminadas (etapa c), y el sostenimiento consiste en abrir nuevas puertas que lo amplifiquen, el diagnóstico ha generado un encuentro de análisis, debate y reunión de información desde el cual se ha obtenido una respuesta específica respecto a la situación del agua, pero también respecto de otras realidades en asociación a ella.

Traducir en los instrumentos que utilizamos para alcanzar las acciones programadas una nueva narrativa, que dé cuenta de la complejidad de las relaciones que existen en el territorio y con ello un mejor acercamiento a las diversidades y heterogeneidades. Este acercamiento pensarlo ya no desde una visión antrópica, que se encuentra aún vigente en varios enfoques de la intervención territorial, sino desde una instancia comunicacional que promueva el movimiento de pensamientos e ideas que colabore con una nueva construcción de sentidos.

Bibliografía

Giarraca, Norma (1999). *Estudios Rurales. Teorías, problemas y estrategias metodológicas*, Editorial La Colmena, Buenos Aires.

Marcos, María F. (2020). “Producción de instituciones estatales de desarrollo rural: el caso del PSA y el PROINDER”. *Revista Huellas*, 24(2), 109-126. Recuperado a partir de <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/4887>. Artículo, pag. 112. <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/4887/5641>.

Marshall, C. y Rossman, GB (1999) *Diseño de investigación cualitativa*. Tercera edición, Editorial internacional educativa y profesional, California, 35.

Niremberg, O, Braverman, J, Ruiz V (2003). *Programación y evaluación de proyectos sociales. Aportes para la racionalidad y la transparencia*. Paidós, Tramas Sociales, Bs As.

Porto Goncalvez, Carlos W. (2001). *Geo-grafías: movimientos sociales, nuevas territorialidades y sustentabilidad*. Siglo veintiuno editores, México.

Risler, Julia y Ares, Pablo (2013). *Manual de mapeo colectivo. Recursos cartográficos críticos para procesos territoriales de creación colaborativa*. Buenos Aires. Tinta Limón Ediciones,

Segato, Rita Laura (2006): “Racismo, Discriminación, y Acciones Afirmativas, Herramientas Conceptuales”. 404 Serie Antropología. Brasília.

Sili, Marcelo (2005). *La Argentina rural. De la crisis de la modernización a la construcción de un paradigma de desarrollo de los territorios rurales*. Ediciones INTA, Argentina.

Vasilachis de Gialdino, I. Coordinador (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona: Editorial Gedisa Mexicana S.A.

Zaffaroni, Eugenio Raúl (2010): “La legitimación del control penal de los ‘extraños’” en Cuadernos del INADI, N° 1, abril.

OPTIMIZACIÓN DE DATOS ECONÓMICOS PARA ESTIMACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO-ECONÓMICO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MENDOZA, ARGENTINA

F. Sebastian Riera^{1,3}; Marcos Ayende²; Alejandro Gennari³

¹Centro de Investigación en Economía y Prospectiva. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. sebary@gmail.com

²Fac. de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Cuyo. marcos.ayende@fce.uncu.edu.ar

³Dpto. de Economía, Política y Administración Rural. Fac. de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. ajennari@hotmail.com

Introducción

Durante los últimos 14 años, la provincia de Mendoza ha sufrido una disminución paulatina del caudal de sus ríos, fruto del calentamiento global y la reducción nivea. Frente a la creciente demanda del recurso hídrico para riego agrícola, consumo humano y otros usos productivos, la reutilización de efluentes tratados para actividades productivas es reconsiderada a pesar de las diferencias entre la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de inversión en infraestructura de tratamiento.

Herramienta Poseidon

Poseidon se ha desarrollado en el marco del proyecto de la UE Coroado, que tiene como objetivo desarrollar y difundir tecnologías para el reciclaje y la reutilización del agua en América Latina por medio de evaluaciones, herramientas de decisión y estrategias implementables. Coroado apuntó a desarrollar nuevos conceptos y adaptar los existentes para la reutilización del agua. Produjo una caja de herramientas basada en la web para tecnologías de reutilización y reciclaje en el contexto de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Poseidon en sí mismo es una herramienta de Excel eficiente, simple y orientada al usuario, que tiene como objetivo comparar diferentes técnicas de tratamiento de aguas residuales en función de sus eficiencias de eliminación, sus costos y criterios de evaluación adicionales. Además, se explican los antecedentes de las diferentes tecnologías relacionadas con la reutilización del agua y la teoría subyacente. Poseidon se puede aplicar antes de un estudio de factibilidad más detallado para evaluar las posibles opciones de reutilización del agua y puede mostrar a los tomadores de decisiones y otras partes interesadas que se puede implementar.

Perspectiva económica

Considerando al tratamiento de aguas residuales como un proceso productivo, donde el recurso depurado es apto para su reutilización (agrícola, industrial, etc); el desempeño productivo de las PTARs enfrenta distintas limitaciones estructurales y circunstanciales que condicionan la optimización de la operación y mantenimiento (OyM).

Según nuestros registros, en la provincia existen 29 PTARs que tratan 208.000 m³ de efluentes cloacales diariamente. De acuerdo a las tecnologías, predomina el tratamiento mediante lagunas facultativas con 13 establecimientos que tratan en promedio 201.400 m³ de agua efluentes diariamente. Además, hay 5 plantas con tecnología de lodos activados con un volumen diario de 3.500 m³; 6 plantas con cámaras sépticas con un volumen diario de 1.390 m³, casi la totalidad de las mismas se encuentra en el departamento de Las Heras.

Metodológicamente se basa en una estrategia mixta (cuantitativa/cualitativa) para elaborar un análisis de economía circular que considere aspectos de manejo tecnológico, implicancias socio-ambientales a partir de la realidad existente. Esto dará lugar a la propuesta de acciones concretas de desarrollo con los respectivos diseños normativos. Entendiendo el tratamiento de aguas residuales como un

proceso en el cual el recurso es mejorado para su utilización segura en esquemas de riego permitido (ACRE), se estimará económicamente la forma funcional del proceso productivo de aguas tratadas y se utilizarán valores promedio para la elaboración de indicadores que consideren el consumo energético, mano de obra, potencial de energías renovables y potencial de reúso de recursos.

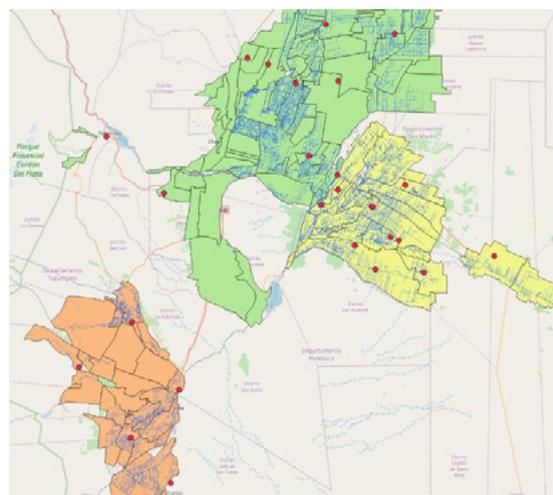


Figura 1: Ubicación de las PTARs y canales de riego en cuencas del río Mendoza, Tunuyán Superior y Tunuyán Inferior. Fuente: elaboración propia.

Variables empleadas

Para poder llevar a cabo el análisis de eficiencia económica y técnica de las PTAR, y estimar una función de producción, se hizo uso de las siguientes variables.

Tabla 1.

Variable	Notación	Medida	Carácter
Agua tratada	m ³ _a	m ³ anuales	Técnica
Kilowatts (*)	kwh_y	Kwh/año	Técnica
Horas trabajadas (*)	horas_y	Horas/año	Técnica
Precio de la hectárea	p_hec	USD	Económica
Costo de capital anualizado (*)	capital_c	USD	Económica
Costo anualizado del terreno (*)	tierra_c	USD	Económica
Costo anual de energía (*)	energy_c	USD	Económica
Costo anual de O&M (*)	om_c	USD	Económica
Precio del kwh	p_kWh	USD	Económica
Precio de la mano de obra	p_horas	USD/hora	Económica
Turbidez	Turb	Unid. nefelométrica turbidez	Técnica
Sólidos totales suspendidos	TSS	Mg / litro	Técnica
Dem. biológica de oxígeno	BOD	Mg / litro	Técnica
Demanda Química de Oxígeno	COD	Mg / litro	Técnica
Nitrógeno total	TN	Mg / litro	Técnica
Fósforo total	TP	Unid. formación de colonias 100 ml	Técnica
Coliformes totales	TC	Formación colonias 100 ml	Técnica
Sólidos disueltos totales	TDS	Mg / litro	Técnica
Nitratos	Nitrate	Mg Nitrógeno como nitrato / litro	Técnica
Carbono orgánico total	TOC	Mg / litro	Técnica
Unidad formadora de placas	Virus	Bacteriófagos en aguas superficiales	Técnica

La distinción en el tipo de dato corresponde a que los primarios son aquellos que se obtuvieron mediante las simulaciones en *Poseidón*, mientras que los secundarios fueron provistos por AySAM S.A o por otras fuentes de información.

Simulación de datos con *Poseidón*

A continuación, se presenta una explicación detallada de las simulaciones llevadas a cabo con *Poseidón*.

- Se personalizaron cuatro versiones de *Poseidón*, donde cada una de estas contenía el análisis para tres PTARs. Los grupos de análisis¹ fueron: I. Campo Espejo-Paramillo-Palmira, II. Junín-Costa de Araujo-La Paz, III. San Rafael-San Carlos-Santa Rosa, y IV. San Martín-Tunuyán-Rivadavia
- Se cargaron los datos primarios de la Tabla 1, los que fueron los insumos para realizar cada uno de los siguientes cálculos.
- En cada una de estas versiones se replicó el cálculo para cada variable, haciendo esto para cada año del período.
- Para el determinar las cantidades de energía, tierra, horas de trabajo, etc, *Poseidón* emplea la función: $y = \alpha Q^\beta$. Siendo el flujo promedio diario (Q). Los coeficientes α, β los obtiene mediante una regresión lineal² de la función en cuestión.
- Para el cálculo de los costos (salvo para el CAPEX) sigue la misma lógica ($y = cQ^\beta$), siendo c y β los coeficientes estimados a partir de una regresión lineal.
- Cálculo del CAPEX

La Tabla 2 fue directamente extraída de “*Poseidon—Decision Support Tool for Water Reuse. Water*” (Oertlé, E., Hugi, C., Wintgens, T., & Karavitis, C., 2019).

El resultado total costo de capital es anualizado en base a su vida útil (esto se hace para cada unidad de proceso. De la multiplicación de CRF y el costo total de capital, resulta el costo total anualizado del capital.

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

Capital recovery factor (CRF), tasa de descuento ($r \approx i - \pi^3$) y la vida útil esperada del capital (n).

Tabla 2.

Factor	Utilizado en el sistema	Valor por default
Costo de equipamiento (EC)	Definido por tecnología en base los coeficientes de la regresión (Ecuación (1)).	EC
Costo de construcción (CC)	Instalación de equipo, piping, instrumentación y control.	39% de EC
Costos indirectos	Ingeniería y contingencia.	27% de CC
CAPEX	Costo total de la construcción + costos indirectos	CAPEX = 1.77 EC

7. Mediante la siguiente fórmula se obtiene el cálculo total para cada unidad de tratamiento.

$$total_c = \sum_{i=1}^N (CAPEX_{Ann} + O\&M_{Ann} + Land_{Ann} + Energy_{Ann} + Labour_{Ann})$$

Dónde, el número de unidades de proceso (N) y los costos anuales de capital de n (CAPEX_{Ann}), O&M (O&M_{Ann}), tierra (Land_{Ann}), energía (Energy_{Ann}) y mano de obra (Labour_{Ann})

- Se sumaron los costos de cada una de las unidades de proceso.
- Se repitió el proceso para cada uno de los años en análisis.

Función de producción

Se logró una base de datos relevantes en el tratamiento de aguas por planta, preferentemente datos brindados por las organizaciones (Plappally and Lienhard V 2013). En algunos casos, se consideraron alternativas para estimar los insumos

equivalentes; por ej.: equivalencia de mano de obra (fte). Hernández-Chover et al. (2021) aplica una función Cobb-Douglas para la estimación de los costos de mantenimiento.

La función de producción que mejor explica el proceso de las PTARs fue una Cobb-Douglas:

$$Efluente = 1.81 + 0.10 \log(Land_{Ann}) + 0.11 \log(Labour_{Ann}) - 0.006 \log(O\&M_{Ann}) + 0.65 \log(CAPEX_{Ann}) - 0.0000001462 Energy_{Ann} + 0.30 regEste + 0.33 regionVdU + 0.84 regGrande + \varepsilon$$

Los coeficientes se obtuvieron con una estimación de máxima verosimilitud y el ajuste del modelo fue cercano al 98%. Para una base de datos de panel de 11 años con variables estimadas en base a literatura y datos recopilados en el campo es probable que el modelo no esté correctamente especificado y exista riesgo de multicolinealidad. Los mismos son abordados actualmente con el objetivo de mejorar la descripción del modelo, elasticidades y potencial de interpretación.

Futuros pasos: Evaluación de desempeño

Además de la tecnología existente, el potencial puede verse afectado por la operatividad de la planta en términos de insumos o recursos humanos calificados. De acuerdo a la información disponible, los factores limitantes pueden resultar estructurales, operativos y/o circunstanciales. Al considerando el tratamiento de aguas como un proceso productivo se evaluará el desempeño de las PTAR.

Esto consiste en evaluar las PTARs para determinar las mejores prácticas desde la perspectiva técnica económica que permita elaborar recomendaciones técnico-operativas y contribuir al diseño de políticas específicas del sector considerando las tecnologías existentes, sistemas de tratamiento, insumos productivos y otros condicionantes.

Existen varios enfoques que pueden ser empleados desde la perspectiva metodológica, aunque condicionados por la calidad de los datos. Las principales ramas de análisis de *benchmarking* son los enfoques paramétricos y no paramétricos, siendo el último el más utilizado para evaluar el desempeño de plantas de tratamiento de aguas residuales (Ananda 2020; Gómez et al. 2017; Castellet and Molinos-Senante 2016).

Las metodologías paramétricas de fronteras de producción (FP) conforman un enfoque demandado para la evaluación de productividad y eficiencia. Estos métodos determinan una frontera de referencia y proporcionan una medida de (in)eficiencia en términos de reducción de insumos o expansión del producto. Los resultados del análisis constituyen una línea base contribuyendo sustancialmente al diseño y evaluación de políticas específicas para el sector. A su vez, brinda sustento empírico para la planificación estratégica del sector otorgando elementos de análisis para una evaluación ex-post.

Esto se debe a la ventaja de requerir menos información y la flexibilidad de evitar modelar el proceso de producción mediante una función de producción ($y=f(x_k)$). Por otro lado, el enfoque paramétrico brinda los beneficios de modelar la contribución de los factores en términos de productividad y, principalmente, permite estimar la ineficiencia y evaluar la incidencia de diferentes variables sobre el nivel medio de eficiencia en la muestra.

¹ Se agruparon según “similitudes” en las unidades de proceso.

² Los datos para llevar el cálculo de las regresiones lineales se encuentran pre cargados en el software.

³ Aproximación de Fisher para el cálculo de la tasa de interés real.

EXPANSIÓN URBANA: LA PLATA A UNA DÉCADA DE LA INUNDACIÓN DE 2013

Arq. Barbero, Guido y Dr. Arq. Etulain, Juan C

Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

E-mail: arq.guidobarbero@gmail.com, jcetualin@hotmail.com

Introducción

América Latina se presenta como la Región más urbanizada del mundo donde casi el 80% de su población habita en ciudades (CEPAL 2012). Tanto la Ciudad de La Plata como la mayoría de las grandes ciudades latinoamericanas presentan una morfología con límites difusos, donde con el paso del tiempo esos límites se transforman como consecuencia de la expansión urbana. El modelo de ciudad difusa según Indovina (1997), es la forma de organización del espacio en la que están presentes elementos de la constitución física de la ciudad, pero que no presenta densidad, intensidad y solución de continuidad típicos de la ciudad. Por tanto, está constituida por diversas formas de residencia, por infraestructuras y redes, por equipamientos y servicios, por zonas de especialización, por espacios públicos y también, por las relaciones sociales y económicas que se desarrolla una cultura determinada extendida en el territorio.

La región más urbanizada del planeta no es necesariamente la más planificada, por el contrario, presentan una debilitada presencia del Estado sobre su territorio, donde el mercado es el principal y hegemónico mecanismo de coordinación de las decisiones sobre el uso del suelo y de la producción de la ciudad (Abramo, 2012). Es así que, las políticas de suelo urbanizadoras, con poco interés por el bien común, facilitan la difusión y fragmentación de los tejidos, la ruptura de las continuidades y el aumento de las distancias en el marco de intensos procesos de desigualdad social y urbana (Borja, 2014).

Según Indovina (1997), los procesos que se desarrollan dentro de las ciudades difusas son resultado de actividades de auto-organización y no responden a un diseño global y común, sino que al contrario a intereses individuales generados por propias necesidades. Como resultado, siguiendo a Nel-Lo (1996), faltos de un diseño colectivo, democráticamente definido y aplicado de acuerdo con los intereses mayoritarios, nuestros espacios urbanos no serán ciudades. Serán, más bien, mosaicos de parcelas social y funcionalmente especializadas, yuxtapuestas sin otro principio ordenador que el de la renta urbana y el privilegio social.

A medida que los conglomerados se expanden la demanda de suelo aumenta, llevando a la ocupación y deterioro del medio natural y rural. Es así que la expansión urbana contribuye a la pérdida de biodiversidad y a la alteración de servicios ecosistémicos, como por ejemplo la alteración de cursos de agua y la pérdida de capacidad de absorción y retención del suelo. La ocupación del territorio y la alteración de patrones naturales, en un contexto global donde el cambio climático tiene cada vez más consecuencias (CRED, 2022), abre las puertas para los denominados desastres naturales.

Con desastre nos referimos al resultado de relaciones entre variables naturales y sociales; no son elementos geofísicos aislados, sino manifestaciones de un proceso social que impacta en una población determinada. Herzer y Gurevich (1996), sostienen que un desastre refiere al resultado de acciones humanas en un territorio y un período de tiempo dado; no se trata de un acontecimiento físico sino de un proceso social, económico y político desencadenado por un fenómeno natural. En forma similar Lavell (2001), afirma que un desastre es el fin de un proceso, a veces muy largo, de construcción de condiciones de riesgo en la sociedad. El desastre ocurre en el momento en que un determinado evento físico, revela el riesgo latente y lo

convierte en un producto con consecuencias en términos de pérdidas materiales y humanas.

Presentación de caso

El partido de La Plata se ubica en el NE de la provincia de Buenos Aires, limitando al NE con los partidos de Ensenada y Berisso, al NO con los de Berazategui y Florencio Varela, al SO y S con San Vicente y Cnel. Brandsen y al SE con el partido de Magdalena. Se localiza en la denominada Pampa ondulada y comprende una topografía definida por IGS-CISAUA (2016), conformada por dos zonas diferentes que responden a su caracterización morfológica: la Llanura Costera y la Llanura Alta. La segunda se conforma por dos grandes vertientes definidas por un área de interfluvio principal que actúa como gran divisoria de aguas principales del partido: hacia el Río de La Plata al Norte y hacia el Río Samborombón hacia el Sur. La vertiente del Río de La Plata presenta interfluvios, pendientes y valles bien definidos y conforman diez cuencas integradas por diecisiete arroyos. (Ver Figura n°1)

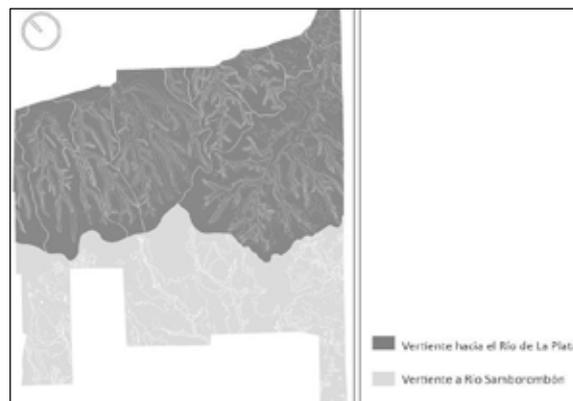


Figura 1.- Mapa de Vertientes principales del Partido de La Plata. Elaboración propia. Fuente: IGS-CISAUA (2016)

Históricamente, y principalmente en la década 80 y 90, la superficie urbana de La Plata desbordó los tejidos originales del casco urbano, lo que en general, fue acompañado de una marcada falta de planificación urbana y políticas públicas de regulación territorial. En la expansión de la ciudad los arroyos no fueron tratados con la lógica de cuenca y se subdividió y ocupó sus planicies de inundación; dando como resultado una ocupación considerable del suelo permeable, perdiendo servicios ecosistémicos del medio natural, como es el caso de servir a la amortiguación de tormentas e inundaciones. Como consecuencia, recuperando el informe del Proyecto de Investigación Orientada de la UNLP-CONICET (2016), se registraron desde la década del 70 alrededor de 157 inundaciones por precipitaciones. El evento de mayor magnitud registrado fue el del 2 y 3 de abril de 2013 con una precipitación extraordinaria de 400 mm, dejando un resultado un registro -oficial- de 89 muertes. Hoy, a una década del evento, con una simple comparación de la superficie urbana, se evidencia un crecimiento que avanza sobre el medio natural y productivo.

Objetivos y Propuesta metodológica

El objetivo general es el de identificar, analizar y comparar el proceso de expansión urbana sobre áreas inundables de las

cuenclas del partido, una década después del desastre de abril de 2013. Para cumplir con los objetivos se presenta una metodología con carácter explicativa de naturaleza empírica, tratándose de un estudio de caso que combina técnicas cualitativas y cuantitativas (mixta), con la utilización de fuentes secundarias y la producción de fuentes primarias. A partir de la fotointerpretación de imagen satelital se procesarán planos con el uso de Sistemas de Información geográfica (SIG) como herramienta de análisis. Como recorte territorial se tomarán las cuencas del partido de La Plata que comparten características geomorfológicas: áreas de planicies de inundación y áreas de interfluvios definidas por IGS-CISAUA (2016): 01 Cuenca del Pereyra, 02 Cuenca del Carnaval, 03 Cuenca del Rodríguez, 04 Cuenca del Gato, 05 Cuenca del Maldonado, 06 Cuenca del Garibaldi y 07 Cuenca del Pescado (Ver figura n°2).

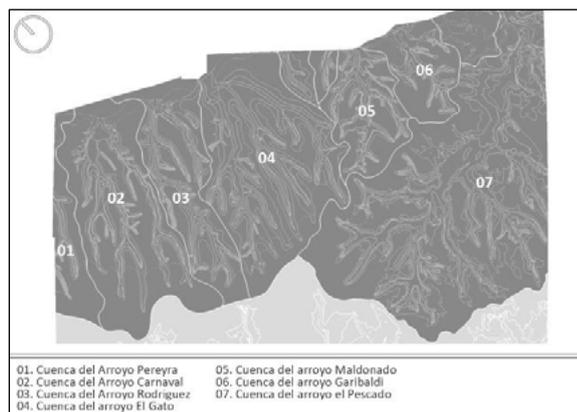


Figura 2.- Mapa de recorte de Cuencas del Partido de La Plata. Elaboración propia. Fuente: IGS-CISAUA (2016)

Se discriminarán para el estudio por un lado las Cuencas Circunvalación y Zoológico, por no presentar expansión urbana dentro de su superficie; y por otro lado la cuenca denominada “Sin Nombre”, por presentar características geomorfológicas diferentes a las anteriormente mencionadas. Como recorte temporal se tomará como punto medio el año 2013, correspondiente al evento de inundación, a partir de él se analizará la ocupación urbana una década anterior y se realizará una profundización del análisis una década posterior.

Algunos resultados

Con el procesamiento de datos obtenidos a partir del relevamiento de la ocupación sobre las cuencas que conforman el partido de La Plata detectamos que a una década después de la inundación de 2013 se registran 230.46ha nuevas de ocupación urbana sobre planicies de inundación producto de la expansión urbana (ver tabla n°1).

Tabla 1.- Ocupación urbana sobre planicies de inundación en las Cuencas del partido de La Plata.

Cuencas	Ocupación Urbana s/Planicies de inundación en 2013	Nueva Ocupación Urbana s/Planicies de inundación a 2023	Total, actual
	[ha]	[ha]	[ha]
Total	594.99	230.46	825.45

Realizando una comparación de la ocupación una década antes y una década después del evento de 2013, vemos que el proceso de expansión urbana sobre áreas inundables no ha cambiado de una década a la otra. Por el contrario, en algunas cuencas la problemática se profundiza, llegando al punto de que realizando

una sumatoria de superficie se registra un aumento de ocupación sobre áreas inundables (Ver tabla n°2).

Tabla 2.- Comparación de las últimas dos décadas de expansión urbana sobre planicies de inundación de las Cuencas del Partido.

Cuencas	Expansión urbana sobre planicies 2003 a 2013	Expansión urbana sobre planicies 2013 a 2023
	[ha]	[ha]
Pereyra	3.65	0.69
Carnaval	48.90	20.09
Rodríguez	35.45	51.54
Gato	93.90	96.11
Maldonado	22.75	33.44
Garibaldi	6.68	12.50
Pescado	2.22	16.09
Total	213.75	230.46

Conclusiones

A partir de los datos obtenidos podemos decir que, en el Partido de La Plata, a pesar del desastre socio-natural por la inundación de 2013, el proceso de expansión urbana sobre áreas inundables no se detuvo. Dando como resultado que contradictoriamente a una década después del evento se han reconfigurado nuevos territorios en riesgo.

Entendiendo entonces, que las planicies altamente urbanizadas son una de las causas de los desastres por inundación, es importante tomar conocimiento del proceso de expansión urbana sobre las mismas y las consecuencias que esto conlleva. Para que, a partir de una gestión territorial que contemple la problemática, se sienten bases para generar nuevo suelo urbano asequible para mayorías orientando a que el crecimiento urbano responda a demandas ambientalmente sostenibles.

Referencias Bibliográficas

- ABRAMO, P. (2012). La ciudad com-fusa: mercado y producción de la estructura urbana en las grandes metrópolis latinoamericanas. EURE, vol 38, n° 114, pp. 35-69. Río de Janeiro, Brasil.
- BORJA, J. (2014). Revolución Urbana y Derechos Ciudadanos. Capítulo III anexo III: Los desafíos de la urbanización latinoamericana Cafè de las Ciudades: CABA, Argentina.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012). La urbanización presenta oportunidades y desafíos para avanzar hacia el desarrollo sostenible. Notas de la Cepal n°73.
- CRED (Center for Research on the Epidemiology of Disasters) (2022): Disaster year in review 2020, global trends and perspectives. ISSUE Nro. 62. Estados Unidos.
- HERZER, H. y GUREVICH, R. (1996). Construyendo el riesgo ambiental en la ciudad. En Desastres y Sociedad n° 7. Revista semestral Red de Estudios Sociales en prevención de desastres en América Latina.
- IGS-CISAUA (2016). Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: Análisis de riesgo y estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental. Mapa de Geomorfología. Instituto de Geomorfología y Suelos.
- INDOVINA, F. (1997) “Algunas consideraciones sobre la ciudad difusa”. Doc. Análisis de Geografía. Vol 33 pág 21 a 32. Venezia, Italia.
- LAVELL, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. United Nations Development Programme.
- NEL-LO, O. (1996). Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa. Capítulo III del libro: Urbanismo, ciudad, historia: La ciudad dispersa. Urbanitats, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona.
- Proyecto de Investigación Orientada de la UNLP-CONICET (2016). Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: Análisis de riesgo, estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental.

CONTAMINACIÓN POR CROMO: LA IMPORTANCIA DEL ACCESO AL AGUA DE RED EN SITIOS CONTAMINADOS

Antolini Luciana, Biondi Agustina, Carmona Patricio, Malinovsky Valeria, Palma Nasuti Antonela y Reinoso Juan Antonio

Dirección de Salud y Educación Ambiental, Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR).

Esmeralda 255, CABA. Teléfono +5452586827

Argentina

E-Mail: toxicologia_ambiental@acumar.gov.ar

Resumen

El cromo es un elemento químico presente en el organismo humano que ingresa por diferentes vías de exposición (inhalatoria, digestiva y cutánea), pero según el estado de oxidación y la concentración en la que se encuentre, puede generar severos daños en la salud. Tal es así que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasifica los compuestos de cromo VI como cancerígenos Grupo I para seres humanos.

A fin de garantizar el agua potable en las comunidades, el Código Alimentario Argentino (CAA) (2021), establece en su artículo 982 un valor máximo de 0,05 mg/l de cromo total para agua de consumo humano.

En un barrio urbanizado de la provincia de Buenos Aires, donde funcionaron una industria química y una curtiembre hasta pasado el nuevo milenio, se identificó la presencia de cromo en agua en viviendas donde consumen agua subterránea, por no contar con acceso a agua de red.

Con el objetivo de aproximar el alcance de la pluma del contaminante y la población expuesta a dicho elemento, se diseñó un plan de muestreo sistemático de toma de muestras de agua de consumo, en viviendas abastecidas con agua subterránea. De las 29 muestras realizadas hasta el momento, se desprende que alrededor del 30% de las muestras presentaron valores de cromo total entre 11 µg/l y 52.873 µg/l, de las cuales aproximadamente el 60% presentó valores superiores a lo estipulado en el Código Alimentario Argentino. Estos resultados resaltan la importancia de contar con información adecuada sobre la contaminación ambiental al momento de definir las áreas a priorizar para la extensión de las redes de agua.

Palabras clave: cromo - agua de consumo - sitios contaminados

Introducción

El cromo es un elemento químico presente en el ambiente y en el organismo humano. En el ambiente puede encontrarse como residuo de industrias que utilizan cromo en su proceso productivo tales como galvanoplastias, textiles o curtiembres. De esta forma, se acumula en suelo y agua (superficial y subterránea) principalmente, como cromo (VI) y cromo (III). En el organismo humano ingresa por diferentes vías de exposición (inhalatoria, digestiva y cutánea), y, según el estado de oxidación y la concentración en la que se encuentre, puede generar severos daños en la salud. Tal es así, que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasifica los compuestos de cromo VI como cancerígenos para seres humanos pudiendo generar cáncer de pulmón, de senos nasales y paranasales. Otros efectos posibles pueden ser desde irritación de las vías respiratorias a perforación del tabique nasal, o irritaciones en la piel hasta úlceras características y anemia, entre otros. Esto

dependerá del tipo de exposición (laboral o ambiental), del tiempo que dure la misma y de las concentraciones de cromo VI a que se encuentren expuestas más allá de las características propias de las personas. En lo que a trastornos en el desarrollo respecta, algunos estudios en animales han demostrado que la exposición a dosis altas durante la preñez puede producir abortos, bajo peso de nacimiento y alteraciones en el desarrollo del esqueleto y del sistema reproductivo (ATSDR). Asimismo, el Código Alimentario Argentino (2021), establece en su artículo 982 que el agua para consumo humano, para ser considerada segura, debe tener un valor máximo de 0,05 mg/l de cromo total.

A raíz de denuncias recibidas por parte de vecinos de un barrio ubicado en la provincia de Buenos Aires, de investigaciones científicas y de análisis de informes periodísticos, que dan cuenta de una presunta contaminación por cromo en el agua de consumo, se identificó la necesidad de realizar un estudio toxicológico ambiental en el barrio, con el fin de identificar posibles fuentes de exposición a contaminantes.

En el barrio funcionaron hasta principios del 2000, una curtiembre y una industria química cuya actividad principal era la producción de sales de cromo y de ácido muriático y el tratamiento de cueros.

Dichos predios concluyeron su actividad dejando residuos peligrosos derivados de su actividad en los sitios y alrededores, (particularmente el descampado lindero a la ex curtiembre), entre ellos sales de cromo. Es por esto, que se decidió realizar en una primera etapa, un estudio de la calidad del suelo en las instalaciones y sus alrededores, utilizando una metodología ágil y portátil de screening en suelo superficial que permite la identificación de analitos inorgánicos por Fluorescencia de Rayos X. Del análisis de los resultados se observó cromo con valores muy por encima del establecido para dicho metal en suelos industriales según el D.R. 831/93, Ley 24.051, tanto dentro de los predios como en sus alrededores.

En este contexto, se diseñó un plan de muestreo sistemático de toma de muestras de agua de consumo, en viviendas abastecidas con agua subterránea, que permitiera conocer la extensión de la pluma del contaminante y la población potencialmente expuesta a dicho elemento. En paralelo se realizó un operativo en salud ambiental casa por casa en el área de estudio a fin de conocer el estado de salud de dicha comunidad, y evaluar toxicológicamente a la población utilizando un biomarcador de exposición a cromo en orina. El plan y proceso de trabajo se efectuó en conocimiento del Municipio y de otras áreas del organismo.

Metodología

Con el propósito de detectar la población expuesta por consumo de agua de pozo, se realizó una campaña de muestreos de agua intradomiciliaria en un radio de 500 m alrededor de los predios que se identificaron como impactados por el elemento de interés. Este fue realizado priorizando aquellas viviendas más cercanas a

las áreas afectadas de forma superficial. Asimismo, se realizó un análisis espacial del área para identificar las dinámicas hidrológicas que se producen en esta zona. Durante el periodo de un año se llevó a cabo un estudio exhaustivo para evaluar la calidad del agua subterránea que consumían las familias evaluadas, en donde se extrajeron un total de 29 muestras.

Además, durante los muestreos se llevó a cabo una encuesta a los habitantes de cada vivienda, con el objetivo de caracterizar los usos del agua, conocer la profundidad de las perforaciones, formas de almacenamiento y posibles factores que pudieran afectar su calidad. Luego de ser recolectadas, se derivaron al laboratorio de AySA, cumpliendo con los protocolos establecidos en el convenio con dicho organismo, donde se analizaron parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

Una vez recibidos los resultados, se sistematizó la información y se derivaron aquellos con presencia de cromo para que las personas expuestas pudieran ser evaluadas por un médico especialista en toxicología.

Resultados

Del total de las 29 muestras analizadas, 11 tuvieron presencia de cromo, de las cuales siete de ellas resultaron en concentraciones que superan el máximo permitido de 0,05 mg/l del CAA. Asimismo, de las muestras positivas, tres tuvieron coloración visible.

Como se observa en la figura 1, la distribución de los resultados positivos se concentra en las dos primeras calles paralelas al sitio contaminado, donde presuntamente se enterraban las sales de cromo como práctica frecuente, cuando las industrias se encontraban en funcionamiento.

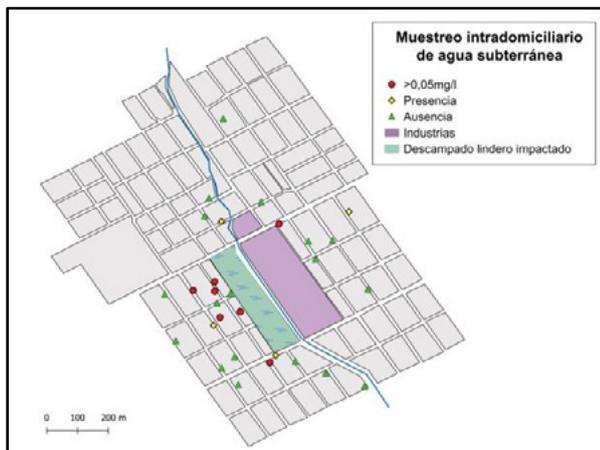


Figura 1.-Mapa del muestreo de agua de consumo en viviendas abastecidas con agua subterránea. Rombos amarillos indican presencia de cromo, círculos rojos cromo por encima de 0,05 mg/l; triángulos ausencia de cromo.

Discusión y conclusiones

La realización de un estudio ambiental utilizando muestreo sistemático, organizado según la distancia a la fuente de contaminación y tipo de exposición sospechada resulta de gran utilidad para poder aproximarse a un número de población potencialmente expuesta.

No se pudo identificar relación entre la profundidad y el tipo de perforación del pozo referida por los encuestados con las concentraciones de cromo obtenidas.

A la luz de la comparación de resultados entre distintas normas surgió que la Resolución 283/19 de ACUMAR que define los valores de parámetros asociados a usos del agua, establece como

apta para protección de la biota y uso recreativo con contacto directo (USO I) una concentración de cromo total y hexavalente menor (0.002 mg/l) que la aceptada en el Código Alimentario Argentino para consumo humano (0.05 mg/l).

En base a lo expuesto, los valores de cromo admitidos por el CAA quedan obsoletos, planteando la necesidad de generar alguna instancia de discusión para actualizar y estandarizar normativas en base a la última información disponible en salud ambiental.

A partir de las concentraciones de cromo total identificadas en agua de consumo de origen subterráneo se dio intervención a la Dirección de Fiscalización del organismo, al Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires y a las áreas de Salud y Ambiente del Municipio. Desde la Dirección de Salud y Educación Ambiental, liderado por la Unidad Sanitaria Ambiental (USAm) de ACUMAR en dicho municipio, se diseñó y se efectuó un operativo de Evaluación Integral de Salud Ambiental en Áreas de Riesgo (EISAAR) específico e innovador para abordar la problemática de exposición al cromo, no sólo por agua, sino por suelo contaminado.

En el mismo estudio se identificó que ambos predios, tanto el de la ex curtiembre como el de la industria química actualmente no se encuentran clausurados, sino que continúan siendo utilizados, aunque para fines distintos a los que generaron la problemática del cromo.

No existe evidencia dentro de los organismos regulatorios que el sitio sea identificado como pasivo ambiental o sitio contaminado, dificultando la implementación de medidas urgentes para evitar la continuidad de la contaminación del agua de consumo y la consecuente exposición de la población. Esto resalta la importancia de construir espacios de intercambio entre organismos, para que la toma de decisiones sea realizada en base a las realidades socioambientales del territorio.

Resulta indispensable considerar la información disponible de salud ambiental relativa a las fuentes de exposición al momento de definir políticas públicas. Priorizar la extensión de agua de red en sitios con agua subterránea contaminada por un pasivo ambiental es fundamental para prevenir el impacto en salud.

Referencias

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2012). "ToxFAQsTM: Cromo (Chromium). CAS# 7440-47-3".

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2007). "Resúmenes de salud pública - Cromo (Chromium). CAS# 7440-47-3".

Código Alimentario Argentino (2021). Capítulo XII, Artículo 982.

Decreto Reglamentario N° 831/93. Anexo II Tabla 9, de la Ley 24.051 sobre Régimen de Residuos Peligrosos.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano.

Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR). (2019). Resolución 283/19 de ACUMAR RESOL-2019-283-APN-ACUMAR#MI

Ley N° 14.343. Ley de la provincia de Buenos Aires sobre identificación de sitios contaminados y pasivos ambientales. (Argentina).

Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR). Informes de Calidad Ambiental: Monitoreo de agua 2010-2016.

Agradecimientos: Graciela Díaz, Juan Giorgi, equipo de la USAm, equipo de seguimiento toxicológico poblacional, equipo EISAAR, por llevar adelante las tareas diariamente.

¿CUÁL ES LA COBERTURA DE AGUA Y SANEAMIENTO?

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE INDICADORES

Federica Sofía Brenner

Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS) / Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA-UBA), Argentina.
E-mail: federica.brenner@gmail.com

Introducción

El Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 6 “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” establece dentro de sus metas lograr el acceso universal y equitativo al agua y al saneamiento, que también representa un derecho humano. Por este motivo, el acceso al agua y saneamiento es un tema de interés público dado su alto impacto socioambiental. Tanto profesionales del sector, como periodistas y políticos, entre otros, hacen referencia a estadísticas de cobertura de agua y saneamiento tendiendo a existir muchas veces una aparente inconsistencia en los datos mencionados.

El objetivo de este trabajo es ahondar en la diversidad de los indicadores de cobertura de agua y saneamiento que pueden ser contruidos de acuerdo a los distintos criterios empleados y fuentes (considerando principalmente la información del INDEC).

Construcción de indicadores en base a información provista por el Censo

La principal fuente de información sobre acceso al agua y saneamiento son los censos. En el Censo 2010 -cuestionario básico para viviendas particulares- se realizaron 6 preguntas vinculadas que se incluyeron en el apartado de “Características habitacionales del hogar” las cuales se listan a continuación con sus respectivas respuestas posibles:

- Provisión de agua: por cañería dentro de la vivienda, fuera de la vivienda pero dentro del terreno, dentro del terreno
- Procedencia del agua: red pública, perforación con bomba a motor, perforación con bomba manual, pozo, transporte con cisterna, y agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia
- Tenencia de baño/letrina: sí, no
- Inodoro con arrastre de agua: sí, no
- Desagüe del inodoro: red pública, cámara séptica y pozo ciego, solo pozo ciego, hoyo.
- Exclusividad en el uso del baño: usado solo por ese hogar, compartido con otros hogares.

A su vez esta información está disponible por vivienda, por cantidad de hogares, y por población; mientras que las desagregaciones geográficas posibles son: nacional, provincial, departamental, fracción y radio censal.

El indicador de cobertura de agua puede recoger solamente provisión o procedencia del agua, o bien contemplar ambas variables simultáneamente. A su vez, para cada variable podrán definirse diferentes criterios sobre las categorías a incluir. A manera de ejemplo, a continuación, se listan algunas opciones describiendo su relevancia

- Solo provisión (dentro de la vivienda): informa sobre el acceso al agua en términos principalmente de disponibilidad de agua, sin considerar la calidad de la misma. Otra opción incluir también dentro del terreno.
- Solo procedencia (red pública): enfatiza sobre la calidad del agua Otra opción incluir perforación con bomba a motor.

- Combinación de ambas: considera tanto la accesibilidad como la calidad del agua.

De esta manera, una vez adoptados los criterios para la elaboración del indicador, debe tenerse presente que el mismo podrá adoptar 3 valores diferentes (vivienda, hogar y población).

Análoga situación resulta al elaborar un indicador de saneamiento, para el cual pueden darse aún mayor variedad de variantes dado que existen 4 preguntas que recogen información respecto a los servicios sanitarios del hogar.

Comparación intertemporal

A la hora de realizar una comparación intertemporal del indicador elegido, es importante considerar las modificaciones en los cuestionarios de los censos, puesto que puede que en algunas ocasiones no pueda replicarse el cálculo exacto con los mismos criterios.

En este sentido, al comparar con el Cuestionario del Censo 2022 resulta de interés señalar que se mantienen las preguntas y clasificaciones respecto a provisión y procedencia del agua, como así también respecto al desagüe del inodoro. En el caso de la pregunta de servicio sanitario, se amplía indicando si: el inodoro tiene arrastre de agua; inodoro a balde; o pozo. De forma semejante, al consultar por la tenencia de baño se amplía a su ubicación (dentro/fuera de la vivienda/terreno). Sin embargo, se elimina la pregunta sobre uso exclusivo del baño y se incorpora una nueva pregunta sobre la cantidad total de baños.

Al analizar la evolución de un indicador, resulta de interés tener presente que además del Censo, muchas otras encuestas llevadas a cabo por el INDEC -como la Encuesta Permanente de Hogares- incorporan un apartado sobre características del hogar, incluyendo en líneas generales las mismas preguntas realizadas en el Censo en materia de acceso al agua y saneamiento. A manera de ejemplo, existe la Encuesta sobre Actividades de Niños, Niñas y Adolescentes 2016-2017 que cuenta con la particularidad de tener información tanto para área urbana como para área rural.

Si bien estas encuestas son herramientas útiles que permiten tener información en el período intercensal, debe recordarse que se trata de una muestra, que no presenta el mismo nivel de desagregación geográfica, y puede llevar a sobreestimaciones al considerar en el acceso de los barrios populares conexiones informales como población servida (Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales, 2021).

Indicador ODS 6.1.1 y 6.2.2

En el marco del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 6 (ODS6) se establecieron la meta 6.1 en cuando a agua potable y la meta 6.2 respecto a saneamiento e higiene. Asimismo, para medir su cumplimiento se determinaron estos indicadores:

- Indicador 6.1.1 “Proporción de la población que utiliza servicios de agua potable gestionados de forma segura”
- Indicador 6.2.1 “Proporción de la población que utiliza (a) servicios de saneamiento gestionados de manera segura y (b) instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón”.

El Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene (JMP por su sigla en inglés), custodio del ODS6, recopila la información a nivel internacional y establece las metodologías de cálculo. En el caso del 6.2.1 define como saneamiento seguro, “La proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados de forma segura se define como la proporción de la población que utiliza una instalación de saneamiento mejorada que no se comparte con otros hogares y donde las excretas se eliminan de forma segura in situ o se eliminan y tratan fuera del sitio. Las instalaciones de saneamiento “mejoradas” son aquellas diseñadas para separar higiénicamente los excrementos humanos del contacto humano. Estos incluyen tecnologías de saneamiento húmedo, como inodoros con descarga de agua y descarga conectados a alcantarillas, fosas sépticas o letrinas de pozo, y tecnologías de saneamiento seco, como letrinas de pozo seco con losas, letrinas de pozo ventiladas mejoradas e inodoros de compostaje.” Traducción propia. (Naciones Unidas, 2021).

En esta línea, alcanzar la meta 6.2 implica que toda la población debe contar con instalaciones mejoradas y gestionados de manera segura en todas las etapas de la "cadena de gestión del saneamiento": contención, vaciado, transporte, tratamiento y reutilización o disposición final de las excretas (UNICEF y OMS, 2020).

Por consiguiente, en este marco, el indicador de cobertura de saneamiento evalúa la gestión segura del saneamiento para lo cual resulta fundamental contar con información sobre todas las etapas de la cadena. Como esta información no es relevada por el INDEC, el JMP incorpora información complementaria recopilada de fuentes administrativas y reguladores. Al incorporar aspectos de tratamiento, el indicador de saneamiento se reduce drásticamente.

Otra cuestión clave es que cada país puede adherir o modificar las metas e indicadores. Al respecto, el Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales en el Informe de País 2021 aclara que se presentan los indicadores 6.1.1 y 6.2.1 con una desagregación propuesta por la Argentina, que es adicional a la internacionalmente convenida. En particular, la diferencia es la desagregación del indicador por área rural y urbana, y adoptar para áreas urbanas solo la conexión a red pública (procedencia del agua/desagüe inodoro), mientras que en áreas rurales se incluyen otras categorías (perforaciones con bomba automática o manual, y cosechas de lluvia; cámara séptica y pozo ciego o baño seco) que se consideran soluciones también aptas. En ambos casos -urbano y rural- no se incorporan datos de tratamiento.

En cuanto a las fuentes empleadas para el cálculo, el informe explica que se utiliza la EPH y estimaciones realizadas por el Ministerio de Obras Públicas en base a obras finalizadas y población incorporada.

En síntesis, respecto a los indicadores ODS 6, es posible encontrar diferentes valores y criterios para el país según correspondan a estimaciones del JMP o estimaciones oficiales. Es importante destacar que en ambos casos se miden exclusivamente en términos de población (ni vivienda, ni hogares).

Otras fuentes de información

Los operadores del servicio son otra fuente de información relevante para la construcción de indicadores. En particular, posee la ventaja de tener información actualizada pudiendo estimar población estimada por obras en curso y recientemente finalizadas. También cuenta con la ubicación y extensión de las redes (sistemas de información geográfica), lo que permite calcular indicadores de cobertura en términos de área servida, los cuales son útiles por ejemplo para estimar mejor las

necesidades de inversión para la expansión del servicio, o en zonas no residenciales (recordando que el INDEC solo releva viviendas ocupadas).

En estos casos, para estimar la población con servicio resulta indispensable correlacionarla con índices de conectividad dado que la efectiva conexión al servicio requiere que el usuario proceda a la adecuación de las instalaciones internas.

Los datos brindados por los prestadores resultan también la principal fuente de información respecto al tratamiento de aguas residuales, parámetro necesario para estimar el porcentaje de saneamiento gestionado de forma segura.

La Base de Información Nacional de Agua y Saneamiento (BINAS) de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica recopila información sobre los operadores (no es de público acceso).

Reflexiones finales

La diversidad de indicadores que pueden ser elaborados con información del INDEC responden a las múltiples preguntas incluidas en los censos respecto al acceso al agua y saneamiento. Esto resulta de gran utilidad, permitiendo que se elabore el indicador que mejor responde a las necesidades de la tarea a elaborar.

Por lo expuesto, al presentar algún indicador de cobertura resulta necesario explicitar, no solo la fuente empleada, sino también el detalle los criterios adoptados para su cálculo. Estas mismas consideraciones metodológicas deben ser contempladas para realizar comparaciones geográficas o análisis en el tiempo de forma tal que sean válidas.

En cuanto al ODS 6 es importante tener presente que la divergencia de valores puede responder a la diferencia de criterios adoptados a nivel nacional -que pueden no coincidir con los internacionales-, como así también que incorporan otras fuentes de información diferentes al INDEC. Por esto, resultaría conveniente contar con mayor información respecto a la cadena de saneamiento (tratamiento de aguas residuales), como así también información sobre higiene (lavado de manos).

Por último, se desprende que cuando se fijen metas de políticas públicas resultaría conveniente evaluar múltiples alternativas de indicador de cobertura y especificar cuál se adopta según el objetivo a fin de poder luego ser consistentemente evaluadas (por ejemplo, metas de población/vivienda/área servida son diferentes y pueden generar distintos incentivos).

Referencias

- Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales (2021)** Argentina - Informe de País 2021. Seguimiento de los progresos hacia las metas de los 17 ODS.
- INDEC (2010)** Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Cuestionario básico de viviendas particulares
- INDEC (2019)** Encuesta de Actividades de Niños, Niñas y Adolescentes 2016-2017. Manual de uso de las bases de datos de la EANNA rural.
- INDEC (2022)** Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2022. Cuestionario definitivo para viviendas particulares
- INDEC (2023a)** Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: resultados provisionales: indicadores de las condiciones habitacionales de las viviendas particulares ocupadas.
- INDEC (2023b)** Encuesta Permanente de Hogares (EPH) total urbano. Diseño de registro y estructura para las bases usuarias. Hogar y Personas
- Naciones Unidas (2021)**. SDG indicator metadata 6.2.1. Disponible en <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-06-02-01a.pdf>
- UNICEF y OMS (2020)**. Estado Mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades. Nueva York

CONFLICTOS HIDROSOCIALES EN CUENCAS METROPOLITANAS DE BUENOS AIRES. CASO: BARRIO LOS PINOS, QUILMES

Brun Tropiano, Agustina

Instituto de Problemas Nacionales (IPN, UNLa) – CONICET, Argentina

Agussbrun03@gmail.com

Introducción: Una aproximación contextual

En las últimas décadas en América Latina se produjo una gran expansión urbana y, en un contexto de globalización (Coraggio, 1997), de crisis socioeconómica y habitacional dentro del paradigma neoliberal (Harvey, 2008; Theodore et. al., 2009), muchos sectores de la sociedad fueron expulsados de la posibilidad de acceder a la tierra, incrementándose la construcción de nuevas urbanizaciones populares en las periferias de las grandes ciudades (Van Gelder et. al., 2013). Estas urbanizaciones cuentan muchas veces con precarias condiciones, escasos servicios (Apolaza y Venturini, 2020; Di Virgilio et. al., 2015; Cravino et. al., 2010).

Esta ponencia se centra en las cuencas metropolitanas de Buenos Aires y en particular en sus arroyos y bordes de los mismos, ocupados muchas veces por estas nuevas urbanizaciones populares y donde se producen conflictos urbano-ambientales. El objetivo es analizar las conflictividades que se producen en los bordes del Arroyo Las Piedras en torno a los usos diferenciales del agua y estos territorios por los diferentes actores sociales. Interesan en particular los conflictos hidrosociales del Barrio Los Pinos (BLP) de Quilmes, que es un asentamiento de viviendas autoproducidas ubicado en las cercanías del arroyo en una zona industrial. La metodología empleada es de tipo cualitativa, utilizando fuentes de información secundaria y encuestas a los habitantes del barrio, entrevistas en profundidad a referentes clave y relevamiento fotográfico, realizados en el marco de un proyecto de investigación actualmente vigente¹.

Cuencas metropolitanas de Buenos Aires como territorios hidrosociales

Una cuenca hídrica es un espacio compuesto por el contorno del cauce de un río hasta las divisorias de aguas (Perales Miranda, 2016) que posee múltiples usuarios y formas de ocupación superpuestas. Son escenarios de lucha en donde se producen conflictos en torno al uso, distribución, valoraciones, significados y derechos asociados al agua (Tobías, 2019). En las cuencas metropolitanas existe un aumento de la complejidad multidimensional y jurisdiccional debido a que a través de ellas existen múltiples divisiones políticas, usos y factores tanto naturales como antrópicos.

La Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) se ha desarrollado desde sus inicios en un espacio geográfico donde existen múltiples cuencas hidrográficas, por medio de la instalación de habitantes, redes de transporte, industrias y servicios. Las industrias que manejaban grandes cantidades de agua, usualmente se localizaron en las cercanías de los arroyos desde principios del Siglo XX (Sica, 2001), generando contaminación y degradación ambiental. Luego, el neoliberalismo impactó desde finales del Siglo XX en la formación de nuevos patrones de expansión urbana con dos tendencias: la suburbanización de los sectores altos en barrios cerrados en periferias metropolitanas con buena accesibilidad y confort (Vidal Koppmann, 2001; Torres, 1998); y la suburbanización de los sectores de bajos recursos en urbanizaciones populares informales, con precarias condiciones

(Apolaza y Venturini, 2020; Di Virgilio et. al., 2015; Cravino et. al., 2010) y localizados en territorios degradados ambientalmente y en zonas inundables por su cercanía a los arroyos de las principales cuencas.

La noción de “territorio hidrosocial” (Sanchis Ibor & Boelens, 2018) hace referencia a territorios entendidos como una red multi-escalar en la que actores sociales, flujos de agua, dinámicas ecosistémicas, económicas, culturales e infraestructuras se definen y movilizan (Boelens et al., 2016). En base a esta definición, podría considerarse a las cuencas metropolitanas como territorios hidrosociales, con una fuerte incidencia de la hidrografía natural y con la presencia de múltiples actores sociales haciendo uso y abuso de la misma. Por lo tanto, territorios tan complejos como los de las cuencas de la RMBA podría considerarse territorios hidrosociales desiguales (Tobías, 2019).

Conflictos hidrosociales como un tipo de conflictos urbano-ambientales

Un conflicto es considerado la expresión de la intimidad del antagonismo y el ser (Simmel & Ceballos, 2010). Existe una gran multiplicidad de situaciones que se pueden calificar como conflictos. Los conflictos urbanos son las disputas generadas en las ciudades entre diferentes grupos y actores sociales y una de las situaciones por las que ocurren son las controversias relacionadas con el ambiente (Melé, 2014).

Los conflictos urbano-ambientales son aquellos conflictos sociales que surgen de problemas ambientales en las ciudades (Merlinsky, 2017) en las que al menos una de las partes hace valer un argumento ambiental (Azuela y Muzzeta, 2009).

Los conflictos hidrosociales son conflictos territoriales donde el agua asume la centralidad (Del Rosario, 2021). Pueden estar relacionados a diversos problemas vinculados con la misma, como cuestiones de escasez, distribución, contaminación, entre otros, y ponen en disputa a diferentes actores sociales. Por tal motivo, podría afirmarse que son un tipo de conflicto ambiental, ya que se hace valer un argumento vinculado a un bien natural como es el agua y sus territorios aledaños, por lo que, si se producen en las ciudades, podrían ser considerados como un tipo de conflicto urbano-ambiental.

Conflictividades hidrosociales en el barrio Los Pinos

La cuenca Santo Domingo-San Francisco-Las Piedras se orienta en sentido sur-norte y es vertiente al Río de la Plata. Se ubica en los municipios de Avellaneda, Quilmes, Lanús, Lomas de Zamora, Almirante Brown, Florencio Varela y Presidente Perón, que forman parte de la RMBA.

El Arroyo Las Piedras es un cauce de agua natural y modificado que atraviesa 4 municipios, uno de los cuales es Quilmes. En las últimas décadas del Siglo XX sobre el mismo se conformaron villas, asentamientos y barrios populares con prácticas diversas de autoproducción y producción social del hábitat y caracterizados por poseer precarias condiciones de vida, informalidad urbana y falta de intervenciones del Estado (Bidinost y Davenport, 2019).

¹ Realizadas en el CONICET PIP 2021-23: “La producción del espacio urbano y la cuestión ambiental en un contexto de disputa: actores, conflictos y modos de habitar en el corredor litoral sudeste del Conurbano

Bonaerense”. Dirigido por: Dra. María Cecilia Zapata y Dra. María Soledad Fernández Bouzo.

A partir del relevamiento realizado se identificó que el BLP está ubicado a unos 200 mts de este arroyo, en la localidad de Quilmes Oeste, sobre suelo nomenclado de uso industrial y rodeado por 14 industrias (refinerías, prensadora, metalúrgica, cementera, entre otras).

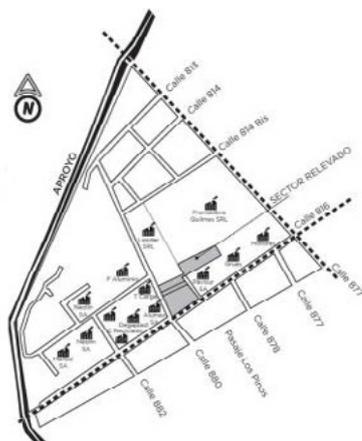


Figura 1.- Barrio Los Pinos con las industrias que lo rodean. Fuente: mapa presente en el tríptico entregado al barrio, producido en el CONICET PIP 2021-23.

Se trata de un barrio en donde existen diversos problemas ambientales. El principal es la contaminación del suelo, aire y agua generado por fuentes industriales debido a que, según los habitantes, las fábricas eliminan sus efluentes líquidos al arroyo y a las calles del barrio; generan emisiones gaseosas sin el correcto tratamiento; y ocasionan ruidos, vibraciones y olores molestos. También existen problemas ambientales en torno a la precariedad de acceso a servicios básicos; presencia de microbasurales debido a una recolección de residuos sólidos urbanos deficiente; quema de estos residuos; propagación de plagas; y ocurrencia de inundaciones, generadas principalmente por déficits en los drenajes. Estos problemas generan daños en las viviendas, problemas de circulación y problemas de salud como enfermedades respiratorias, dérmicas y gastrointestinales.

En torno a estos problemas se generan situaciones de conflictos ambientales: entre los habitantes del barrio afectados por los problemas y los dueños y empleados de las fábricas contaminantes, ya que estas últimas continúan con sus actividades sin contemplar que alrededor de las mismas viven personas que están siendo afectadas; entre los habitantes y el gobierno en sus tres niveles, debido a que los mismos han realizado reclamos y denuncias solicitando ayuda y soluciones a sus problemas (tanto en relación con la contaminación ambiental existente como en torno a la condición de ilegalidad de tenencia de la tierra) y no han recibido respuestas; y también existen conflictos o rispideces entre los propios vecinos del barrio, que no han logrado hasta el momento vincularse y/u organizarse para luchar por sus derechos.

Conclusiones y Reflexiones Finales

Una de las conclusiones que surgen de este trabajo es que las cuencas metropolitanas son espacios donde existen múltiples problemas urbano-ambientales y los mismos desencadenan en el surgimiento de conflictos de diversos tipos en torno a los accesos y usos diferenciales del agua y los territorios por parte de los diferentes actores sociales involucrados (públicos, privados y sociedad). A esto se le suma la complejidad dimensional y jurisdiccional existente.

En torno a los cursos de agua superficial, en la RMBA se han dado lógicas de ocupación que fomentaron la ubicación de industrias contaminantes y la instalación de poblaciones de bajos recursos en sus cercanías, con inadecuadas condiciones de vida y sin contemplar las lógicas naturales de las cuencas.

En la cuenca del Arroyo Las Piedras y en particular en el BLP

existen conflictos urbano-ambientales principalmente en torno a la contaminación industrial existente y a la escasa intervención del Estado sobre estos problemas. Se trata de conflictos hidrosociales ya que siguen una lógica donde el agua asume una centralidad y ponen en disputa a los diferentes actores sociales que usan y gestionan estos espacios.

Referencias Bibliográficas

Apaolaza R. y Venturini J.P. (2020). "Cambios de usos de suelo en la periferia del área metropolitana de Buenos Aires. Aportes para una teoría del rent gap periurbano". *Geograficando*, 17(1).

Boelens, R., Hoogesteger, J., Swyngedouw, E., Vos, J. y Wester, P. (2016). "Hydrosocial territories: a political ecology perspective". *Water International*, 41(1), 1-14.

Coraggio, J. L. (1997). "La política urbana metropolitana frente a la globalización". *EURE-Revista de Estudios Urbano Regionales*, 23(69).

Cravino, M.C., Del Río, J.P y Duarte, J. (2010). "Los barrios informales del Área Metropolitana de Buenos Aires: evolución y crecimiento en las últimas décadas". *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*(163). 83-95.

Del Rosario, P. J. (2021). Territorios y conflictos hidrosociales. *Desarrollo y Territorio*, (10), 5-22.

Di Virgilio, M.M., Arqueros Mejica, S. y Guevara, T (2015) "Transformations in the originally informal consolidated urban areas of metropolitan Buenos Aires. En: Ward, Peter, Jimenez Huerta, Edith y Di Virgilio, Mercedes, Housing policies in Latin American cities. A new generation of strategies and approaches for UN-Hábitat III". New York: *Routledge*.

Harvey, D. (2008). "El neoliberalismo como destrucción creativa". *Apuntes del CENES*, 27(45).

Maldonado, A. M., & Velásquez, G. G. (2008). La teoría del conflicto en la sociedad contemporánea. *Espacios públicos*, 11(21), 196-221.

Martínez-Alier, J. (2006). "El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración". *Icaria*.

Melé, P. (2016). "¿Qué producen los conflictos urbanos?". En Carrión, F. y Erazo, J. (coords.) *El derecho a la ciudad en América Latina. Visiones desde la política*. México: UNAM.

Merlinsky, M. G. (2017). "Conflictos ambientales y arenas de deliberación pública en torno al problema ambiental en Argentina". *Ambiente & Sociedad*, 20(2), 121-138.

Perales Miranda, V. H. (2016). La cuenca social como aproximación sociológica a las intervenciones en cuencas hidrográficas. *Temas sociales*, 39, 221-240.

Sica, D. (2001). *Industria y territorio: un análisis para la provincia de Buenos Aires*. Cepal.

Simmel, G., & Ceballos, E. (2010). El conflicto. Sociología del antagonismo. *Ediciones sequitur*, Madrid.

Torres, H. (1998). Procesos recientes de fragmentación socioespacial en Buenos Aires: la suburbanización de las élites. *Seminario de investigación urbana "El nuevo milenio y lo urbano"*. Buenos Aires, Instituto Gino Germani UBA.

Theodore, N., Peck, J., & Brenner, N. (2009). "Urbanismo neoliberal: la ciudad y el imperio de los mercados". *Temas sociales*, 66(10), 1-11.

Tobias, M. A. (2019). "Conflictos y territorios hidro-sociales en el área metropolitana de Buenos Aires". *Revista del CESLA*, 23, 197-218.

Van Gelder, J. L., Cravino, M. C., & Ostuni, F. (2013). "Movilidad social espacial en los asentamientos informales de Buenos Aires". *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)*, 15(2), 123-137.

Vidal Koppmann, S. (2001). Segregación residencial y apropiación del espacio: la migración hacia las urbanizaciones cerradas del AMBA (Argentina). *Scripta Nova*(94).

Zapata M.C., Davenport O., y Bidinost A. (2023). "Territorios ambientalmente excluyentes: características de la autoproducción popular de ciudad en el Conurbano Sur". En III Encuentro Nacional de la Red de Asentamientos Populares: "Emergentes y debates en torno al hábitat popular" (presencial). Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán.

LA DIMENSIÓN AMBIENTAL COMO FORMA INSTITUCIONAL DE REGULACIÓN EN LA CONFIGURACIÓN TERRITORIAL DE MENDOZA

Mauricio J. Buccheri y Santiago Ruiz Freites

Subgerencia Centro Regional Andino-Instituto Nacional del Agua, Argentina
mbuccheri@ina.gov.ar; sfreites@ina.gov.ar

Introducción

El artículo aborda, en el marco de la Teoría de la Regulación (TdR), al ambiente como fuente de acumulación de capital y generación de riqueza.

Tomando como caso de estudio a la provincia de Mendoza, se analiza la categoría “Dimensión Ambiental”, como una de las formas institucionales de regulación con capacidad de generar riqueza, y se explora los alcances teóricos de la “Plusvalía Territorial”, como concepto caracterizador de dicha institución.

Metodología y caso de estudio

El presente estudio adopta un perfil de análisis normativo-histórico, fundado en una preocupación que emana de la deficiencia teórica-metodológica de la TdR ortodoxa al prestar poca relevancia a la apropiación y aprovechamiento de los recursos naturales como fuente generadora de riqueza.

Se adopta como caso de estudio al régimen económico basado en la Economía de Oasis de Mendoza, en la cual, la Provincia estructuró su desarrollo socio-productivo al aprovechamiento artificial de sus recursos hídricos, configurando al territorio en áreas irrigadas y no irrigadas –o secano–.

Marco teórico

La TdR emerge en los años 70’ gracias a los desarrollos teóricos de economistas franceses que desde una mirada de la Economía Política, materialista e histórica, dieron lugar a la visión ortodoxa abordada por dos corrientes: la de Paris (Michel Aglietta, Robert Boyer, Alain Lipietz, e.o.) y la de Grenoble (Gérard de Bernis, François Perroux, Christian Palloix, e.o.).

Esta escuela tuvo grandes repercusiones a nivel mundial, incluido en la Argentina (Gajst, 2010). Uno de los aportes fundamentales fue la determinación de distintas formas institucionales que, contextualizadas histórica y geográficamente, inciden en la regulación del régimen de acumulación dominante bajo el modo de producción capitalista, tratando de explicar los ciclos de estabilidad y crisis de la economía, la dinámica social, los cambios económicos e institucionales, como también, la acumulación de capital. En este sentido, al menos, dos conceptos son clave (Díaz, 2013):

- **Régimen de acumulación:** forma en que la producción, consumo y distribución se organizan en un periodo de tiempo limitado para permitir la acumulación ampliada concediendo cierta estabilidad a la economía.
- **Régimen de regulación:** conjunto de leyes, normas, formas del estado, paradigmas políticos y prácticos que permiten el desarrollo armonioso de un régimen de acumulación. La escuela ortodoxa francesa, las resumen en: (1) la relación salarial, (2) la moneda, (3) las formas de competencia, (4) el Estado como garante y (5) el régimen internacional (de Bernis, 1983; Aglietta, 1987; Lipietz, 1988; Boyer, 1989; Boyer y Saillard, 1997; Neffa, 1998; Jofré, 2010; Hernández y Ramallo, 2020; entre otros, todos en Buccheri, 2022).

Sin embargo, la escuela regulacionista de Viena –corriente periférica– le otorga jerarquía teórica a la relación sociedad-naturaleza, ya que esta última es utilizada como proveedora de recursos productivos o como sumidero de residuos productivos.

Esta relación es una institución en sí misma y la denominan “Restricción Ecológica” (Becker y Raza, 2000 y Jofré y Ferreyra, 2010; todos en Buccheri, 2022). Tema omitido por los regulacionista franceses.

Resultados

Para Jofré y Ferreryra (2010) las formas institucionales juegan un papel clave entre la dinámica social y la acumulación de capital.

A partir de una revisión crítica del enfoque regulacionista francés, se propone como una de las formas de regulación a la “Dimensión Ambiental” (Buccheri, 2022), en consonancia con las críticas vertidas por la escuela de Viena que hacen referencia de la misma, pero señalándola como “Restricción Ecológica”. A diferencia de los vieneses, se la denomina Dimensión Ambiental porque se considera al ambiente, en un sentido amplio, como fuente de conflicto y crisis, en segundo lugar, permite incluir la interrelación de varias dimensiones que no son consideradas por la ecología y, además, facilita anclar el análisis sobre un espacio y territorio determinado.

El análisis de la “Dimensión Ambiental” aplicado a Mendoza, presta un criterio analítico fundamental para describir la relación básica entre la estructura socioeconómica y los recursos hídricos, materializada en el dictado de un conjunto de regulaciones ambientales, territoriales e hídricas. Las mismas conforman el marco institucional y legal de la administración y gestión del agua y del territorio en Mendoza y, responden al alto poder de resiliencia del propio modelo frente a las sucesivas crisis hídricas –por causas políticas, económicas y ambientales–.

Desde los albores de la organización nacional, se puede incluir como la primera regulación, referida a la ordenación y ocupación del territorio, a la centenaria Ley de Aguas de 1884 (LAM) que regula la asignación, control y distribución de las aguas superficiales, siendo pionera en la materia en Latinoamérica. Esta ley provincial estableció una serie de principios e instrumentos jurídicos para la administración hídrica, tales como la inherencia, la cláusula sin perjuicio de terceros, el poder de policía, la servidumbre, el otorgamiento de concesiones, el turnado, entre otros, que permitieron transformar la matriz provincial forjada en la colonia hacia una sociedad que se ha desarrollado en base al uso del agua. Según Ruiz Freites (2007) algunos de estos elementos, junto a otros, son incorporados luego en la Constitución Provincial, considerándose como verdaderos “Principios jurídicos hídricos”.

De aquí en adelante, se sucedieron numerosas regulaciones, siendo las más relevantes las siguientes:

- Como se expresó, la propia Constitución Provincial de 1916 (Sección VI, Cap. Único- Departamento General de Irrigación (DGI)).
- Ley 322 de procedimiento administrativo del DGI.
- Diversas Resoluciones del DGI sobre asignación y reserva/veda del recurso hídrico.
- Leyes 4.035 y 4.036 de agua subterránea (uso conjunto).
- Ley 5961 de preservación y defensa del ambiente.
- Ley 6045 sobre criterios para creación de áreas naturales protegidas // Leyes específicas de creación de las mismas.
- Ley 8.051 de ordenamiento territorial y usos del suelo // Ley 8999 sobre Plan Provincial de Ordenamiento Territorial.

- Ley 7722 de prohibición de uso de sustancias químicas en minería metalífera.
- Regulaciones municipales: ordenanzas de zonificación, plan municipal de ordenamiento territorial, etc.
- Constitución Nacional (CN): art. 41, art 124, etc.
- Leyes de presupuestos mínimos ambientales: Ley 25675 de general del ambiente; Ley 25688 sobre preservación, aprovechamiento y uso racional de las aguas, Ley 26331 de bosques nativos, Ley 26639 sobre glaciares y ambiente Periglacial, entre otras.
- Código Civil y Comercial (CCyC): Bienes de dominio público. Aguas públicas como regla general y aguas privadas por excepción.

Estas regulaciones sentaron las bases de la actual configuración territorial de Mendoza, distinguiendo entre los oasis productivos, de gran desarrollo socioeconómico, y el resto del territorio, no irrigado y rezagado en cuanto a oportunidades. A partir de esta diferencia, emerge el concepto de plusvalía territorial, especialmente de índole hídrica, una manifestación aceptada de esta forma de regulación.

El término plusvalía fue definida inicialmente por la filosofía económica marxista sobre la base de las Teorías de Valor y las críticas a la Teoría General de la Renta de la Tierra (TGRT).

Posteriormente, enfoques contemporáneos adoptaron este concepto, especialmente el Ordenamiento Territorial, que desde una perspectiva genérica, asocia a la plusvalía con los incrementos del valor de la tierra derivados de la actuación pública, bien sea a través de inversiones en infraestructura y/o de decisiones reglamentarias sobre el uso del suelo. La más desarrollada es la plusvalía de carácter urbana (Jaramillo, 2011).

Siguiendo esta línea, la plusvalía territorial hídrica refiere en la medida en que el agua es asignada en el territorio mediante concesiones legales, en los ambientes áridos o semiáridos, los predios beneficiados adquieren un importante valor diferencial que refleja la significancia económica que presenta el recurso hídrico (Buccheri, Pinto, Andino y Llop, 2014) –permitiendo captar la renta absoluta de la tierra a favor del dueño–.

Existen, al menos, dos condiciones para que se produzca dicha plusvalía y, por ende, su captación (Buccheri, 2022). En primer lugar, la necesidad de ser propietario de la tierra cuya capacidad de disponer de la misma está ligado al reconocimiento jurídico de la propiedad privada de la tierra. En segundo, la existencia de mecanismos legales de acceso al uso especial del agua de dominio público.

El régimen jurídico argentino declara que el derecho individual de la propiedad privada es inviolable y la expropiación por razones de utilidad pública debe ser por ley e indemnizada. El derecho de propiedad está regulado en la CN y CCyC y, en forma complementaria, se encuentra garantida en las constituciones provinciales (Pinto y Martín, 2015). De todo modo, el ejercicio de este derecho, está subordinado a una función social y económica y, por ende, sometido a lo que la Ley establezca con fines de bien común. Ejemplo, la Ley 8051 de Mendoza.

Por otro lado, el dominio público es el conjunto de bienes que pertenecen a una entidad estatal, hallándose destinados al uso público directo o indirecto de los habitantes, siendo en Argentina un régimen de excepción, es decir, que requiere una base legal que lo autorice. Además, según el artículo 124 de CN corresponde a las provincias el dominio originario de los mismos si se ubican en su territorio.

En materia de aguas, la principal característica del CCyC es la dominialidad pública como regla general, incluyendo a todas aquellas que tengan o adquieran la aptitud de satisfacer usos de interés general. Las provincias, en su calidad de dueñas, reglamentan el otorgamiento de concesiones o permisos de los usos comunes y de los usos especiales.

Específicamente, la legislación hídrica de Mendoza establece que la asignación de usos especiales necesita la autorización de la autoridad hídrica, mediante permiso o concesión (arts. 110 y 130 de LAM y art. 4 de Ley 4036 de agua subterránea).

Además, en el marco de la política hídrica mendocina se consagra dos principios fundamentales al momento de otorgar un derecho especial de uso de aguas y que se relaciona directamente con la generación de la plusvalía hídrica. El primero, vinculado a la inherencia del derecho de uso de aguas al predio beneficiado como principio rector jerarquizado constitucionalmente –es decir, el derecho de agua es accesorio al inmueble–. El segundo, el sistema de preferencias que el Estado estableció disponiendo cuáles son los usos especiales que resultan socialmente prioritarios frente a la concurrencia de demandas (art 115 de LAM) (Pinto y Martín, 2015).

Conclusiones

La TdR sostiene que la economía capitalista requiere de la intervención del Estado para mantenerla estable.

El régimen ambiental, hídrico y territorial a nivel de oasis constituye una de las maneras más concreta para caracterizar la forma institucional “Dimensión Ambiental”, ya que permite visualizar, hacia dentro de una Economía de Oasis, la aptitud y el límite en sí mismo para la generación de plusvalías.

La plusvalía, como institución económica, se materializa a partir del reconocimiento estatal del mejor aprovechamiento de un recurso productivo, tal es el caso de la asignación de un derecho de agua a la tierra en ambientes áridos que lo convierte en productivo e incrementa su valor económico en comparación con el resto del territorio.

Así, otorgando jerarquía teórica a la relación sociedad-ambiente en forma institucional de regulación, ayuda a entender el rol de los bienes naturales en el proceso de acumulación de riquezas, aspectos tan importantes que estudia la TdR.

Referencias Bibliográficas

- Buccheri, M.** (2022). *Las regulaciones hídricas y la generación de valor en los oasis de la provincia de Mendoza. La plusvalía territorial como fundamento del régimen de acumulación actual. Periodo de análisis 1884-2017*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras, Mendoza, Argentina.
- Buccheri, M., Pinto, M., Andino, M. y Llop, A.** (2014). “El valor del agua y su incidencia en la configuración del territorio”. *IFRH 2014-2do. Encuentro de investigadores en Formación en Recursos Hídricos*, Buenos Aires, Argentina.
- Díaz, I.** (2013). *La teoría regulacionista*. Isotropía. <https://isotropia.wordpress.com/2013/03/31/la-teoria-regulacionista/>.
- Gajst, N.** (2010). “La escuela francesa de la regulación: una revisión crítica”. *Revista Científica Visión de Futuro*, Vol. 13, Año 7, 18 pp.
- Jaramillo, S.** (2011). “Fundamentos económicos de la participación en plusvalías”. *Plusvalías Urbanas. Fundamentos económicos y jurídicos*, Bogotá, Colombia: Universidad Externado de Colombia, 329 pp.
- Jofré, J. y Ferreyra, M.** (2010). “Elementos regulacionistas para una aproximación al ordenamiento territorial”. *Revista Proyección*, No. 8, 7-20 pp.
- Pinto, M. y Martín, L.** (2015). “Los mecanismos legales de acceso al agua en las provincias áridas del oeste argentino: principios y características comunes”. *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, Vol. 47, No. 1, 13 pp.
- Ruiz Freites, S.** (2007). “Legislación y Administración de Aguas en Mendoza”. Mathus Escorihuela, M (Director), *Derecho y Administración de Aguas*, Cap. XI.

LA RECUPERACIÓN ESTATAL DE LA PLUSVALÍA HÍDRICA COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN MENDOZA

Mauricio J. Buccheri¹ y Mauricio E. Pinto²

¹Subgerencia Centro Regional Andino-Instituto Nacional del Agua, Argentina

^{1,2}Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

^{1,2}Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas-Universidad del Aconcagua, Argentina
mbuccheri@ina.gov.ar; ticio2006@gmail.com

Introducción

El presente trabajo aborda, en el marco de la Teoría de la Regulación (TdR) y el enfoque moderno del Ordenamiento del Territorio (OT), la viabilidad de la recuperación estatal de la plusvalía territorial, con énfasis en lo hídrico, como nuevo instituto jurídico-económico de la política y la gestión ambiental y territorial.

Se analiza el caso de la provincia de Mendoza, donde a partir de una sucesión de hechos que derivaron en diversas regulaciones, dio lugar a la creación de plusvalías hídricas a favor de los dueños de las tierras. Esto permite estudiar dos aspectos específicos de este concepto.

En primer lugar, las principales manifestaciones económicas de la plusvalía hídrica, vinculadas con el mayor valor económico que tiene la tierra agrícola irrigada frente a la no irrigada. En segundo, la naturaleza jurídica y social que justifica a la recuperación estatal de la plusvalía y su aparente figura tributaria más acorde, observando voces a favor, dudas y limitaciones que existen sobre este instituto en los planos político y científico técnico.

Metodología y caso de estudio

El presente informe adopta un diseño observacional no experimental fundado en la preocupación que origina la indeterminación de la recuperación de la plusvalía territorial, con énfasis en lo hídrico, como instrumento de gestión ambiental, en un contexto provincial donde el agua es un recurso escaso y valioso.

El caso de estudio abordado es la provincia de Mendoza, basado en una Economía de Oasis cuyo desarrollo socio-productivo se origina en pequeños espacios de su territorio gracias al aprovechamiento artificial de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) y en dónde se manifiestan claramente el valor económico del agua. En la actualidad, los oasis ocupan un poco más del 4% del territorio.

Marco teórico

La plusvalía es un concepto compartido en las bases teóricas y conceptuales de la TdR y el OT.

La TdR se enfoca en el estudio de las instituciones y las estructuras sociales y políticas que influyen en la economía, y cómo estas instituciones y estructuras determinan las formas regulatorias en que se lleva a cabo la producción y el intercambio de bienes y servicios y que otorgan estabilidad al régimen económico. La corriente francesa ortodoxa ha definido diversas formas de regulación vinculándolas con el salario, la moneda, la competencia, el rol del Estado y el régimen internacional. No obstante, esta investigación le confiere jerarquía teórica a la relación sociedad-naturaleza, cuyos desarrollos fueron realizados por la escuela regulacionista austriaca y abordadas localmente, entre otros, por Jofré y Ferreyra (2010) y Buccheri (2022), quienes denominaron a esta forma de regulación como Restricción o Dimensión Ambiental.

El conjunto de regulaciones ambientales, territoriales e hídricas –que integran la Dimensión Ambiental– incide en la configuración del territorio y tiene efecto directo en la acumulación de capital, sobre todo en zonas áridas donde la escasez hídrica es el común denominador de las políticas. Aquí, la plusvalía territorial hídrica es una clara manifestación de esta forma de regulación.

Por otro lado, según Gómez Orea (2001) el OT es un método de planificación de ataque y prevención de los problemas en relación con los desequilibrios territoriales, con ocupación y uso desordenado del territorio. Para Gudiño (2015) el OT sufrió una renovación conceptual y metodológica, su cambio sustancial lo constituye la transición hacia un OT coordinado y concertado entre distintos actores, sin desconocer el liderazgo del Estado. Además, es considerada una política de Estado (Cueto y Guardamagna, 2011; Gudiño, 2015).

La plusvalía territorial y la recuperación estatal de la misma constituyen un instituto de gestión del ambiente y del territorio en el enfoque moderno del OT. Así, por ejemplo, la Ley 8051 y la Ley 8999 de Mendoza la definen como aquellos incrementos del valor inmobiliario, generados a través de las acciones públicas ejecutadas por el Estado y atribuibles a los esfuerzos de la comunidad, pero, percibidos por el sector privado, proclamando su recuperación en pos de la equidad territorial. Si bien, este tipo de plusvalía –y su recuperación– está sesgada a los ámbitos urbanos, la cual, es estudiada por Jaramillo (2011), entre otros especialistas.

De todo modo, hay estrechos lazos con la apropiación y explotación de los recursos naturales, específicamente con el recurso hídrico, en el que la plusvalía se vincula a la medida en que el agua es asignada en el territorio mediante concesiones de uso, y los predios beneficiados adquieren un importante valor diferencial que refleja la significancia económica que en los ambientes áridos o semiáridos presenta el recurso hídrico (Buccheri, 2022) –es decir, permite la captación de la renta absoluta de la tierra–. Para que se produzca dicha plusvalía se necesita de la propiedad privada de la tierra y de mecanismos de acceso legal al uso especial del agua de dominio público (Pinto y Martín, 2015).

Resultados

El valor económico de la tierra agrícola

En zonas áridas con desarrollos artificiales de riego, la observancia del valor económico de la tierra agrícola permite poner en relieve la importancia de disponer un derecho al uso del agua, siendo este un atributo que distingue a la tierra en ambientes donde el agua es escasa. Algunas de las maneras en que se refleja este fenómeno pueden ser:

El precio inmobiliario ofrecido para la compra-venta de terrenos agrícolas capta el valor actual de las rentas que genera la tierra. Es decir, la renta absoluta derivada de la existencia de la propiedad privada de la tierra y de la concesión de un derecho de agua que es inherente a la tierra –genera un diferencial en relación a la tierra no irrigada– y, por otro, la renta extraordinaria,

atribuibles a las condiciones diferenciadas de los terrenos. Por ejemplo, en el Valle de Uco los precios inmobiliarios ofertados se ubican entre 1 a 40 mil dólares la hectárea. Las "tierras con riego y viñedo nuevo" oscilan entre 15 a 40 mil dólares por hectárea, las "tierras libres con derecho a riego" entre de 10 a 15 mil y las "tierras vírgenes sin derecho a riego" se ubican entre 1 a 3 mil.

Otra forma, es la relación directa que existe entre el impuesto inmobiliario y el avalúo fiscal del bien inmueble, siendo éste la base imponible para el cobro del tributo y que resulta de la sumatoria entre el valor del terreno y el valor de las mejoras. La Agencia Tributaria Mendoza determina anualmente el impuesto inmobiliario y el avalúo fiscal del bien inmueble. Por ejemplo, en el Valle de Uco, entre los años 2007-2017, el avalúo fiscal de la tierra rural, sin considerar las mejoras, a valores en pesos corrientes mostró una brecha entre el 200 al 250% favor de la tierra con derecho de riego, dependiendo la cuenca.

Fundamentos y observancias de la recuperación estatal de la plusvalía territorial

La plusvalía hídrica se genera gracias a un acto administrativo estatal de asignación de derechos especiales de uso de agua a tierras desérticas, transformándolas en productivas. La misma es apropiada a favor del dueño de la tierra, generalmente sin mediar compensación alguna al resto de la sociedad por el uso de un bien del dominio público.

En el campo teórico, hay una notable convergencia entre los economistas de diferentes tradiciones, incluyendo tanto a representantes de la línea liberal como a los progresistas. La recuperación estatal de la plusvalía hídrica se fundamenta en los criterios de justicia y equidad territorial en pos de atenuar la distribución desigual de la riqueza.

Pero, no es usual que los sistemas normativos en Argentina impongan algún tipo de tributo que grave de manera directa esa mejora patrimonial. La excepción, se encuentra en el art. 257 del Código de Aguas de San Juan, que dispone el pago por única vez de una contribución económica-financiera vinculada al aumento del precio inmobiliario que implica la asignación de una concesión de aguas (Buccheri, Pinto, Andino y Llop; 2014).

Sin embargo, existen observaciones que relativizan su fundamento sustancial. Algunos consideran que la verdadera causa de la generación de la plusvalía inmobiliaria no sería la regulación territorial, sino, las condiciones que hicieron que el mercado atribuyera a determinado bien un precio en el marco de las limitaciones reglamentarias existentes. También, hay una sólida oposición en cuanto a la doble imposición en relación al impuesto sobre el valor inmobiliario que engloba el 100% del valor del predio y, por otro lado, por la existencia de tributos que ya captan o recuperan el costo de una obra pública, como lo es la contribución por mejora.

Sin desconocer que el derecho de uso del agua y las obligaciones que acarrea se enrola principalmente en las particularidades de la justicia distributiva y legal, no por ello el contenido de la justicia conmutativa debe ser plenamente olvidado. La ausencia de una contribución por la plusvalía que implica el otorgamiento de una concesión estatal de uso del agua colisiona con la existencia de una minusvalía reconocida vía indemnización, cuando esa concesión es revocada por el Estado, existiendo una situación de desigualdad al desconocer que el aspecto conmutativo del valor justicia genera una distribución desproporcionada entre lo que el concesionario recibe y devuelve, generándose una externalidad en favor del mismo al recibir de manera gratuita una concesión, pero desprendiéndose de ella de manera onerosa (Buccheri, Pinto y Andino, 2014; Buccheri, 2022).

En el caso de la plusvalía territorial la naturaleza tributaria en la que podría encuadrarse dicha aportación por plusvalía ha sido categorizada como un impuesto, en coincidencia con el derecho español que le asigna a la aportación por plusvalía urbana o municipal.

En este sentido, la naturaleza jurídica de la referida contribución económica-financiera podría calificarse como impositiva por su asimilación a la percepción de la plusvalía urbanística que regulan las normas de ordenación territorial (Pinto, Buccheri y Andino, 2017); aunque cuando se relaciona en forma directa a los costos de obras de ahorro de agua que permiten general nuevos usos resultaría una contribución especial vinculada a los beneficios derivados de tales obras (Pinto, Gennari, Riera, 2023).

Conclusiones y recomendaciones

Desde la perspectiva desarrollada, el tributo para la recuperación de la plusvalía de índole hídrica encuentra su justificación como instituto jurídico-económico que el Ordenamiento Territorial en Mendoza ha reconocido formalmente, con pleno potencial para, en primer lugar, equilibrar la relación de justicia distributiva entre lo que recibe el concesionario y lo que debería devolver en caso de que pierda la concesión y, en segundo, contribuir a equilibrar la relación de desigualdad entre los oasis y las áreas no irrigadas, en pos de la equidad territorial que pregonan el OT (Buccheri, 2022).

Actualmente, la plusvalía hídrica no está regulada sustancialmente en cuanto a su contenido ni se ha reglamentado su implementación, con excepción de ciertos desarrollos reglamentarios de la autoridad del agua que buscan que los nuevos usuarios contribuyan al costo de la generación de obras de eficiencia que permiten ampliar la oferta existente (Pinto, Gennari y Riera, 2023).

Referencias Bibliográficas

- Buccheri, M.** (2022). *Las regulaciones hídricas y la generación de valor en los oasis de la provincia de Mendoza. La plusvalía territorial como fundamento del régimen de acumulación actual. Periodo de análisis 1884-2017*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras, Mendoza, Argentina.
- Buccheri, M., Pinto, M., Andino, M. y Llop, A.** (2014). "El valor del agua y su incidencia en la configuración del territorio". *IFRH 2014-2do. Encuentro de investigadores en Formación en Recursos Hídricos*, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.
- Cueto, W. y Guardamagna, M.** (2011). "¿Hay políticas de Estado en la Argentina? Aproximaciones a un concepto". *X Congreso Nacional de Ciencia Política*, Córdoba, Argentina: Sociedad Argentina de Análisis Político y Universidad Católica de Córdoba.
- Gómez Orea, D.** (2001). *Ordenación del Territorio*. 1era. Edición, Mundi Prensa. Madrid, España.
- Gudiño, M. E.** (2015). "El Ordenamiento Territorial como política de Estado". *Perspectiva Geográfica, Vol. 20, No. 7, pp. 11-36*.
- Jaramillo, S.** (2011). "Fundamentos económicos de la participación en plusvalías". *Plusvalías Urbanas. Fundamentos económicos y jurídicos*, Bogotá, Colombia: Universidad Externado de Colombia, 329 pp.
- Jofré, J. y Ferreyra, M.** (2010). "Elementos regulacionistas para una aproximación al ordenamiento territorial". *Revista Proyección, No. 8, pp. 7-20*.
- Pinto, M., Gennari, A. y Riera, S.** (2023). *Nuevos derechos de uso de aguas públicas en cuencas agotadas. Regulación de mecanismos para ampliar la oferta hídrica*. En García Pachón, M., *Derecho de Aguas*, Tº X, Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Pinto, M. y Martín, L.** (2015). "Los mecanismos legales de acceso al agua en las provincias áridas del oeste argentino: principios y características comunes". *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, Vol. 47, No. 1, 13 pp.*

CIENCIA Y POLÍTICA. GESTIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN EL PIEDEMONTES DE MENDOZA

Victor Burgos, Mauricio Buccheri, Paula Salcedo, Santiago Ruiz Freites

Instituto Nacional del Agua – Subgerencia Centro Regional Andino – INA SCRA, Grupo Reducción de Riesgos a Desastres Hídricos, vburgos@ina.gov.ar

Introducción

El presente artículo describe los resultados alcanzados en un estudio aluvional, de carácter multidisciplinario, realizado sobre el piedemonte del Gran Mendoza y cómo fue la adopción de éstos por parte del gobierno provincial en el marco de la política pública sobre la ocupación de este frágil ecosistema.

Los impactos en la región se manifiestan en fenómenos como la vulnerabilidad al cambio climático, lo que a su vez representa riesgos sociales, especialmente para las poblaciones periurbanas, en aspectos clave como la seguridad alimentaria e hídrica.

En las políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático es necesario que la comunidad científica fortalezca su papel en los procesos de toma de decisiones, siendo este fortalecimiento un proceso complejo (Daza, 2021).

En Mendoza, esta experiencia de ciencia-política se suma a otros antecedentes vinculado al cambio climático: el Balance Hídrico provincial y el proceso de formulación de la Ley 8.051, de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo (Letelier, 2020).

Enfoque teórico y área de estudio

El presente artículo se enmarca en el enfoque conocido como “Diálogo ciencia-política” (Cartwright y Hardie, 2012) que refiere a la interacción y el intercambio de ideas y opiniones entre diferentes actores relacionados con la política y el estudio científico de los procesos políticos.

El área de estudio se ubica en la provincia de Mendoza, Argentina, en la zona comprendida entre los 32° 30' y 33° 15' de latitud S y 68° 15' y 69° 30' de longitud O. Abarca parte de los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz y Luján de Cuyo. Se extiende desde los 3.455 msnm hasta los 730 msnm y posee una superficie total de 1243 km².

Problemática aluvional y propuesta

El avance urbano no planificado hacia el piedemonte junto a otros cambios de usos de suelo (deforestación por tala indiscriminada de vegetación natural, consolidación de caminos, incendios intencionales, avance de la frontera agrícola, etc.), generan impactos hidrológicos que se reflejan en un aumento de caudales, velocidades de flujo y procesos de erosión.

En vistas de contribuir a un diagnóstico detallado de la problemática, y en consonancia con el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial, Mendoza, a través de la Agencia de Cambio Climático (ACC) y la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial (SAyOT) le encargó al Instituto Nacional del Agua (INA), en el marco del Proyecto de Cooperación Técnica GRT/MC 14 303-AR para Adaptación al Cambio Climático, estudiar los fenómenos torrenciales y el impacto producido por los avances no planificados, y proponer pautas y adecuaciones tanto técnicas como normativas para una adecuada gestión del territorio.

El esquema general del trabajo se dividió en cuatro componentes principales (Burgos et al, 2019): 1) Análisis Numérico mediante modelos Hidrológico, Hidráulico y Geomorfológico; 2) Análisis Multi-Escenario prospectivo; 3) Evaluación Multi-Criterio de Amenazas Aluvionales; y 4)

Propuestas Técnicas y Normativas.

El estudio permitió definir zonas con diferente grado de amenaza hídrica, proponer estrategias de planificación y pautas para lograr un Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (DUBI) permitiendo gestionar o regular la presión inmobiliaria, al proponer pautas de urbanización sustentable con enfoque de cuenca y urbanización adaptada que minimice los impactos generados.

Resultados del trabajo multidisciplinario

Entre los resultados más importantes se destaca que el avance urbano no adecuado al piedemonte es el que a priori produciría el mayor impacto en la zona, llegando a multiplicar hasta 6 veces más los caudales en comparación con una situación previa al desarrollo urbano (Burgos, 2021) y, por otro lado, el cambio en el clima tendría una menor incidencia sobre este fenómeno.

La identificación y evidencia de estos impactos, que las acciones antrópicas producen sobre un ecosistema frágil –tal cual es el piedemonte–, se integraron en diversos aspectos, representativos de esta amenaza aluvional, resultando un mapa con escala cromática (Figura 1) para indicar los distintos peligros aluvionales de la zona (Figura 2).

AMENAZA ALUVIONAL

Área de amenaza baja (verde)

El grado de peligro al que están expuestas las personas es bajo. Las construcciones y obras de infraestructura pueden sufrir daños en caso de eventos extremos. Se permite la ocupación bajo ciertos criterios mínimos que no agraven la situación aguas abajo.

Área de amenaza media (amarillo)

Las personas están en peligro si se encuentran fuera de sus viviendas. Pueden presentarse daños e incluso la destrucción de ciertas infraestructuras. Se permite la ocupación bajo ciertos criterios mínimos. Previamente a la ocupación, se deberán llevar a cabo obras de amortiguación tendientes a disminuir la exposición a la amenaza aluvional.

Área de amenaza alta (naranja)

Las personas están en peligro incluso dentro de sus viviendas. Las edificaciones corren alto peligro de ser destruidas. No se aconseja la ocupación permanente de estas áreas, por lo que el uso residencial se encontraría restringido. Es posible el desarrollo de actividades complementarias de bajo impacto ambiental (turismo, senderismo, etc), y las actividades pecuarias de tipo extensivo.

Área de amenaza muy alta (rojo)

Las personas, infraestructuras y cualquier tipo de ocupación están expuestas a verse seriamente afectadas frente a cualquier tipo de evento aluvional. Su desarrollo se encuentra sujeto a la ejecución de grandes obras de infraestructura o defensa aluvional.

Figura 1.- Referencias del mapa de amenazas aluvionales del piedemonte del AMM

El trabajo técnico arrojó como principales conclusiones:

- La existencia de un estado de vulnerabilidad ambiental considerable –teniendo en cuenta que la ocupación del territorio de manera no planificada y fuera de los términos establecidos en la legislación– genera procesos que afectan negativamente al ambiente y a la población.
- La difícil situación en las habilitaciones de infraestructura, como el acceso al agua y el tratamiento de efluentes cloacales que provoca la contaminación de las napas subterráneas que ocasionan los pozos.

c) Contemplando el régimen normativo vigente, y dentro de las soluciones planteadas, se presentó una propuesta de ocupación de la zona, para ser analizada y consensuada entre los cuatro municipios afectados y el Gobierno Provincial –a través de la Comisión Reguladora del Piedemonte y la APOT–. En líneas generales, la propuesta contempla reglamentaciones básicas tendientes a minimizar el impacto hidrológico causado por la expansión de la urbanización.

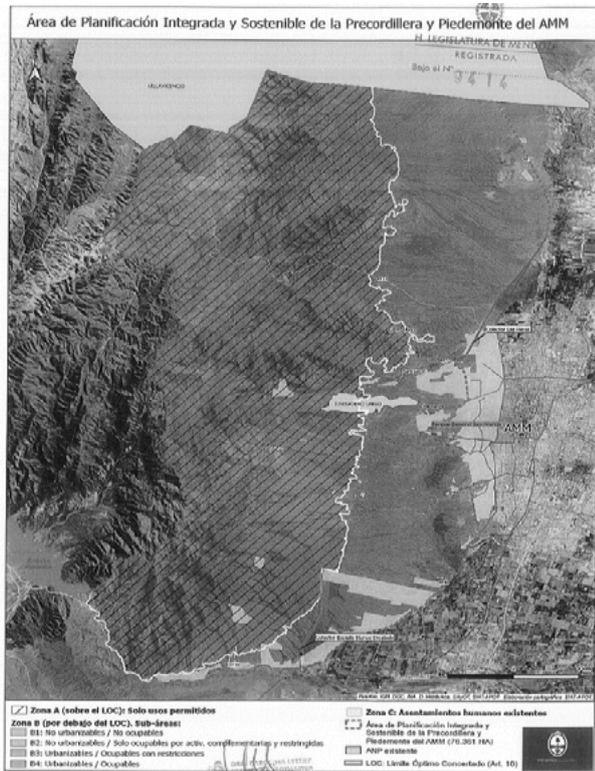


Figura 2.- Anexo III de la Ley 9414/22. Mapa de amenazas aluvionales del piedemonte del AMM y sus restricciones

Finalmente, además del mapa de amenazas aluvionales, se presentaron pautas de urbanización o restricción, tipificando obras de regulación pluvial no convencional, como trincheras de infiltración, reservorios de detención temporal, trampas de agua o indicando relaciones tendientes a regular por ejemplo la cantidad de movimiento de suelo permitido o la densidad de lotes (o superficie mínima de lote) en función de la pendiente, con el objetivo de disminuir la impermeabilización producida a medida que se avanza hacia aguas arriba.

Efectos en la gestión pública

Como premisa básica, el uso del mapa de amenazas permitió restringir en primera instancia, posibles propuestas de desarrollo urbano en zonas rojas y naranja (muy alta y alta amenaza aluvional), identificar zonas críticas, y/o priorizar medidas de mitigación en zonas urbanas ya consolidadas expuestas.

No obstante la desagregación espacial del análisis, la primer reacción del Gobierno fue la “Declaración de Emergencia Ambiental” de todo el piedemonte. La SAyOT en febrero del 2019 –a través del Decreto 219/19– decidió no otorgar factibilidad a nuevos emprendimientos hasta completar el estudio, entregado en abril de 2019. Esta restricción forzada y la paralización de obras no fue bien recibida por los pobladores de la zona.

A partir de la promulgación del Decreto 219/19 y el trabajo articulado entre la SAyOT, organismos del Estado y los cuatro municipios involucrados, se buscó actualizar la legislación del piedemonte y del procedimiento de evaluación ambiental, control y planificación del piedemonte.

En función de aquellos resultados científicos, la Provincia dispuso de herramientas técnicas de toda la región –inexistentes hasta el momento– para frenar una situación que desde hace décadas estaba produciendo impactos negativos en el ambiente.

Como resultado de este estudio, en octubre de 2022 se sanciona la Ley Provincial N° 9.414, cuyo objetivo es regular actividades en la Precordillera y Piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza para preservar su función ambiental y establecer estrategias de mitigación de impactos. Esta ley crea la Unidad Interjurisdiccional Piedemonte (UIP) como órgano colegiado para coordinar códigos urbanos y ambientales entre municipios intervinientes, estableciendo plazos de gestión para los municipios y la presentación de dictámenes adicionales en el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

Vale resaltar que el Límite Óptimo Concertado (LOC) establecido por la cota 1200 s.n.m. no fue propuesto en el estudio realizado, sino que viene de otras reglamentaciones previas y fue acordado con los municipios y la Provincia.

Sin embargo, lo más significativo fue la adopción de los resultados y las recomendaciones efectuadas en la asistencia técnica en referencia, en cuanto a la zonificación (Figura 2) y las pautas de manejo para lograr una urbanización sustentable en el piedemonte y reducir el riesgo hídrico aluvional.

Conclusiones y reflexiones finales

Al conocer la amenaza hídrica y tipificar algunas soluciones, se propiciaría una correcta gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos en la región, pudiendo esta metodología replicarse en otras áreas similares.

Al combinar el conocimiento científico con la toma de decisiones políticas informadas, se puede desarrollar una agenda efectiva que proteja a las comunidades más vulnerables y promueva la sostenibilidad a largo plazo. Este diálogo colaborativo debe tener en cuenta tanto los aspectos científicos como los sociales, reconociendo la interconexión y la necesidad de soluciones integrales.

La experiencia ha sido un claro ejemplo del llamado diálogo “Ciencia-Política”, demostrando cómo el aporte de un organismo científico desde lo técnico, es la base para el diseño de políticas públicas vinculadas al ordenamiento ambiental del territorio, en particular a la gestión de aspectos vinculados a los recursos hídricos. Política fundamental para la gestión del riesgo hídrico en el área, experiencia cuyas bondades pueden ser replicadas y/o adaptadas hacia otras zonas del país con similares problemáticas.

Referencias Bibliográficas

- Burgos V.H., Gärtner N. Salcedo A.P., Martínez L.J., Rapali, N.** (2019) “Análisis multicriterio de amenazas aluvionales al oeste del área metropolitana de Mendoza” en 14° Encuentro del International Center for Earth Sciences (ICES)
- Burgos, V.H.** (2021) “Impactos hidrológicos causados por urbanización en piedemonte del área metropolitana de Mendoza y propuestas sostenibles de mitigación” I Congreso Interuniversitario I+D+i Mendoza.
- Cartwright, N. y Hardie, J.** (2012). *Evidence-Based Policy*. Oxford University Press. ISBN: 9780199841622
- Daza Arango P, Le Coq JF.** (2021). *Interacción Ciencia-Política en el Ámbito de las Políticas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Experiencias y Lecciones de América Latina*. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture, and Food Security (CCAFS).
- Lettelier, M. D., & Dalmasso, C.** (2020). *La interfaz ciencia-política en torno al cambio climático en la Provincia de Mendoza, Argentina*.

LA CALIDAD DEL AGUA: SU REGULACIÓN EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Dra. Verónica Cáceres¹, y Dra. Clara Minaverri³

(1) Investigadora CONICET con sede en el Instituto de Investigaciones Jurídicas y Sociales "Ambrosio L. Gioja", Facultad de Derecho (UBA). Investigadora y Docente de la Universidad Nacional General Sarmiento. Docente en Universidad Nacional de Luján.

E-mail: vcaceres@campus.ungs.edu.ar

(2) Investigadora CONICET con sede de trabajo en el Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable. Docente de grado en la Universidad Nacional de Luján y de Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional y de la Universidad de Buenos Aires.

E-mail: clara.minaverri@gmail.com

Introducción

El acceso al agua potable es un derecho humano esencial para la vida reconocido a nivel internacional y consolidado en la jurisprudencia de la República Argentina (Echaide (2021) y Olmos Giupponi y Paz (2015)). El servicio público se sostiene mediante un conjunto de infraestructuras que se extienden en el territorio, con elevadas normas de seguridad en su construcción y diseño; con instalaciones y plantas potabilizadoras del agua cruda que luego se distribuye a los usuarios. La prestación se realiza en condiciones monopólicas con fuerte regulación y control estatal dado la relevancia que adquiere para la conservación de la salud y las condiciones de vida digna. Dentro de la regulación, la definición de los parámetros de calidad, especialmente en torno a elementos como arsénico (As), nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y flúor (F) han generado notorias controversias entre las prestatarias del servicio, los entes de regulación, y entidades de usuarios. El trabajo enfatiza la atención en la regulación jurídica de la calidad del agua que se distribuye mediante el servicio público en la provincia de Buenos Aires (PBA). La selección, como caso de estudio, se vincula, por un lado, por la presencia de distintas empresas que proveen el servicio en el marco de un complejo entramado institucional que atraviesa regulaciones del nivel nacional y provincial; y por otro, la jurisprudencia que ha tenido lugar a partir de demandas por la calidad. Se realiza un análisis de fuentes que incluyen la normativa vigente a nivel nacional y provincial de forma comparada y de un conjunto de fallos jurisprudenciales relativos a la calidad del agua.

Aspectos conceptuales y antecedentes

La calidad conforma un elemento activo de la regulación del servicio que apunta a estimular el comportamiento empresarial en un servicio

público monopólico que tiene elevada intensidad en el uso del capital y cierta merma en la calidad. Los controles sobre la fijación de los precios y los patrones de calidad del agua, químicos y microbiológicos son aspectos básicos para proteger los derechos de los usuarios. La calidad forma parte de una construcción social en un tiempo y lugar determinados de las relaciones económicas, políticas, sociales y culturales ligadas a la reproducción de las comunidades y expectativas de los consumidores en cuanto de los servicios (Reeves y Bednar, 1994). En la regulación se utilizan estándares en las legislaciones que establecen límites para los contaminantes que conforman un riesgo para la salud pública y su establecimiento considera la factibilidad en materia de recursos disponibles (Truque, 2011). En el país la regulación de la calidad involucra el Código Alimentario Argentino, ley federal 18284, que establece parámetros de calidad físicos en relación a la turbiedad, color y olor del agua; valores químicos en relación al PH; y un listado de sustancias inorgánicas. Los parámetros siguen de cerca las recomendaciones de la "Guía de Calidad para el Agua Potable" de la OMS.

Resultados y discusión

En la PBA se conformó a lo largo del siglo XX e inicios del siglo XXI un esquema institucional de provisión de agua que ha estado, como se destacó en una investigación anterior Cáceres (2016), afectado por un derrotero de decisiones volátiles, contradictorias, poco coherentes y descoordinadas. Por un lado, en 26 municipios del conurbano opera Aguas y Saneamiento Argentinos S.A (AYSA), el ente de control es el Ente Regulador de agua y saneamiento (ERAS), un organismo autárquico e inter-jurisdiccional. En los municipios del interior la prestación está atomizada y el control de la calidad y del servicio público de agua depende de la

Autoridad del Agua desde 2017. Entre las empresas que operan se destaca la empresa estatal provincial Aguas Bonaerense (ABSA), que provee el servicio público de agua en 53 municipios que incluye a Bahía Blanca, Lincoln, Nueve de Julio, General Madariaga, entre otros. A su vez, hay numerosas prestadoras locales como Sociedades del Estado en el Partido de General Pueyrredón a cargo de Obras Sanitarias Sociedad del Estado, direcciones municipales como en Junín, cooperativas, y concesiones privadas que proveen del servicio de agua en el interior. Así se define de forma variada parámetros que se vinculan con la calidad, por un lado, el Código Alimentario (acuerda, por ejemplo, el límite As 0,01 mg/l, los valores máximos de NO₃ de 45 mg/l y 0,10 mg/l de NO₂, los límites del F dependen de la temperatura media y máxima del año (artículo 982, Ley 18.284)). Por otro, cohabitan los parámetros de los marcos regulatorios que se sintetiza en la tabla 1.

Tabla 1.- Marcos regulatorios del servicio de agua en la PBA

Marco regulatorio	Operador	Organismo de control	Parámetros de calidad			
			AS	NO ₃	NO ₂	F
Ley nacional N° 26.100	AYSA	ERAS	0,05 mg/l	45 mg/l	0,10 mg/l	2 mg/l
Decreto 878/03 Ley 11820 anexo	ABSA OTRAS	ADA	0,05 mg/l	50 mg/l	3 mg/l	1,5 mg/l

Cabe señalar que la calidad del agua que se distribuye en el servicio público, más allá del prestador, ha dado lugar a distintas demandas, cuyo derrotero tiene como protagonista al Poder Judicial quién sentó jurisprudencia en fallos que reconocen el derecho humano al agua y las responsabilidades que le competen tanto al Estado nacional y a los estados subnacionales. Así dictaminó que la definición de la calidad de agua conforma una competencia concurrente entre el Estado nacional y los Estados subnacionales, que el Código Alimentario no colisiona con lo establecido en la Constitución Nacional respecto al dominio originario de los recursos naturales por parte de las provincias, que la prestación del servicio de agua requiere efectuarse “en armonía con la legislación nacional” y los marcos normativos que protegen el ambiente y a los usuarios (Suprema Corte de Justicia. Conde, Alberto José Luis y otros c/

Aguas Bonaerenses S.A. s/ amparo”). La judicialización del derecho al agua tiene antecedentes en la PBA en los municipios de Junín, Lincoln, Nueve de Julio, Carlos Casares, Chivilcoy, Merlo, etc. y alcanzó a dos fallos emblemáticos de la Corte Suprema de Justicia: Conde, Alberto José Luis y otro c/ Aguas Bonaerenses S.A. s/ amparo; y la Suprema Corte de Justicia de la Nación. Recurso de Hecho Kersich, Juan Gabriel y otros Aguas Bonaerenses S.A. Estos fallos (y otros en instancias anteriores) han enfatizado en el sistema internacional de derechos, incluyendo el PIDESC, la legislación nacional (especialmente el Código Alimentario) y provincial (los marcos regulatorios).

Conclusiones

En la PBA no existe acuerdo en los marcos regulatorios vigentes sobre lo que se considera agua potable y apta para consumo humano y los patrones de calidad pertinente, especialmente en torno a As. Esta situación expone a la población a incertidumbre y genera discriminación entre usuarios que pueden recibir agua de distinta calidad. Lo cual afecta derechos básicos del consumidor, aunque estos estén contemplados en el artículo 42 de la Constitución Nacional y lo dispuesto en la Constitución provincial en el artículo 38. La presencia de distintos operadores del servicio y agencias de control condiciona también la gestión del agua que se encuentra fragmentada institucionalmente en distintos actores que tienen responsabilidad en la provisión en donde se prioriza una mirada sectorial. Más allá de los fallos respecto a la calidad, en especial respecto a los niveles de As, los marcos regulatorios no se han adecuado al reconocimiento del agua como derecho y a las exigencias de calidad de la ley 18284.

Referencias

- Echaide, J. (2021). “El derecho humano al agua y las demandas contra los Estados en el marco post-pandemia del COVID-19” en *Revista Institucional de la Defensa Pública de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*, 11 (25), 322-343
- Minaverri, C. y Cáceres, V. (2016). “La problemática del arsénico en el servicio de agua en la provincia de Buenos Aires, Argentina” en *Revista internacional de contaminación ambiental*. N° 1, Vol. 32. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal México.
- Olmos Giupponi, M. y Paz, M. (2015). “La justiciabilidad del derecho humano al agua en Argentina y Colombia”. *Anuario mexicano de derecho internacional*, 15, 323-352.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES ANTE AMENAZAS NATURALES EN VOLCÁN, JUJUY, ARGENTINA.

Chalabe Susana^{1,4}, Sangroniz Maria², Prieto Villarroya³ Jorge y Guillermo Sadir⁴

¹ Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ingeniería, Tel 54 9 3884 69-2771, Argentina. ² Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Filosofía y Humanidades. Tel. 54 9 3884 69-2743, Argentina. ³Instituto de Recursos Hídricos. IRHi FCEyT Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. ⁴. Dirección Provincial de Recursos Hídricos de Jujuy. Tel. 54 9 3884 34-1670, Argentina. susana.chalabe@gmail.com, mhsangroniz@gmail.com, jorgeprietovillarroya@yahoo.com.ar, guillermoasadir@hotmail.com

Resumen

La Quebrada de Los Filtros, Depto. Tumbaya en la Prov. de Jujuy, reúne todas las condiciones naturales para que se produzcan movimientos de laderas ante la acción de un agente desencadenante como lo fue la precipitación ocurrida el día 10 de enero del año 2017. Este proceso geodinámico tuvo las peores consecuencias, ya que costó la vida de 4 personas y grandes daños materiales.

Una herramienta clave para la administración pública provincial es contar con un plan de gestión de riesgos de desastres, por ello, se ha procedido a identificar y cuantificar la relación existente entre la amenaza natural y la vulnerabilidad de la población y los elementos expuestos con el fin de determinar los posibles efectos en los diferentes escenarios de riesgos identificados y en función de ello, proponer las diferentes medidas de actuación y mitigación.

Factores condicionantes y desencadenantes

Podemos mencionar como factores condicionantes la litología con predominancia de rocas estratificadas (sedimentarias) y/o foliadas a esquistosas (metamórficas de bajo grado); las estructuras geológicas que favorecen el desarrollo de importantes desniveles locales, así como conjuntos estratificados con alto buzamiento coincidente con la pendiente de las laderas; la topografía; la red de drenaje con tributarios cortos y estrechos que concentran y favorecen el transporte del material; los depósitos de materiales que están listos para ser movilizados, el clima semiárido que presenta grandes amplitudes térmicas diarias; los fenómenos de meteorización física o desintegración de masas rocosas por variaciones muy amplias en las temperaturas extremas diarias y procesos de congelamiento intermitente y la vegetación escasa o nula que aún en caso de existir, es de baja cobertura espacial y sistema radicular somero, y por tanto no dispone de capacidad suficiente para la retención de los deslizamientos en masa de sedimentos y los suelos esqueléticos, poco maduros (o azonales)



Figura 1.- Subcuenca de la Qda. de Los Filtros y la localidad de Volcán

Los agentes desencadenantes son factores externos que generan una respuesta en el entorno en el cual se producen y son específicamente las precipitaciones intensas las que provocan la generación de elevados caudales líquidos y sólidos, conformando flujos hiperconcentrados de agua y sedimento.

Las lluvias de intensidades extremas se caracterizan a partir de tres variables que son: la lámina (P) o intensidad (I) de precipitación, su duración (t) y su frecuencia o recurrencia (T).

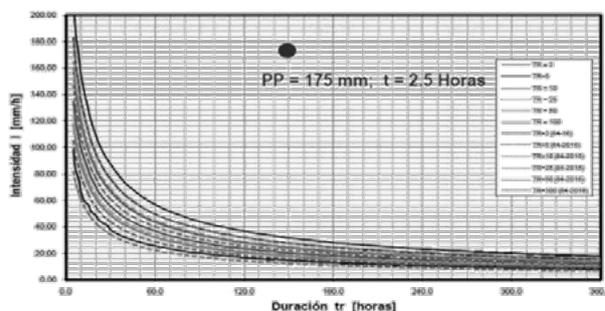


Figura 2.- Curvas IDF ajustadas a una expresión tipo Sherman considerando el evento 10/01/2017. Prieto Villarroya (2022)

La combinación de los factores condicionantes y desencadenantes, produjeron un escenario de desastre que se manifestó según el grado de exposición de la población y de los elementos expuestos.



Figura 3.- Alud 10 de enero del 2017 CONAE (2017)

Impactos

El desastre ocurrido en Volcán, en forma repentina e inesperada, causó sobre los elementos expuestos alteraciones intensas, representadas por pérdida de vida y salud de la población como dos personas fallecidas en su hogar y dos en su automóvil en la ruta entre Volcán y Barcena, cuarenta y dos familias evacuadas, ciento cuarenta familias con daños y pérdidas en sus viviendas y bienes, pérdidas totales en las viviendas ubicadas en las manzanas 1, 2, 13, 14 y 23 con lodo y piedras hasta 3 m. de altura, corte total de RN9 con más de 7m de altura de depósito de material del alud en sector de Baden en la Quebrada de los Filtros, tránsito internacional a Chile y Bolivia, suspendido, colapso del sistema cloacal, de agua potable por red y de electricidad por corte preventivo entre otros.

Esta situación significó la desorganización de los patrones normales de vida en la comunidad de Volcán y determinó la necesidad de asistencia y de intervención inmediata. Post desastre se ejecutaron obras de acondicionamiento hidráulico del cauce, un parque lineal, viviendas, redes cloacales y de agua potable, pavimentación, iluminación, puesto de salud y centro comunitario entre otros.

Plan de gestión de riesgos de riesgos de desastres hidrometeorológicos (PGRV)

El plan contempla:

a) Acciones de prevención para mitigar impactos:

Para tratar de reducir los daños físicos y los efectos indirectos o de pérdida de vidas, en el caso que se presente un nuevo evento con capacidad destructiva, se realizaron obras de ingeniería como las que se muestran en la figura.



Figura 3.- Alud 10 de enero del 2017 CONAE (2017)

b) Definición de Escenarios de riesgos:

La evaluación del riesgo consiste en la estimación del impacto probable de una amenaza sobre los elementos expuestos, por ello, el (PGRV) comprende la identificación de diferentes escenarios de riesgo asociados a las amenazas naturales.

Si son las precipitaciones intensas los agentes desencadenantes de un escenario de desastre, consideramos importante identificar la intensidad y/o duración que superen un umbral que podría generar aludes o remociones en masa. El inconveniente radica en la estimación de los umbrales, por lo que se propone utilizar un dato representativo obtenido a partir de una secuencia metodológica: 175 mm de precipitación en 2,5 horas. fueron el agente externo que produjo el alud del día 10 de enero de 2017 (Prieto, 2022). Este evento de lluvia resulta especialmente significativo, puesto que si no se tuviese constancia de su veracidad (el dato fue medido y validado en una estación convencional), y se aplicasen los pertinentes Test de Outliers, el mismo debería clasificarse como erróneo.

En base a esta definición de umbrales, se definieron tres escenarios de riesgo:

Escenario N° I Riesgo bajo o inexistente: Con precipitaciones normales, el drenaje desde la Quebrada de los Filtros no afectaría a la localidad de Volcán. En este escenario se considera que el riesgo de desastre ante una amenaza hidrometeorológica es inexistente, aunque pueden observarse “nubes blancas” – que causan preocupación - pero es la acción del viento sobre material suelto disponible en la cabecera de la cuenca. Quizás podría darse la interrupción en la zona del baden (Ruta N°9) por un corto tiempo aunque en general no se esperan pérdidas y de existir algún inconveniente podría ser resuelto por el municipio y otras instituciones provinciales/nacionales.

Escenario N° II Riesgo medio: En este escenario se estima precipitaciones que alcancen valores de 110 mm en 24 horas, especialmente, el impacto sobre los elementos expuestos podría ser menor a lo ocurrido en el año 2017 ya que las obras fueron realizadas para mitigar impactos y reducir daños en edificaciones, infraestructura y población. En este escenario, se localizó las zonas vulnerables y las infraestructuras críticas ya que no toda la localidad estaría expuesta. Se caracterizó cada uno de los elementos que están representados en los mapas de exposición según su vulnerabilidad.

Escenario N° III Riesgo alto o de desastre: En este escenario se estiman precipitaciones que superen significativamente los 150 mm en 24 horas. Especialmente, el impacto sobre los elementos expuestos podría ser igual o mayor a lo ocurrido en el año 2017 y se realizó una caracterización adecuada de cada uno de los elementos representados en los mapas de exposición según su vulnerabilidad.

Para la implementación del PGRV se organizaron los grupos de trabajo con la participación coordinada entre las instituciones provinciales y nacionales, la comunidad y las organizaciones no gubernamentales.

Acciones en el marco del PGRV

Se determinados diferentes acciones como el “Inventario y caracterización de los elementos expuestos” con el fin de localizar los elementos que se encuentran en el área de afectación de la amenaza según los escenarios de riesgos, se identificaron las viviendas unifamiliares, multifamiliar, vivienda social, espacios públicos y zonas verdes, sectores administración y seguridad, servicios sociales y vecinales, servicios públicos/privados, comercio minorista y prestación de servicios entre otros; se consensuó un único relevamiento a partir de los datos de salud, de catastro y de otras instituciones.

Se construyó una “Base de Datos Georreferenciados”, como una herramienta para la toma de decisiones en el plan de gestión de riesgo ante amenazas naturales, esta relaciona datos de diferentes organismos.

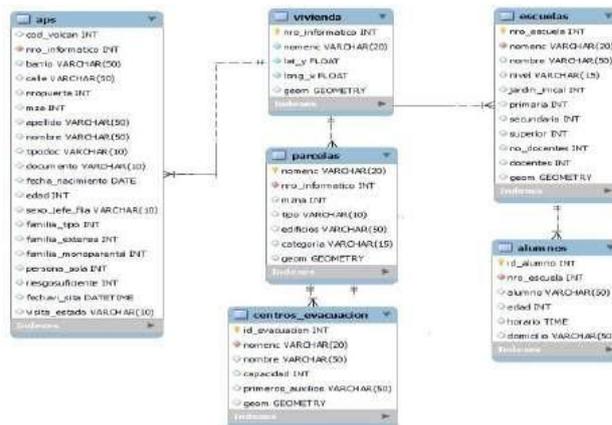


Figura 4.- Modelo de relaciones de Base de Datos Georreferenciadas. Sangroniz (2022)

Las tablas se diseñaron de manera que los datos estén organizados y estructurados, permitiendo una fácil consulta y acceso a la información. Además, se utilizaron relaciones entre las tablas para garantizar la integridad de los datos y evitar la duplicación de información.

Conclusiones

Con este PGRV se pretende estar mejor preparados, capacitados y organizados ante cualquiera de los escenarios descriptos.

Referencias Bibliográficas

CONAE (2017). *Imagen Spot_La_Quebrada*. Centro Espacial Teófilo Talavera.

Prieto Villarroya, J. (2022). *Estudio de corrección y control de un cauce torrencial en la Quebrada de Los Filtros (Jujuy)*. Tesis de Especialidad en Ing. Hidráulica. UNSE, pp. 49.

Sangroniz, M.H. (2022). *Base de datos georreferenciadas, una herramienta para la toma de decisiones en el plan de gestión de riesgo ante amenazas naturales. Volcán*. Tesis de diplomatura. pp 1-66

PROBLEMÁTICAS Y DESAFÍOS DE LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PRODUCCIÓN LECHERA

Cisneros Basualdo, N.E.^{1,2}, Touriñán, C.¹, Arrien, M.M.^{1,3}, Silva, S.^{1,3}, Dualde, M.⁴, Passucci, J.A.^{4,5}, Krüger, A.^{3,4,5}, Rodríguez, C.I.^{1,3}.

¹ Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). ² CICPBA. ³ CONICET. ⁴ Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN), UNCPBA-CICPBA-CONICET. ⁵ UNCPBA, Facultad de Ciencias Veterinarias, CISAPA. Argentina.
E-mail: ncisneros@fch.unicen.edu.ar

Introducción

La producción lechera requiere grandes cantidades de agua, la que se destina principalmente para el consumo de los animales, placas de refresco de leche y el lavado de las instalaciones. El agua debe ser de calidad óptima para la salud de los animales y para la inocuidad de los productos obtenidos.

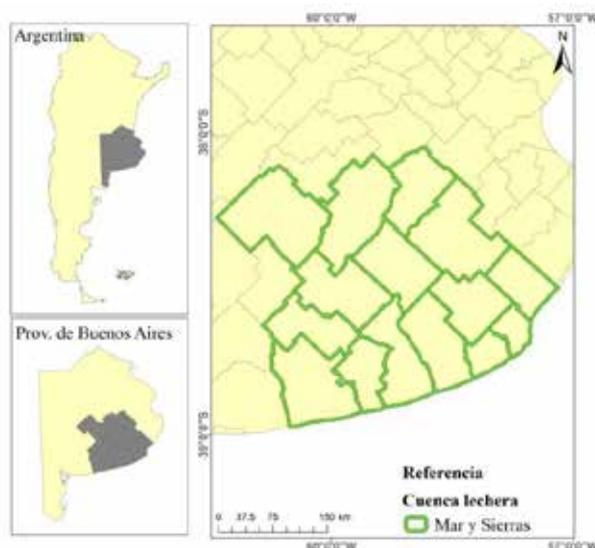
La inadecuada gestión del recurso hídrico puede generar su contaminación y afectar la salud animal con impactos sobre la producción y calidad de la leche, así como sobre su valor en el mercado. En los establecimientos productivos que se abastecen de agua subterránea, la calidad del agua puede verse afectada si los sitios de extracción y almacenamiento no están correctamente construidos o protegidos, y se encuentran a escasas distancias de fuentes de contaminación (pozos absorbentes, corrales de animales) (Herrero et al., 2009; Charlón et al., 2012; Rodríguez, 2014). Asimismo, la incorrecta disposición de las aguas residuales o de sus tratamientos puede constituir una amenaza para el ambiente y la salud (Steinfeld et al., 2006).

El objetivo del trabajo fue identificar las principales problemáticas que afectan la gestión del agua subterránea y la preservación de su calidad en la producción lechera. El propósito es brindar herramientas para la toma de decisiones hacia la gestión integrada del agua en la producción.

Materiales y métodos

En 2021 y 2022 se visitaron 20 tambos del centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires, localizados en la cuenca lechera Mar y Sierras (Figura 1).

Figura 1.- Ubicación de la cuenca lechera Mar y Sierras.



Se confeccionó una planilla de relevamiento de información para cada tambo. Mediante observación en campo (Valles, 1999) y consultas a propietarios y trabajadores, se relevaron datos productivos y se evaluó la infraestructura y la gestión del agua, así como la presencia de fuentes potenciales de contaminación. Se midió la profundidad del nivel freático en las perforaciones existentes. Se tomaron muestras de agua subterránea para análisis de calidad físico-química y microbiológica (APHA, 2012) y se caracterizó la disposición y tratamiento de efluentes.

Se utilizó una herramienta de Sistema de Información Geográfica (SIG) para la georreferenciación de los establecimientos, pozos de abastecimiento, puntos/áreas de disposición o tratamiento de residuos líquidos, así como la identificación de usos de suelo vecinos, topografía local y regional, entre otros.

A partir de la información obtenida, se identificaron las principales debilidades en la gestión del agua subterránea y del manejo de los efluentes generados en la actividad lechera.

Resultados

Las unidades productivas incluidas en el estudio poseen entre 40 a 1050 vacas en ordeño. Según la estratificación descrita por SENASA (2021), la mitad de los tambos se encuentra en el estrato de 251 a 500 vacas (Tabla 1).

Tabla 1.- Estratificación de los tambos en estudio según la cantidad de vacas.

Cantidad de vacas	Tambos	%
Hasta 50 vacas	1	5
Entre 51 y 100 vacas	2	10
Entre 101 y 250 vacas	3	15
Entre 251 y 500 vacas	10	50
Entre 501 y 1000	3	10
Más de 1000 vacas	1	5
Total	20	100

Todos los tambos se abastecen de agua subterránea mediante perforaciones que alcanzan el acuífero freático. El 80% de los tambos posee una perforación y el resto utiliza dos perforaciones. La mayoría de las bombas para la extracción (75%) son sumergibles, y en menor medida colocadas en superficie.

La profundidad de las perforaciones sólo fue conocida en 25% de los tambos, y los valores referidos se encontraron entre los 12 a 47 metros. En 4 de los tambos se observó inadecuada protección superficial, lo que puede permitir el ingreso de contaminación en forma directa desde la superficie.

La profundidad del agua subterránea se pudo medir en 14 sitios. Se detectaron valores entre 1,95 y 19,63 metros, indicando un

nivel freático somero. Notoriamente, la profundidad del nivel freático es inferior a 10 metros en 11 tambos.

A partir de las consultas, se identificó que los establecimientos no llevan a cabo mediciones ni registros de los caudales extraídos de las perforaciones, así como tampoco de los consumos de agua en las diferentes etapas del proceso productivo (por ejemplo: bebida, lavado, enfriamiento). El tiempo dedicado al lavado de instalaciones es de 30 minutos en la mayoría de los tambos, aunque 4 de ellos informaron tiempos cercanos o mayores a 1 hora.

Los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua subterránea indicaron valores de pH de 6,8 a 8,4 y de conductividad eléctrica entre 540 y 1030 $\mu\text{S}/\text{cm}$, acorde a los valores regionales. Las concentraciones de nitratos variaron entre 18 y 102 mg/L. El 25% de los tambos superó el valor de referencia para nitratos de 45 mg/L establecido en el Código Alimentario Argentino, y otro 25% presentó valores cercanos a dicho límite recomendado, entre 37,5 y 45 mg/L. Los análisis microbiológicos de agua subterránea evidenciaron la presencia de coliformes totales y *E. coli* en al menos una de dos muestras de 100 mL de agua (tomadas en distintas visitas) en el 80% y 50% los tambos, respectivamente.

Los efluentes generados en la actividad de ordeño, formados por excrementos de animales más agua de lavado, no reciben tratamiento en el 90% de los casos, y son derivados mediante canales cementados o zanjias en el suelo y dispuestos sobre el terreno en bajos cercanos con o sin formación de lagunas (30%), en zanjias (50%) o en cavas realizadas a tal fin (10%) (Figura 2). Sólo en 2 tambos se identificó un sistema de tratamiento con lagunas en serie, en uno de ellos formado por dos lagunas sin impermeabilizar y en otro por tres impermeabilizadas. En ambos casos, por rebalse, el efluente finaliza sobre el terreno.

Los sitios de vertido final de efluentes y las perforaciones para obtención de agua se encuentran separados a distancias inferiores a 50 m en 11 (55%) de los tambos, 7 de los cuales presentan distancias incluso menores a 25 metros. Esta situación de escaso distanciamiento entre las fuentes de agua subterránea y los sitios de disposición final pone en evidencia el riesgo de contaminación físico-química y microbiológica del agua subterránea que se utiliza dentro de la actividad productiva.



Figura 2. Vertido de efluentes en zanjias y cavas.

Conclusiones

A través de las consultas y observación en campo en 20 tambos de la Cuenca Mar y Sierras, se identificaron problemáticas comunes de índole técnica, económica, de concientización/comunicación que afectan la gestión del recurso y pueden impactar sobre su calidad. Se destacan problemáticas referidas a: a) Información y registros sobre el consumo de agua, el diseño de las perforaciones y los caudales extraídos; b) Infraestructura de captación, distribución y almacenamiento de agua; c) Diseño y protección de las perforaciones y localización con respecto a corrales y sitios de vertidos de efluentes; d) Diseño de sistemas de tratamiento de efluentes; e) Capacitación, asesoramiento y asistencia técnica sobre aspectos hidrológicos y ambientales de la producción; f) Conocimiento sobre la calidad del agua para la producción y el consumo humano.

En relación a este último aspecto, la mayoría de los tambos visitados no contaban con antecedentes sobre la calidad del agua, a excepción de un conjunto de 5 tambos con los cuales el grupo de trabajo ha desarrollado investigaciones previas (Cisneros, 2021; Tabera, 2021; Vuksinic et al., 2019). Por medio de indicadores químicos y microbiológicos, especialmente la concentración de nitratos y la presencia de coliformes totales y *E. coli*, se denotaron procesos de contaminación del agua en gran parte de los sitios muestreados.

Esta situación plantea desafíos para la gestión del agua en la actividad, los que requieren ser afrontados desde el enfoque de la gestión integrada de los recursos hídricos, con una visión ambiental y con la participación de todos los actores involucrados.

Referencias

- American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American Public Health Association.
- Charlón, V., Herrero, M., Cuatrin, A. (2012). Contaminación del agua subterránea por nitratos en sitios intensificados de predios lecheros. *Revista Argentina de Producción Animal* 32 (S1), 59.
- Cisneros Basualdo, N.E. (2021). *Evaluación ambiental de la actividad de tambo en la Cuenca lechera Mar y Sierras, provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctorado en Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Luján.
- Herrero, M.A.; Aguirre, G.; Camoletto, J.; Castillo, A.; Catracchia, C.; Charlón, V.; González Pereyra, V.; Goransky, R.; Korol, S.; La Manna, A.; Salazar, F.; Sardi, G.; Sharvelle, S. (2009). *Uso del agua, manejo de efluentes e impacto ambiental*. Informe presentado en las III Jornadas Internacionales para la calidad de leche (JICAL III), Buenos Aires, Argentina.
- Rodríguez, C.I. (2014). *Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil*. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata.
- SENASA (2021). *Caracterización de tambos bovinos*. Diciembre 2021. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/87-caracterizacion_tambos_bovinos_diciembre_2021.pdf
- Steinfeld, H. (2006). *La larga sombra del ganado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma.
- Tabera, A. (2021). *Evaluación de la calidad y la gestión del agua en establecimientos lecheros del partido de Tandil*. Tesis del Doctorado en Ciencia Animal. UNICEN.
- Valles, M. S. (1999). *Técnicas cualitativas de investigación social: Reflexión metodológica y práctica profesional*. Cap. 6: *Técnicas de conversación, narración*. Madrid: Ed. SINTESIS S.A.
- Vuksinic, E.; Rodriguez, C.I.; Tabera, E.; Cifuentes, M. R.; Díaz, A. A.; Cisneros Basualdo, N. E.; Ruiz de Galarreta, A. (2019). Groundwater management in an agro-industrial school in Argentina. *UNED Research Journal*, Vol. 11(2): 122-129.

PROPUESTA DE INDICADORES ECONÓMICOS, SOCIALES Y DE GOBERNANZA PARA EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO DE LA HUELLA HÍDRICA DEL AJO EN MENDOZA

Civit, Bárbara^{1,2}; Abbate, Vicente²; Almeida, Gustavo²; Buccheri, Mauricio²; Burgos, Víctor²; Cavagnaro, Martín²; Mariani, Adriana²; Ramirez, Carolina²; Ruiz Freites, Santiago²; Salcedo Ana Paula²

¹ Facultad Regional Mendoza/CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.

E-mail: bcivit@frm.utn.edu.ar

² Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino, Belgrano 210 (M5500FIF) Mendoza, Argentina.

Teléfono: (54 261) 428-8251. E-mail: huella-scra@ina.gob.ar

Resumen extendido

La huella hídrica podría intervenir en las decisiones comerciales y, a su vez, puede influir en la formulación de políticas hídricas coherentes y consistentes en los diversos sectores comerciales. El enfoque de la Water Footprint Network resulta muy adecuado como herramienta de apoyo en la planificación estratégica de ordenamiento de los recursos hídricos, y en políticas públicas relacionadas con la gobernanza y gestión del agua que, a su vez, colaboren en la implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UN, 2015). El propósito de este trabajo fue evaluar regiones productivas del cultivo de ajo (*Allium sativum*) en la Provincia de Mendoza, desde una perspectiva del desarrollo territorial sostenible, que integre la huella hídrica –como indicador ambiental de consumo de agua–, con dimensiones sociales, económicas y de gobernanza del agua, como soporte para la toma de decisiones en políticas hídricas.

Se propone, en este sentido, la aplicación de un enfoque multicriterio y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para construir un mapa final de zonas potenciales para el desarrollo sostenible del cultivo de ajo que permita potenciar la actividad agrícola en la región de estudio. Se aplicó la metodología del “Proceso de análisis jerárquico (AHP)” (Saty, 1980), que permitió realizar una ponderación de las variables involucradas en la evaluación. En Civit et al (2022) y Mariani et al (2023).

1. Descripción de las variables múltiples que conforman los criterios de decisión

1.1. Variables ambientales

Entre las variables ambientales que se han considerado, el consumo de agua asociado a la unidad productiva es la seleccionada. Esta incluye no solamente el volumen de agua verde y azul¹ sino que en el aspecto gris de la huella hídrica, se ha incorporado criterios de calidad de agua existentes en los reservorios y fuentes de agua para riego, con la finalidad de obtener un valor más representativo de las condiciones reales del sitio donde se produce la actividad. En este sentido, se ha analizado las concentraciones en agua de nitratos proveniente del uso de fertilizantes nitrogenados en perforaciones de abastecimiento. Se utilizó como referencia de valor de norma el establecido en la normativa de aptitud para consumo humano.

¹Se entiende por agua verde el agua que provienen de las precipitaciones retenida en el suelo o evapotranspirada, por agua gris, como el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes vertidos hasta las concentraciones permitidas, y por agua azul el agua superficial y subterránea que se evapora o evapotranspira (Hoekstra et al, 2011).

De este modo, se plantea una mejora en la metodología propuesta por Hoekstra et al (2011) al incluir una modificación al valor por default. Se ha encontrado hasta el momento el uso no adecuado de los fertilizantes a expensas de dañar potencialmente el ambiente.

Finalmente, se consideró los ACREs (áreas de cultivos restringidos especiales) como fuente de agua para el ajo.

1.2. Variables sociales

En una agricultura sustentable en términos sociales, el acento debe ponerse en la reducción de la pobreza, la obtención de seguridad alimentaria y la transformación de comunidades rurales en actores sociales capaces de determinar su propio desarrollo (Chiappe, 2002; Sepúlveda et al, 2003). Es decir, el desarrollo rural debe apuntar a resolver la persistencia de situaciones de pobreza e inequidad, vinculados a la reestructuración de la agricultura a nivel global. La producción agrícola en la provincia de Mendoza no ha sido ajena a estos cambios globales y, en la horticultura en particular, se incorporaron insumos y tecnologías que aumentaron en gran medida los rendimientos, motivados por la expansión del mercado vía exportación (Carballo, 2019). Es por ello que, entre los aspectos sociales involucrados en este análisis, se ha incluido el tamaño y localización del productor, oferta y demanda de mano de obra, y accesibilidad a infraestructura social.

1.3. Variables económicas y de gobernanza

Desde el punto de vista económico, se identificaron los precios promedios pagado al productor por tonelada de ajo vendido para los tipos morado, blanco y colorado, –expresados en dólares estadounidenses– y obtenidos a partir de los valores promedios anuales de mercado (sin impuestos) por tipo de ajo para el periodo comprendido entre el 2010-2011 al 2020- 2021, relevamiento realizado por el Instituto de Desarrollo Rural (IDR). A partir de los precios promedios por tipo de ajo se consideró como supuesto una retribución del 10% para el productor. El indicador obtenido se expresó en términos de productividad económica de agua (m³/USD) para las zonas analizadas.

También se consideró el acceso al agua y a otros aspectos de la gobernanza del recurso como la infraestructura y caminos, rutas de exportación, entre otros.

Se identificó los valores de mercado de la producción de ajo y sus retribuciones, y se lo expresó en términos de productividad económica de agua, en USD/m³ para las zonas analizadas.

También se consideró el acceso al agua y a otros aspectos de la gobernanza del recurso como la infraestructura y caminos, rutas de exportación, entre otros.

Estas variables ponderadas por la metodología AHP y espacializadas mediante un SIG, dieron origen a un mapa de asignación óptima del recurso hídrico para la actividad agrícola del ajo en la provincia de Mendoza (Figura 1) para las tres variedades de ajo (blanco, morado y colorado) y las cuatro zonas productivas de la provincia.

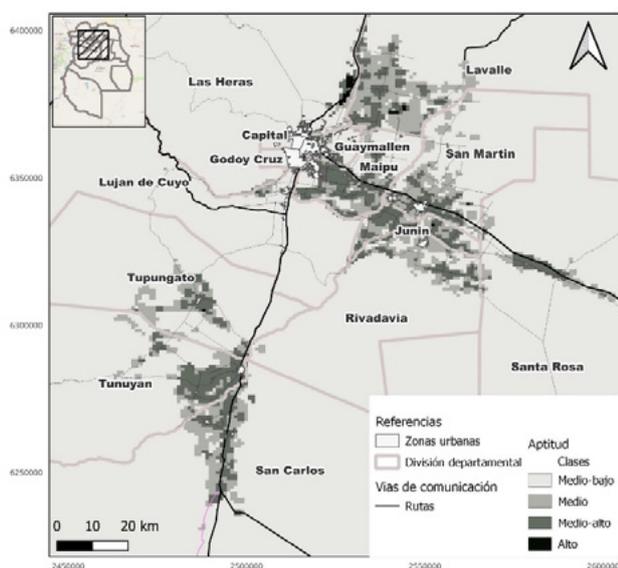


Figura 1.- Mapa de asignación óptima del recurso hídrico para la actividad agrícola del ajo en la provincia de Mendoza.

Los resultados obtenidos para el cultivo de ajo en la provincia de Mendoza, como caso de aplicación y validación de la propuesta metodológica, muestran la importancia de contar con información que integre aspectos socioeconómicos y ambientales plasmados espacialmente para la toma de decisiones a la hora de asignar el recurso hídrico en la actividad agrícola.

Referencias

- Carballo, O.** (2019). Concentración y resistencias en la producción hortícola del Oasis Norte y Centro de Mendoza. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Civit B, Mauricio Bucheri, Víctor Burgos, Martín Cavagnaro, Paula D'amico, Rocío Hernández, Luciano López, Adriana Mariani, Leandro Martín, José Pozzoli, Santiago Ruiz Freites y Ana P. Salcedo.** (2022) Análisis multicriterio y SIG como herramientas para la toma de decisiones geopolíticas en la gestión del agua. Libro de Actas del X Encuentro Argentino de Ciclo de Vida, pág 113 – 115, Córdoba, 3 y 4 de noviembre ISBN 978-987- 96657-7-0
- Chiappe, M.** (2002). Dimensiones sociales de la agricultura sustentable en Sarandon, S. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina, pp. 83-98.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M.** (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Mariani A, Martín L, Hernández R, Almeida G, Lipinski V, Civit (2023) Water footprint accounting of garlic produced in Mendoza, Argentina Volumen 40, No 4. Páginas 73-79 IDESIA (Chile)
- Saaty, T.** (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
- UN (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Sepúlveda, S., Rodríguez, A. Echeverri, R. y Portilla, M.** (2003). El enfoque territorial del desarrollo rural. IICA Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, San José, Costa Rica.

ORGANIZACIÓN Y RESILIENCIA DE SISTEMAS HÍDRICOS URBANOS PARA HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Crojethovich, Alejandro Diego*, Cánepa, Clarisa Mercedes, Álvarez, Leandro Ezequiel, Giulianetti, Micaela Soledad

Universidad Nacional Arturo Jauretche, Instituto de Ciencias Sociales y Administración, Programa de Estudios en Ambiente y Territorio. Av. Calchaquí 6200 Florencio Varela, Pcia. de Buenos Aires. C.P. (1888). Argentina
*acroje@yahoo.com

Introducción

El ambiente urbano es el referido a una forma particular de ocupación del espacio por una población; es decir, la aglomeración resultante de una fuerte concentración y de una densidad relativamente elevada, que tendría como correlato previsible una diferenciación funcional y social cada vez mayor. Incluye al ambiente natural generalmente antropizado de la ciudad, tales como, los elementos físicos de la naturaleza (relieve, clima, agua, aire, suelo, etc.), el ambiente construido, formado por las estructuras del espacio que son resultantes de la dinámica social sobre el territorio urbano (casas, comercios, rutas, vías férreas, aeropuertos, etc.), y por último, la sociedad que habita en ese conglomerado (con sus características distintivas como: nivel de ingreso, acceso a educación, acceso a los servicios de salud, impacto de la contaminación sobre la salud, etcétera).

Una manera de enfocar el estudio de la ciudad es considerarla como un sistema complejo, dado que en ella confluyen múltiples elementos -que intervienen en distintos procesos- y sus interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada (Crojethovich Martín y Herrero 2012).

En este trabajo se parte de considerar que el grado de resiliencia regional ante presiones como el cambio climático, es una función de la organización entre los diversos “actores” implicados en el uso y gestión del agua: sociedad, sistema productivo, instituciones públicas y los ecosistemas naturales (Figura 1). Para este trabajo se define como “actor” a quienes hacen uso del recurso tanto individual como colectivamente, en forma privada y/o pública, incluyendo también al medio natural.



Figura 1.- Aproximación teórica del trabajo. La resiliencia ante el cambio climático como función de la organización en el uso y gestión del recurso hídrico.

Área de Estudio

El arroyo Las Conchitas (Figura 2) se encuentra ubicado en la región nordeste del área metropolitana de Buenos Aires. Ocupa una superficie de 120 kilómetros cuadrados y su curso nace en el Municipio de Florencio Varela, atraviesa el Municipio de Berazategui y desemboca en el Río de la Plata. Posee una alta demanda multisectorial de recursos hídricos ya que a lo largo de su cauce concentra una gran cantidad de establecimientos industriales y emprendimientos florihortícolas, y un gradiente urbano rural muy marcado. En las últimas décadas las cuencas de la región han experimentado un acentuado proceso de ocupación,

que las transformó de cuencas predominantemente rurales en cuencas de características mayoritariamente urbanas.

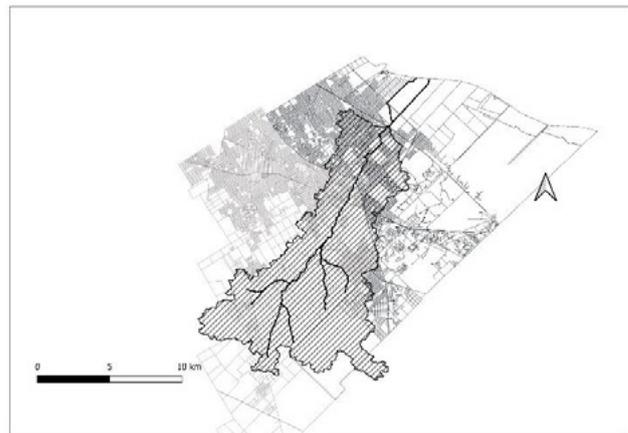


Figura 2.- Traza del arroyo las Conchitas en la cuenca (rayas transversales) en los municipios de Florencio Varela (gris claro) y Berazategui (gris oscuro).

Materiales y métodos

Para analizar la organización hídrica urbana en la cuenca del Arroyo Las Conchitas como un sistema complejo, se procedió a la caracterización socioecológica de la cuenca y su entorno en la Región Metropolitana de Buenos Aires bajo la perspectiva de un sistema complejo.

Para comprender mejor las condiciones y de sostenibilidad ecológica, vulnerabilidad, habitabilidad y gobernanza que hacen en conjunto a la seguridad hídrica, en el sistema complejo hídrico se consideraron cuatro subsistemas y a través de encuestas a la población local y muestreos de calidad del agua superficial en el arroyo San Juan se evaluaron los siguientes aspectos que involucran a la sostenibilidad:

- La sostenibilidad social, y la vulnerabilidad de la población y la habitabilidad.
- La sostenibilidad productiva y su competitividad.
- La sostenibilidad ecológica en la cuenca del arroyo.
- La sostenibilidad institucional y gobernanza.

Para evaluar la sostenibilidad social se realizaron 188 encuestas individuales a vecinos de los municipios de Berazategui y Florencio Varela, abarcando equitativamente las localidades de la cuenca del arroyo Las Conchitas. La encuesta tiene preguntas que permiten evaluar el nivel socioeconómico, el grado de interacción entre los vecinos, las empresas y la administración pública, presencia de enfermedades hídricas, etc.

Para evaluar la sostenibilidad ecológica se establecieron 5 estaciones de muestreo de agua superficial sobre el cauce del arroyo Las Conchitas, y en un tiempo aproximado de 9 meses se realizarán 2 muestreos por estación del año (otoño, invierno, primavera, verano) con un total de 8 campañas (entre Mayo de 2018 y Junio de 2019) (Cánepa et al. 2020). Los parámetros

utilizados para caracterizar la calidad del agua en el arroyo las Conchitas fueron los siguientes: oxígeno disuelto, conductividad, demanda Química de Oxígeno (DQO), pH y temperatura.

La información de los muestreos fue combinada con un análisis de los usos del suelo basados en imágenes satelitales procesadas en un entorno SIG y posteriormente se usaron herramientas estadísticas para evaluar la relación entre los usos del suelo y la calidad del agua del arroyo.

La información de las encuestas y los muestreos de calidad del agua fueron combinados en un índice que permite evaluar si existen relaciones entre esas variables. Se usó la estadística de escalado multidimensional (EMD) para evaluar las relaciones entre las variables. Se consideró que cuando los distintos usuarios del recurso hídrico de la cuenca se encuentran más relacionados positivamente, es decir que existe algún grado de organización entre los mismos, esto aporta a la resiliencia del sistema.

Los sitios donde existe una baja relación entre los encuestados, el entorno productivo y la calidad del agua (denotando una baja organización para el uso y gestión del recurso) tienen un valor más bajo del índice. Las respuestas cualitativas a las preguntas de las encuestas fueron cuantificadas siguiendo una escala numérica de 1 a 10. El mayor valor corresponde a una situación óptima desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Paralelamente, en conjunto con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Arturo Jauretche, se están desarrollando unas sondas multiparamétricas que permitirán medir en forma continua y en tiempo real parámetros de calidad del agua en la cuenca, aportando información para el análisis con inteligencia artificial de la resiliencia.

Resultados y discusión

En la Figura 3 se muestran los resultados de los muestreos ordenando las estaciones de los muestreos siguiendo un gradiente más rural (estación C11) a más urbano (estación C20). Se observa que la conductividad aumenta siguiendo el gradiente, el pH disminuye con el gradiente, mientras que el DQO aumenta en las estaciones C13 y C15 donde se encuentran usos del suelo de tipo industrial y urbano. El oxígeno disuelto no muestra un comportamiento aparente relacionado con el gradiente.

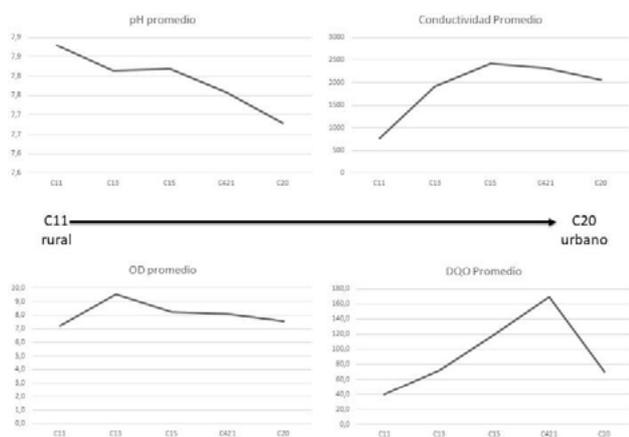


Figura 3.- Valores de los parámetros de calidad del agua medidos. Son promedios de las campañas realizadas por estación de muestreo. Fuente: Canepa et al. 2020.

El grado de organización entre los subsistemas (Figura 4) que representa en este trabajo una medida de resiliencia ante cambios como el climático.

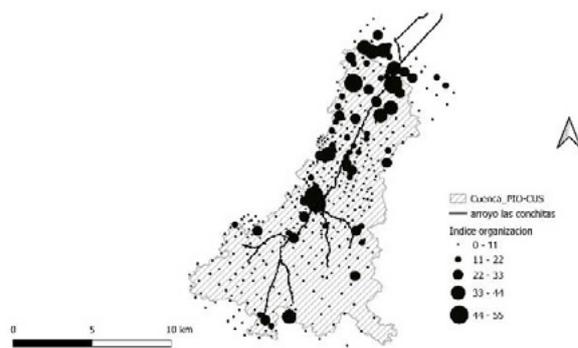


Figura 4.- Mapa del grado de organización entre los actores-usuarios del recurso hídrico. Los puntos marcan los sitios donde se efectuaron las encuestas. Círculos de mayor tamaño representan áreas con un mayor grado de organización.

¿Existe algún grado de organización entre los actores que utilizan el recurso hídrico en la cuenca del arroyo las Conchitas? Los resultados obtenidos indican que sí, existe un grado de organización entre la población, el sistema productivo y el institucional y de ellos con las condiciones de ecosistema hídrico.

Esta organización sin embargo es débil y lábil. Débil porque las interacciones son incompletas, fragmentadas en el espacio y probablemente en el tiempo, con una alta carga de incertidumbre, en algunos casos creando rivalidad por el uso de un recurso escaso y/o degradado, la interdependencia general entre los usuarios es así conflictiva, y no se hace un uso integral y sostenible del sistema hídrico.

La organización es lábil en el sentido que tanto la vulnerabilidad de la población para satisfacer sus necesidades básicas, como la capacidad del recurso para brindar servicios ambientales, la carencia de gestión del gobierno local (que se traduce en una falta de infraestructuras adecuadas), parece indicar que el sistema en conjunto tiene una baja resiliencia para enfrentar situaciones de estrés, tanto esporádicas como tendenciales, como los efectos esperados en la zona por el cambio climático.

Referencias

Cánepa, Clarisa y Alejandro Crojethovich (2022). “Análisis multiescalar de la relación entre la calidad del agua y los usos del suelo, en la cuenca del arroyo Las Conchitas, Argentina”. *Jornada. Jornadas de investigación UNAJ-2022*. Universidad Nacional Arturo Jauretche, Florencio Varela, Argentina.

Crojethovich Martín, A. y Herrero, A. C. (2012). Ambiente y Ecología. En: María Di Pace y Horacio Caride (Directores): *Ecología Urbana*, Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines. pp. 43-73

Crojethovich, Alejandro; Cánepa, Clarisa y Alvarez, Leandro (2022). “Organización y resiliencia de sistemas hídricos urbanos para hacer frente al cambio climático”. *Jornadas de investigación UNAJ-2022*. Universidad Nacional Arturo Jauretche, Florencio Varela, Argentina.

Cánepa, C. M., Álvarez, L. E. y Crojethovich, A. D (2020). “Una visión ecosistémica de la resiliencia urbana. La relación entre la calidad del agua y usos del suelo en sistemas hídricos”. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química* 2020. 6(6):141-146.

Osio, J., Mársico, D., Cappelletti, M., Morales, M. y Crojethovich, A (2020). “Desarrollo de prototipo de sonda multiparamétrica para la medición de la calidad del agua en arroyos de Florencio Varela y Berazategui”. En: *Libro de Resúmenes del IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Compilado por Alejandro D. Crojethovich, Andrea María Encina, Ramón Raúl Ríos y Mariano Ezequiel Piroti. 1a ed compendiada. 347 páginas. Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental. Libro digital. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN 978-987-46096-4-9

RIESGO DE INUNDACIÓN EN ASENTAMIENTOS POPULARES: COMPARACIÓN ENTRE RECIFE Y BUENOS AIRES

Fabrizio de Luiz Rosito Listo¹, Claudia Eleonor Natenzon², Keila Maria Bezerra de Lima Ferreira¹, Samia Nascimento Sulaiman³ y Danielle Gomes da Silva Listo¹

¹Universidad Federal de Pernambuco (UFPE)

Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 6º andar, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil. CEP: 50.670-901. +55-81-2126-8278.
fabrizio.listo@ufpe.br; keila.ferreira@ufpe.br; danielle.listo@ufpe.br

²Universidad de Buenos Aires (UBA)

Puan 480, Ciudad Autónoma de Buenos Aires-Argentina. C1406CQJ. +54-11-5287-2828.
cnatenzon@gmail.com

³Universidad Federal de Rio Grande do Norte (UFRN)

Campus Universitário UFRN - Lagoa Nova, Natal-RN, Brasil. CEP 59.072-970. +55-84-3342-2270.
samia.sulaiman@gmail.com

1. Introducción

En los países latinoamericanos, las poblaciones más vulnerables aún son los más afectados por el riesgo de desastres. Solo en Brasil, la población estimada en áreas con riesgo de inundación (y otros procesos) es de aproximadamente 8.266.000 en 825 municipios (Alvalá *et al.*, 2019). En ese contexto, Recife, capital de Pernambuco (nordeste brasileño), es la 5.ª ciudad brasileña con mayor porcentaje de habitantes expuestos al riesgo de inundación, especialmente en asentamientos populares (IBGE, 2018). Fue considerada la 16ª ciudad más vulnerable del mundo en relación a los efectos del cambio climático (IPCC, 2014). Presenta una población de aproximadamente 1 millón y 500 mil habitantes con un área de 218 km² y está compuesta por una serie de cuencas hidrográficas, con 99 ríos y arroyos que atraviesan toda la ciudad (IBGE, 2022). Entre estas cuencas, sobresale la cuenca del río Tejiipi, ya que ha registrado muchas situaciones catastróficas cuando ocurren inundaciones pluviales, debido a la presencia de ocupaciones a las orillas del río.

En Argentina, el 50% de los desastres con pérdidas socioeconómicas ocurrieron en áreas inundables que resultaron del proceso histórico de desorganización espacial sobre las grandes áreas de llanuras, especialmente las áreas pampeanas (Maiola *et al.*, 2003; Gatti, 2017). Solo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) se registraron 174 inundaciones pluviales entre 1970 y 2015 (Gatti, 2017; Ríos y Caruso, 2021). En estas zonas, también se ubican los asentamientos populares en condiciones muy precarias. Aproximadamente el 5,7% de la población porteña vive en un de los 15 barrios informales de la ciudad (INDEC, 2010). En este contexto, la Villa 21-24 (al sur de CABA) se caracteriza por ser el asentamiento popular más grande tanto en términos territoriales (más de 70 hectáreas) como poblacionales (54.200 habitantes), por lo tanto, bastante representativo de condiciones vulnerables (INDEC, 2010; Sañudo, 2021). Así, el objetivo de este artículo es realizar un análisis comparativo de los aspectos que aún hacen catastróficos los eventos de inundación pluvial en ambas ciudades, desde un enfoque participativo.

2. Materiales y Métodos

Para el análisis comparativo, seleccionamos un asentamiento popular representativo de cada ciudad: la Villa 21-24 (CABA) y la “Comunidad de Coqueiral” (Recife). Los autores realizaron actividades preparatorias, tomaron contacto con las comunidades, fueron los moderadores y capacitaron a los vecinos, registraron y sistematizaron los resultados, que fueron entregados a los participantes.

En gabinete, se dividieron las áreas de riesgo en sectores para identificar el número de vecinos expuestos al riesgo de inundación. En la Villa 21-24, fue aprovechada la sectorización propuesta por la Dirección General de Estadísticas y Censo (GCBA), en 2015. Sin embargo, debido a la dinámica de las comunidades informales a lo largo del tiempo, fueron necesarias

algunas actualizaciones, utilizando criterios propuestos por Carvalho *et al.* (2007), tales como (i) pendiente y (ii) posición de la ocupación en relación con el arroyo. Así, se definieron 27 sectores de riesgo. Los mismos criterios se utilizaron en la Comunidad de Coqueiral, en la que fueron delimitados 11 sectores, en base de trabajos propios.

Finalmente, realizamos un taller participativo con los vecinos de las áreas seleccionadas, a fin de lograr la participación popular, utilizando la metodología propuesta por Barón y Colombia (2005). En CABA el taller se realizó en diciembre/2022 (bachillerato República de Haití) y en Recife, en abril/2023 (Iglesia Bautista Nacional de Coqueiral). Para los talleres fueron convocados solo vecinos adultos y residentes de los asentamientos, con la ayuda de líderes comunitarios, contactados por el CIDAC (Centro de Innovación y Desarrollo para la Acción Comunitaria, FFyL, UBA) y la Defensa Civil de Recife.

Las actividades fueron previamente preparadas a partir de los siguientes materiales: impresión de imagen satelital que contiene los sectores de los asentamientos en tamaño grande colocada sobre una base de corcho (es decir, presencia de un mapa base “técnico”) y disponibilidad de alfileres de diferentes colores, de los cuales cada uno equivalía a la leyenda previamente establecida para cuestiones constructivas y ambientales, así como positivas y los deseos comunitarios. Después de explicar las instrucciones iniciales, cada grupo de vecinos puede, cada uno a su vez, reconocer su vivienda en la imagen, iniciar su informe señalando en el mapa base qué problemas, temas positivos y deseos existían y dónde se ubicaban.

3. Resultados y Discusiones

Las dos áreas seleccionadas se ubican en planicies aluviales y terrazas fluviales de ríos y arroyos que las atraviesan. Son altimétricamente bajas, con muy poca pendiente, influidas por acción de los efectos de las mareas y con altas precipitaciones producidas por “Ondas del Este” en la Comunidad de Coqueiral (Molion y Bernardo, 2002), y el pampero húmedo y las sudestadas en la Villa 21-24 (Lohigorry *et al.*, 2022).

Existen, en ambos, conflictos entre el uso del suelo y las debilidades naturales mencionadas. Los grupos sociales más vulnerables aún sufren las peores consecuencias de las inundaciones, que alcanzan dimensiones catastróficas. Tienen problemáticas equivalentes.

Los dos talleres tuvieron una duración aproximada de tres horas y contaron con un grupo heterogéneo de vecinos. Las consignas brindadas no presentaron mayores dificultades para que ellos reconozcan sus viviendas en la imagen satelital, para señalar los problemas y los aspectos positivos, así como los deseos. Además, no se observaron conflictos dentro de los grupos.

En la Villa 21-24, los problemas encontrados más significativos fueron: (i) falta de agua adecuada para el consumo; (ii) suelo

desnudo; (iii) escape de aguas residuales por rotura de cañerías, con varios puntos de acumulación, muchas veces contaminados que, sumado a los muchos sectores impermeables, contribuyen al riesgo de inundación; (iv) presencia de canaletas obstruidas (zanjas) que, si bien deberían actuar en el drenaje de aguas superficiales, debido a la ausencia de mantenimiento, agravan el problema (inundaciones); (v) deficiencia en los sistemas de alcantarillado y cloacas; (vi) presencia de basura cercana a las orillas del río con posibilidad de contaminación del agua, proliferación de vectores y transmisión de enfermedades; (vii) ausencia de redes de distribución de energía eléctrica adecuadas y riesgo eléctrico (cables enredados y redes clandestinas); (viii) contaminación química, especialmente de metales pesados en los sectores cercanos al río Matanza-Riachuelo y (ix) la falta de presencia de la Defensa Civil (DC) en el barrio.

En cuanto a los aspectos positivos, se señaló la presencia de canchas deportivas, comedores, escuelas, iglesias y plazas, que requieren su mantenimiento y ampliación. También se citó la presencia de dos puntos de abrigo en caso de inundaciones. Finalmente, con respecto a los deseos de la comunidad, se informó la necesidad de una mejor red de distribución de energía eléctrica, dotación de agua potable, mejora en los sistemas de alcantarillado, espacios verdes con vegetación adecuada y plazas, así como servicios básicos de infraestructura.

En la Comunidad de Coqueiral, los vecinos señalaron la existencia de una gran inseguridad en los días de fuertes lluvias. En cuanto a los principales problemas (muy parecidos a los indicados en la Villa 21-24), reportaron: (i) la gran cantidad de basura (traída incluso por el drenaje) que genera como consecuencia el aterramiento de los ríos y proliferación de vectores (enfermedades, como el dengue) y alimañas; (ii) el riesgo eléctrico durante episodios de inundación (incluyendo víctimas) debido a redes clandestinas; (iii) la precariedad de los sistemas constructivos (viviendas); (iv) la existencia de conventillos en situaciones muy precarias; (v) la pérdida de bienes afectivos y económicos después de las inundaciones y (vi) la ausencia de una política de vivienda adecuada (reforzaron que la relación con el poder público, en general, es muy frágil).

En cuanto a los aspectos positivos, se señaló la presencia de refugios temporales en caso de inundaciones, con el apoyo de la DC; colaboración y ayuda mutua entre la comunidad en situaciones de crisis; realización de simulacros continuos por parte de la DC con instalación de vías de escape (aunque precarias); existencia de escuelas e iglesias y servicios de alimentación (seguridad alimentaria). Con respecto a los deseos, muchos manifestaron explícitamente el deseo de vivir en otro barrio y, los que deseaban quedarse, señalaron la necesidad de mejorar la infraestructura local.

4. Consideraciones Finales

El principal aporte de este trabajo es mostrar cómo los pobladores, antes apartados por ser considerados inexpertos, pueden participar activamente en el reconocimiento de los problemas y temas positivos del lugar donde viven, siempre y cuando esten involucrados mediante metodologías claras y efectivas.

Las metodologías participativas promueven la autonomía en las comunidades. Se espera que los vecinos usen las técnicas aprendidas para que, junto a las DDCC/ONGs/líderes comunitarios, interactúen para la reducción de riesgos de desastres. Los mapeos digitalizados le dan a la comunidad evidencias que fundamentan sus reclamos ante las autoridades, trascendiendo los límites de los barrios populares.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires por financiar el Proyecto n°. 20620190100007-BA y al Consejo

Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CONICET) por financiar los Proyectos 405983/2021-2 y 200378/2022-8.

6. Referencias Bibliográficas

Alvalá, R.C.S., de Assis Dias, M.C., Saito, S.M., Stenner, C., Franco, C., Amadeu, P., Ribeiro, J., Souza de Moraes Santana, R.A. y Nobre, C.A. (2019). “Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system.” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 1-14.

Baron, C.G. y Colombia, E. (2005). *Barrios del mundo: historias urbanas – la cartografía social...pistas para seguir*. Primer Encuentro Internacional Barrios Del Mundo. Recuperado de: http://www.extension.unc.edu.ar/garciabaron_colombia.pdf. (Consulta: 19-12-2022)

Carvalho, C.S., Macedo, E.S. y Ogura, A.T. (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades y Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 176 p.

Gatti, I.A. (2017). *Las inundaciones y la Gestión de Riesgo en la ciudad de Buenos Aires. Análisis de las medidas no estructurales ante inundaciones en las últimas décadas*. Mauritius: Editorial Académica Española, 46p.

IBGE (2018). *População em áreas de risco no Brasil*. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 91p.

IBGE (2022). *Censo Brasileiro de 2022*. Recuperado de: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. (Consulta: 19-07-2023)

INDEC (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-10-02-004-2010>. (Consulta: 01/02/2023)

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

Lohigorry, P., Ruiz, J. y Vidal, L. (2022). *Caracterización de eventos altamente precipitantes asociados al proceso de lluvia cálida en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2454>. (Consulta: 19/07/2023)

Maiola, O.C., Gabellone, N.A. y Hernández, M.A. (2003). *Inundaciones en la región pampeana*. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 281 p.

Molion, L.C.B. y Bernardo, S.O. (2002). “Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro.” *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17, 1-10.

Ríos, D. y Caruso, S. (2021). “Humedales, riesgo de desastres y cambio climático en la Región Metropolitana de Buenos Aires. Entre imaginarios geográficos, conflictos ambientales y políticas públicas.” *Punto Sur*, 5, 41-63.

Sañudo, M.S.G. (2021). *Acceso desigual al agua. En hogares y espacios comunitarios de la Villa 21-24, CABA*. Ciudad de Buenos Aires: SUMANDO Argentina, 36p.

LA INVERSIÓN EN ESTUDIOS HIDROLÓGICOS-HIDRÁULICOS INTEGRALES DEBE SER PARTE DE LA INVERSIÓN EN OBRAS ESTRUCTURALES

Federico Derman, Patricia Graciela Ruggeri y Raúl Alberto Navarro

Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe, Argentina
Juan Manuel de Rosas 847 – 2000 Rosario, 0341 4721584 fderman@santafe.gov.ar, patricia_ruggeri@hotmail.com, rnavarro@santafe.gov.ar

Introducción

La Laguna de Melincué en el Departamento General López, al sur de la Provincia de Santa Fe forma parte de una cuenca endorreica y ha generado importantes perjuicios tanto en la producción agropecuaria como en la zona urbana al haber crecido de manera importante en los períodos húmedos pasados.

Desde la década de 1940 se han venido ejecutando diferentes obras para derivar caudales, para proteger las áreas urbanas y para sacar de manera continua caudales por bombeo.

Durante el problemático período húmedo de comienzos de los años 2000, se ejecutó la primera obra de bombeo que tuvo problemas de mantenimiento y no dio los resultados permanentes esperables. Este hecho generó la construcción de un nuevo sistema de bombeo más robusto que ya se encuentra en funcionamiento.

Por otro lado, se solicitó otra obra de protección urbana que disminuye el aporte de caudales a la laguna, pero fundamentalmente impide su paso por la zona poblada lo cual cambió el escenario de diseño de este segundo sistema de bombeo.

Las obras se van ejecutando, pero no se van evaluando los resultados que brindan de manera sistemática lo cual permitiría obtener una mejor visión del comportamiento del conjunto de acciones estructurales.

Un estudio integral de actualización permitiría definir nuevos escenarios de diseño menos extremos, por ser más reales, con los cuáles se podrían readecuar algunas de las estructuras existentes disminuyendo las cotas de los terraplenes de cierre.

Un proceso continuo de monitoreos hidrológicos e hidráulicos asociados a modelaciones matemáticas del sistema hidrológico completo permitiría ir modificando los escenarios de diseño de las nuevas obras que se pudiesen plantear y podría aportar sustancialmente a la revisión y/o readecuación de las obras ya ejecutadas.

Las Obras Ejecutadas

Desde los comienzos de los problemas generados por el crecimiento de la laguna se realizaron distintos tipos de obras.

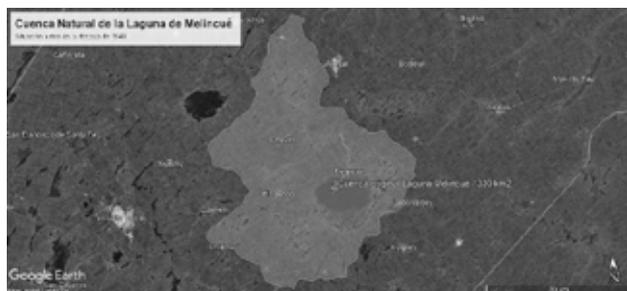


Figura 1.- Cuenca Natural Laguna de Melincué

En los años 40 se tomó la primera acción sobre la cuenca que consistió en proyectar el Canal San Urbano que trasvasó los aportes de un 45% de la cuenca norte de la laguna para

recurrencias bajas. Para recurrencias importantes, se mantenía un umbral que permitía el acceso de caudales hacia la laguna pasando previamente por la zona urbana. Debido a esto se diseñó un terraplén de defensa con estación de bombeo. El sistema no dio los resultados esperados para el nivel de crecimiento que tuvo la laguna, ya en este siglo, debido a los períodos húmedos extremos ocurridos y a los cambios en el laboreo y el trabajo agrícola, unidos a la falta de planificación urbana que no controló la forma en que se fue expandiendo el ejido.

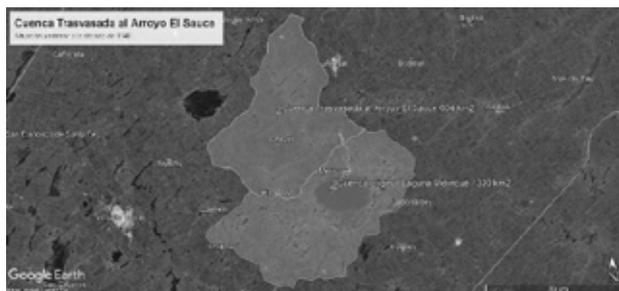


Figura 2.- Cuenca Norte Trasvasada al Arroyo El Sauce

Así fue que debieron rediseñarse los terraplenes de defensa e incluso modificarse sus trazas dado que se había continuado con el desarrollo urbano por fuera del cierre existente. Paralelamente se construyó un sistema de bombeo constituido por un canal de 11 kilómetros de longitud y dos estaciones de bombeo para elevar una altura total aproximada de 10 metros. El sistema de bombeo instalado no fue el adecuado para las exigencias de funcionamiento y también hubo problemas de mantenimiento que llevaron a tomar la decisión, cuando ya los equipos habían alcanzado un estado que no convenía seguir invirtiendo en ellos, de reemplazarlos por otros más adecuados construyendo también todas las instalaciones nuevas. Estas tareas fueron haciéndose durante este último período de sequía por lo cual las nuevas instalaciones no pudieron ponerse aún a prueba.



Figura 3.- Canal de Bombeo y Estaciones Elevadoras

En mayo de 2017 se produjo otra importante inundación de la localidad a partir de ingresos de agua provenientes de los desbordes de la cuenca alta que trasvasa hacia el Arroyo El Sauce. Esto se produjo incluso luego de haberse ampliado la sección de puentes paralelos sobre ferrocarril y ruta provincial con el consiguiente incremento de la capacidad de transporte del Canal San Urbano. Sumado a ello, la ruta provincial que separa y en cierta manera protege al pueblo del crecimiento de la laguna, fue amenazada de ser superada por las aguas por lo que se tomaron arduas medidas de emergencia colocando una barrera de bolsas de suelo y arena a lo largo de su traza. El oleaje agregó un

problema más. A partir de estos hechos, la Comuna solicitó la ejecución de otras dos obras: la construcción de un terraplén de defensa al norte de la localidad que con alta recurrencia impida el paso del agua desde la subcuenca norte, por un lado, y acciones sobre la ruta provincial para que no vuelva a cortarse. La primera de las obras está siendo ejecutada y para cubrir el segundo objetivo, se decidió ejecutar otro terraplén al sur de la ruta provincial, dentro de la zona de laguna que había estado inundada y que correspondía a traza urbana. Esta segunda obra también está siendo ejecutada.



Figura 4.- Terraplén de Cierre de Subcuenca Trasvasada

Tanto el proyecto del terraplén de cierre urbano como el terraplén de control de los ingresos de la cuenca norte como el terraplén de protección de la ruta provincial fueron desarrollados tomando como condición de borde la situación crítica vivida en los últimos 40 años, situación que no tenía en cuenta la existencia de un sistema de bombeo continuo que permitiese ir regulando los niveles de la laguna en función de los pronósticos climáticos y que considera los ingresos de caudales provenientes de la cuenca norte, la cual ya estaría casi completamente independizada.



Figura 5.- Terraplenes Urbanos y Ruta Provincial

Este hecho muestra dos cuestiones, una es que no se ha tenido en cuenta que el nuevo sistema de bombeo deberá ser mantenido como debe ser, por lo cual deberá funcionar correctamente, considerando que semejante inversión realizada por el Estado dará sus frutos y debe ser un alivio para la población y otra es que no se conocen adecuadamente los resultados que darán, hidráulicamente hablando, todas las acciones llevadas a cabo sobre la cuenca.

Es de presuponer que el conjunto de obras en funcionamiento ante el escenario adoptado de diseño, de una respuesta holgada respecto a la esperada. De ser así, la verificación de estos dichos permitiría realizar una revisión de las dimensiones de aquellas obras que no son determinantes en el funcionamiento del sistema hídrico de protección contra inundaciones. Las dos partes que deben responder a su capacidad máxima ante cualquier evento son el canal con sus estaciones de bombeo más el terraplén de detención de los aportes provenientes de la cuenca norte trasvasada. El resto de las obras que son los terraplenes oeste, norte y este de protección urbana más el terraplén sur de

protección de la ruta provincial, podrían ser reevaluados y tal vez re diseñados en caso que se determine que el escenario de diseño empleado para ellas no se producirá. Los beneficios que está evaluación permitirían serían del tipo ambiental y dentro de ellos específicamente a aquellos referidas a la relación de la zona urbana con su entorno. Los terraplenes generalmente son vistos como barreras visuales no adecuadas ya que normalmente, por cuestiones económicas, para evitar o reducir al máximo los costos de expropiación, son ejecutados siguiendo las trazas de calles públicas existentes en el catastro urbano y dichas calles en general son frentistas a casas. Es común escuchar críticas de los beneficiados por los terraplenes que no quieren abrir sus puertas y toparse con un montículo, por más intervenido arquitectónicamente que esté.

Una opción que fue evaluada para proteger la ruta, de gran importancia en la conexión este oeste del sur provincial, fue levantar su traza para utilizarla como defensa. Se evaluó la obra que implicaría y se concluyó que su costo superaría al del mantenimiento de la traza actual más la construcción y mantenimiento de un nuevo terraplén en suelo compactado con protección contra el oleaje. Esta adopción permitiría, en caso de concluirse a partir de la realización de un estudio hidrológico hidráulico integral del funcionamiento de la cuenca completa, que los terraplenes podrían ser más bajos, la reducción de la obra a un costo aceptable, cosa que, de haber sido construida la ruta pavimentada a la cota de los terraplenes actuales, no podría haber sido disminuida dicha cota con costos aceptables una vez ejecutada. El resto de terraplenes también podrían ser modificados con costos mínimos.

Las emergencias hídricas muchas veces tienen factores varios que las causan y la necesidad de resolución inmediata y la obligación de atender los reclamos de los afectados y escuchar sus análisis sobre los motivos que las generaron, elemento, este último, sumamente importante para la resolución del conflicto, reduce el tiempo para los análisis técnicos necesarios para la toma de decisión.

Pero los períodos de zozobra son precedidos por otros de calma y reflexión y en estos últimos es donde se debe el técnico abocar a la profundización de estudios y a la revisión de lo actuado.

Conclusiones

Toda obra hidráulica debe ser monitoreada para revisar su efectividad, contrastar las hipótesis de diseño y planificar las acciones futuras.

Se requiere completar todo proyecto con el diseño de los equipos y de los protocolos de medición que deben seguir a la puesta en funcionamiento de las obras.

Se deben fortalecer aquellas áreas técnicas que conocen como realizar tales mediciones e invertir en equipamiento adecuado y actualizado para la realización de las mismas.

Las acciones en territorio parecerían ser las más importantes respecto a los temas de protección contra inundaciones y lo son desde la visión de la gestión de gobierno cuya duración es muy limitada y por supuesto ante la emergencia, pero la debilidad en las áreas de apoyo en medidas no estructurales, que devienen en imprevisión, desconocimiento, etc., pueden acarrear mayores costos al estado y, fundamentalmente, mayores perjuicios a la población.

Referencias

Centro Documental MISPyH (2023). *Proyectos y Conformes a Obra*. Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, Gobierno de la Provincia de Santa Fe, Argentina.

Google Earth (2023). Imágenes Satelitales Airbus.

GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN UNA CUENCA SERRANA DE TANDIL (ARGENTINA): ANÁLISIS PRELIMINAR DE ACTORES SOCIALES

Díaz, Adriana Alejandra^{1,2}, Zulaica, María Laura^{2,3} y Rodríguez, Corina Iris^{1,2}

¹Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA-FCH-UNCPBA) – ²CONICET – ³Instituto del Hábitat y del Ambiente (IHAM-FAUD-UNMdP), Argentina

E-mail: adiaz@fch.unicen.edu.ar; laurazulaica@yahoo.com.ar; corodri@fch.unicen.edu.ar

Introducción

Desde la última década en Tandil (Bs.As.-Argentina), el desarrollo constructivo urbanístico se orienta hacia la periferia de la ciudad. El ejido urbano se sitúa sobre el faldeo norte de las sierras del sistema de Tandilia. Este sector se caracteriza por la presencia de dos unidades geológicas bien diferenciadas: el basamento cristalino y una cubierta sedimentaria que da lugar al acuífero libre utilizado para la extracción del agua subterránea (Ruiz de Galarreta et al, 2010).

Numerosos emprendimientos y residencias particulares se establecen en las lomadas de las sierras, con el basamento rocoso expuesto o a escasa profundidad, mientras que otros en el llano, con suelos bien drenados y con niveles freáticos relativamente profundos, y en otros casos con el agua subterránea más próxima a la superficie.

Para la provisión de agua para consumo, las viviendas y complejos ubicados en los faldeos serranos y sin cobertura de agua de red se abastecen de agua subterránea mediante perforaciones particulares. La disponibilidad de agua en la zona serrana es poco predecible debido a las particularidades geológicas. En términos de proyección de servicios sanitarios algunas zonas, por su ubicación, topografía o estructura del suelo, difícilmente tendrán en el corto o mediano plazo red cloacal y deberán realizar el tratamiento de sus aguas residuales "in situ", mediante tecnologías de pequeña escala, según lo establecido en la Ordenanza N° 12.978/12. Dicha Ordenanza, tiene por objeto regular las condiciones de vertido de los efluentes cloacales domiciliarios, industriales y productivos en el partido de Tandil y establece que todas las edificaciones que no estén conectadas al sistema de red cloacal de Obras Sanitarias Tandil deberán poseer un sistema de tratamiento de sus aguas residuales antes de ser vertidas en los sistemas receptores.

Planteo del problema

Uno de los sectores con mayor crecimiento en los últimos años es el que tiene como eje la Avenida Don Bosco (al sur del ejido urbano) y, en términos hidrológicos, coincide con la cuenca hidrográfica del Arroyo La Cascada (CALC) (Figura 1). Este sector forma parte de la Cuenca Alta del Languayú (CAL), que incluye a la ciudad de Tandil.



Figura 1.- Cuenca del Arroyo La Cascada. Fuente: Cifuentes, 2018

A la situación de acceso al agua mediante perforaciones particulares, se suma la carencia de un sistema unificado de colección de efluentes cloacales, donde las aguas residuales de

origen domiciliario son vertidas a pozos absorbentes generando un riesgo de contaminación del recurso subterráneo. Sumado a la elevada vulnerabilidad del recurso hídrico y una serie de problemáticas asociadas al uso y gestión del agua. Rodríguez et al. (2012) señalan que "la zona sur de la ciudad está siendo poblada en forma paulatina por viviendas y por establecimientos hoteleros, gastronómicos y de uso turístico." Cifuentes (2020) realiza un detalle de los usos del suelo en la cuenca, predominando la ocupación residencial seguida de actividades recreativas y luego establecimientos de alojamiento turístico.

Se pone de manifiesto la convergencia de distintas aristas en la evaluación de la gestión integral de los recursos hídricos en la CALC; no sólo aquellas que tienen que ver directamente con el medio físico-natural como sitio de emplazamiento y determinante de la capacidad de carga, sino también con el medio socioeconómico y donde priman las actividades antrópicas y el marco normativo que debiera contener el crecimiento y desarrollo de éstas. Emergen también actores de naturaleza bien diferenciada (de la administración pública, de las actividades privadas, particulares, ONG's, etc.) que cobran protagonismo al momento de poner en práctica cualquier estrategia de gestión.

Estos escenarios con problemáticas complejas debieran ser abordados desde el concepto de cuenca, tomando a la cuenca hidrográfica como la unidad espacial de interrelación entre los distintos factores ambientales. La Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) fomenta una perspectiva holística. Si bien la gestión tradicional suele considerar primero el acceso al agua potable y luego atender la demanda sobre la disposición de efluentes, se terminan generando situaciones particulares de contaminación del acuífero por sobreconsumo e inadecuada disposición final de los efluentes. Es por ello que se propone incorporar la gestión de los efluentes otorgándole mayor relevancia como factor ambiental de análisis.

Ante lo expuesto, el presente trabajo pretende analizar en el periodo 2018-2020 y de modo preliminar, los actores sociales intervinientes, con el objetivo de identificar el nivel de conocimiento sobre la GIRH especialmente de las aguas residuales urbanas, como también el posicionamiento en pos de potenciales estrategias de gestión sustentable de la cuenca.

Metodología

Se realizó la identificación de los actores involucrados en la gestión del agua y del territorio en la cuenca, y los problemas que cada uno enfrenta, caracterizando las posiciones e intereses. Se utilizó el Mapeo de Actores Clave (MAC) (Tapella, 2007) como herramienta metodológica de base para acceder a la trama de relaciones sociales en el área de estudio. Este mapeo, permite no solo la identificación de los actores clave, sus racionalidades y los vínculos entre ellos, sino también su valoración en el marco de la generación de estrategias de gestión. Sobre la herramienta propuesta se estructuró el trabajo en los siguientes pasos: 1) Definición de los objetivos del mapeo, 2) Definición de las variables a considerar, 3) Diseño del mapeo, 4) Obtención de la información y 5) Análisis del mapeo de actores.

Resultados

En función del objetivo fijado, se procedió a definir las variables (nivel de conocimiento sobre la GIRH y su

posicionamiento en relación a implementar potenciales estrategias de gestión sustentable de la cuenca).

Se identificaron 9 grupos de actores con intereses y roles bien diferenciados que oportunamente fueron entrevistados. Los mismos pueden agruparse en:

1. *Técnicos no convencionales*: procuran incorporar alternativas más amigables con el ambiente en los diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), respetando los lineamientos sugeridos por la autoridad de aplicación.
2. *Técnicos convencionales*: diseñan PTAR convencionales acorde a lo sugerido por Obras Sanitarias Tandil (OST), sin innovación en el diseño.
3. *Responsables político-técnicos*: tienen a cargo aprobación técnica de los planos de los sistemas de tratamiento. Procuran sugerir tecnologías convencionales. También se realiza el seguimiento en obra.
4. *Responsables político-legislativos*: participan en la generación de políticas públicas. Ponen de manifiesto la complejidad del sistema actual y reconocen las dificultades de implementación de la normativa.
5. *Responsables político-ejecutivos*: integran estamentos públicos con capacidad de ejecutar políticas en el territorio. Focalizan la atención y privilegian la dotación de servicios a barrios en la zona de proyección de crecimiento de la ciudad y pone en segundo plano el sector en estudio. Alegando que quien ha decidido lucrar en el área de estudio conocía las limitaciones en los servicios y que, por estar lucrando, deben afrontar los costos del tratamiento de las aguas residuales.
6. *Organizaciones comerciales*: conocen el requerimiento que desde el ejecutivo se les impone al sector de alojamiento turístico, pero no lo prioriza. No hay proyectos o estrategias desde este colectivo para afrontar esta solicitud.
7. *Particulares*: Algunos propietarios de viviendas familiares han implementado (aún sin que se les exija) sistemas alternativos de tratamiento. Unos movilizados por los costos que significa el desagote de los sistemas tradicionales (pozos ciegos), y otros para evitar la contaminación del recurso subterráneo. Por otro lado, también hay un número considerable de viviendas que cuentan con sistemas tradicionales de pozos absorbentes, sin ningún otro complemento técnico en el diseño.
8. *Operadores turísticos*: privados que operan alojamientos turísticos y han cumplido con la Ordenanza fundamentalmente por exigencia para la habilitación. Algunos de ellos, una vez para habilitado el establecimiento abandonaron el monitoreo de los sistemas de tratamiento, otros nunca lo pusieron en funcionamiento y otros realizan un seguimiento y mantenimiento de las PTAR evitando tener inconvenientes para sus huéspedes. También se observa en el sector un grupo importante de operadores que no han cumplido con la Ordenanza (lo consideran un gasto innecesario o no pueden asumirlo).
9. *Operadores comerciales*: privados con comercios que atienden los requerimientos de la ordenanza en función de sus intereses particulares. Algunos están más atentos a la calidad del agua (cualquiera sea su uso) y a la cantidad o disponibilidad de ésta que al manejo de las ARU. Suelen atender los requerimientos del ejecutivo procurando el mínimo costo económico posible, sin detenerse en la eficiencia del sistema a implementar. También se observan PTAR sobredimensionadas, y que minimizan los efectos que los pulsos discontinuos de caudal ocasionan sobre la eficiencia del sistema.

La información recabada en el esquema de doble entrada donde se ubicaron las variables preseleccionadas (Fig. 2). Cada grupo de actores se identificó con el número asignado en la clasificación general. En la Figura 2 se observa la situación de los diferentes grupos de actores. Algunos grupos, aun teniendo bajo nivel de conocimiento respecto de la GIRH se involucran de manera diferenciada en relación a las estrategias a implementar (operadores turísticos privados, grupo 8). En el caso de los particulares (grupo 7), se verifica no sólo distinto nivel de compromiso hacia prácticas de gestión sustentables, sino que también distinto grado o nivel de conocimiento integral

del sistema. El gráfico también permite identificar dentro de cada rango de variables el posicionamiento dentro del mismo. Por ejemplo, en el bajo nivel de conocimiento de la GIRH y posición indiferente ante estrategias de gestión sustentable, se sitúan dos grupos de actores pero con situaciones particulares levemente diferentes. Esto permite identificar a aquellos que sobre la base del esquema se sitúan limitando con un posicionamiento en contra y aquellos que, su indiferencia quizás responde a su bajo nivel de conocimiento del sistema.

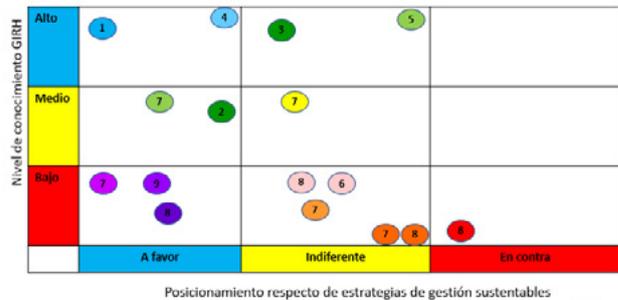


Figura 2.- Mapeo de Actores Clave

Conclusiones

Se resalta que no existe un conocimiento detallado del modelo de funcionamiento del sistema hidrológico local. De los perfiles técnicos (diseñadores de plantas y supervisores de obras) se diferencian posturas contrapuestas en relación a las ofertas técnicas posibles de implementarse (convencionales vs innovadores). Dentro de éstos, quienes operan en organismos del ejecutivo, predominan los perfiles conservadores, condicionando y restringiendo las posibilidades técnicas a implementar. Por otro lado, y dentro de los actores directamente afectados, al desconocimiento del funcionamiento del sistema hídrico, se suman conflictos en torno a la obligatoriedad exigida a unos (cabañeros) en relación a otros (vecinos), dando por resultado plantas de tratamiento aprobadas, pero con funcionamiento deficitario o nulo. Existe diversidad de posicionamientos en los vecinos particulares, ya que el sistema que cada uno implementa responde principalmente al compromiso específico con el entorno y/o grado de conocimiento del sistema general.

El trabajo ha permitido obtener un estado de situación de base a efectos de diseñar nuevas formas de abordaje y gestión.

Referencias Bibliográficas

- Cifuentes, M. R.** (2020) Estudio ecohidrológico del embalse eutrófico lago Del Fuerte (Tandil, provincia de Buenos Aires). *Tesis del Doctorado en Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata, UNLP.*
- Cifuentes, M. R.; Cisneros Basualdo, N. E.; Rodríguez, C. I.; Ruiz de Galarreta, A.; Gabellone, N.** (2018). Caracterización morfométrica de la cuenca del arroyo del Fuerte, Tandil, Buenos Aires. *Libro de Resúmenes IV Jornadas Nacionales y II Internacionales de Ambiente.* Tandil, octubre de 2018. Páginas 137-140.
- Rodríguez, C. I. Miranda del Fresno, M.C.; Miguel, R.E.; Ulberich, A.C.; Ruiz de Galarreta, A.** (2012). Cambios de uso del suelo e impactos sobre el agua subterránea en un barrio al sur de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *VII Congreso de Medio Ambiente /AUGM.* La Plata. Argentina.
- Ruiz de Galarreta, V. A.; Banda Noriega, R. B.; Barranquero, R. S.; Díaz, A. A.; Rodríguez, C. I.; Miguel, R. E.** (2010). Análisis integral del sistema hídrico, uso y gestión. Cuenca del arroyo Langueyú, Tandil, Argentina. *Boletín Geológico y Minero.* 121 (4): 343-356.
- Tapella, E.** (2007) El mapeo de Actores Claves, documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario”, *Universidad Nacional de Córdoba, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI).*

SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL PARA CONSUMO HUMANO Y ANIMAL

Claudio Alejandro Dualibe, Gabriel Hernán Maidana, Carla Daniela Chejolan Ramski, Julián Antonio Romero, María Camila Salvador y Guillermo José Mendez.

Administración Provincial del Agua de Chaco, Argentina.
E-mail: claudi dualibe@gmail.com; gabrielhernanmaidana95@gmail.com; carlachejolan91@gmail.com; juliromero1000@gmail.com; camilasalv1998@gmail.com; guillemendez79@gmail.com

Introducción

La disponibilidad de agua dulce es uno de los factores determinantes en el desarrollo de la vida humana y animal. En el Chaco, la desigual distribución dificulta su acceso. Con un clima Subtropical y precipitaciones anuales entre 1400 y 600 mm, la captación de aguas de lluvias es una efectiva alternativa para cubrir el consumo de agua humano y animal (Figura 1).

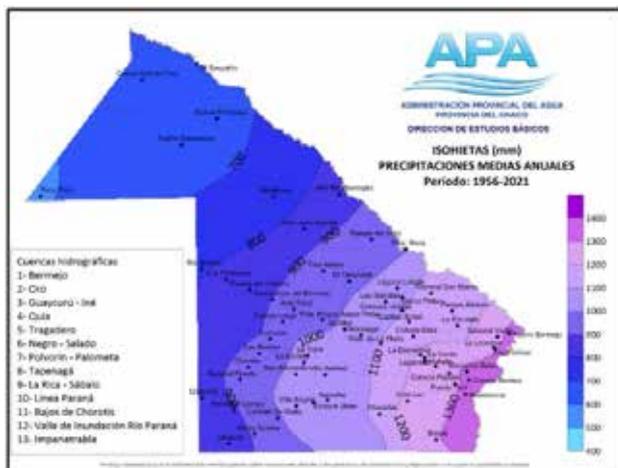


Figura 1.- Mapa de isohietas de la provincia de Chaco

Objetivos

Proponer la construcción de cisternas en viviendas y reservorios comunitarios en campos, en distintas localidades del Chaco, como sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y animal, respectivamente.

Determinar los volúmenes máximos diarios que podrán aportar las cisternas y reservorios y porcentaje de falla.

Soluciones Propuestas

Sistema de captación de agua pluvial por techos- Consumo Humano. (SCAPT)

Se considera una superficie de captación de 80 m², semejante a un techo de 8 x 10 m, siendo apto para una vivienda unifamiliar. Techo de chapa ondulada de hierro galvanizado, con una pendiente del 10%. Cañería de descarga principal de PVC Clase 6 DN 110 mm, con filtro tipo "Y" con malla metálica. Almacenamiento de 5 m³ (5.000 l) realizado con 2 tanques de 2.500 l cada uno puestos en paralelo.

Sistema de captación de agua pluvial por Reservorio-Consumo Animal

Se propone la recolección de agua de escorrentía superficial a partir de reservorios cavados de 5.000, 10.000 y 15.000 m³ de capacidad en función de la oferta que surge de un análisis y modelado considerando precipitaciones superiores a 10mm sobre una cuenca de 5 hectáreas (50.000 m²).

Las características del reservorio serán: excavados sin revestimiento, de forma tronco piramidal invertida, profundidad máxima de 3 m, pendiente de taludes 2:1. El ingreso será por canales abiertos a gravedad.

Materiales y Métodos

Se analizaron los datos de precipitaciones de 70 estaciones pluviométricas distribuidas en la provincia del Chaco de los últimos 10 años, desde el 1 de enero del 2012 al 30 de noviembre del 2022, los cuales fueron proporcionados por el área de Estudios Básicos. Del total de las estaciones se descartaron aquellas que no completaban los 10 años de mediciones, quedando un total de 68 estaciones.

Se agruparon los registros de los pluviómetros por departamento, para establecer valores promedios. Luego, se completaron los datos con los días donde no hubo precipitaciones.

Proceso de cálculo General

El cálculo se basó en el Análisis de la Curva de Volúmenes Acumulados (Método de Rippl). Se procedió de la siguiente manera:

1. Se calculó por cada día los volúmenes afluentes (V_{aflu} [m³/m²]) por metro cuadrado de captación, para determinar su promedio (V_m [m³/m²]).

$$V_{aflu} = k \cdot C \cdot P \quad [m^3/m^2] \quad [1]$$

$$V_m = \frac{\sum V_{aflu}}{n} [m^3/m^2] \quad [2]$$

Siendo:

k = 0.001: constante para pasar de mm de precipitación a m³/m².

C: Coeficiente de escorrentía ($C < 1$).

P: precipitación considerada en mm por día.

n: número de registros (días) considerado.

2. A partir de un balance de masa propuesto con paso diario, se determinó la variación en el almacenamiento por día ΔS (m³/m²), considerando como valor inicial cero, haciendo:

$$\Delta S_i = S_{i-1} + V_{aflu(i)} - V_m [m^3/m^2] \quad [3]$$

3. Por último, se calcula el Almacenamiento mínimo unitario Amín (m³/m²) por estación, en el total del registro de días considerado, representando el volumen que permite almacenar el agua necesaria para garantizar la entrega del volumen afluente promedio V_m en todos los intervalos de tiempo analizados (días), de la siguiente manera:

$$A_{mín} = S_{máx} - S_{mín} [m^3/m^2] \quad [4]$$

No se consideran pérdidas durante el balance de masa, se determinaron los caudales diarios máximos que pueden ser explotados con los distintos sistemas propuestos, a partir del Volumen afluente promedio. Además de los volúmenes mínimos de almacenamiento necesarios para alcanzar tales caudales.

Para el sistema de captación por techos, se considera:

- Precipitaciones menores a los 5 mm, como nulas.
- Un coeficiente de escorrentía $C = 0.70$.
- Superficie de captación de 80 m^2

Para el sistema de captación por reservorios, se considera:

- Precipitaciones menores a los 10 mm, como nulas.
- Un coeficiente de escorrentía $C = 0.20$.
- Una superficie de captación de 50000 m^2 (50 Hectáreas).

Análisis de Fallas

Para el análisis de falla se consideró:

- Volumen limitante: volumen de almacenamiento de las cisternas domiciliarias, igual para todas las localidades.
- Capacidad reguladora: equivalente al Almacenamiento mínimo necesario para garantizar el caudal máximo de explotación.
- Demanda: representada por el caudal máximo regulado (V_m), establecido como el máximo caudal que puede alcanzarse con el sistema de captación propuesto
- Almacenamiento inicial: volumen mínimo con el que cuentan las unidades de almacenamiento al comienzo del análisis, entre el 30 – 35 % de la capacidad reguladora.

Se trabajó con el método de Rippl y los datos utilizados para Sistema de Captación de Agua Pluvial por Techos con las consideraciones respectivas. Se obtuvo el promedio de días donde la demanda acumulada es mayor al almacenamiento diario. Este promedio se consideró como Riesgo de escases de agua y se representó en un mapa por departamento (Figura 2)

Análisis de Resultados

Sistema de captación de agua pluvial por techos – Consumo humano

Como máximo, podrían extraerse diariamente dotaciones de 76 l/día a 190 l/días. El sistema previsto tendrá días en que no podrá aportar los caudales lo que se considera como fallas. Se realizó en 16 estaciones distribuidas a lo largo del territorio provincial.

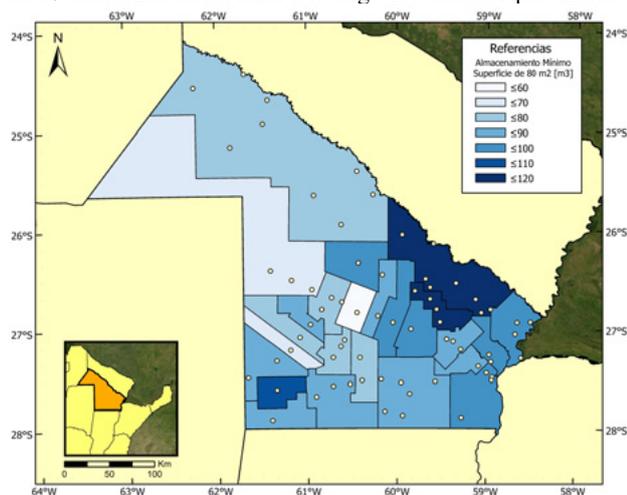


Figura 2.- Almacenamiento mínimo para superficies de 80 m^2

Sistema de captación de agua pluvial por Reservoirio – Consumo Animal

Como máximo, podrían extraerse diariamente dotaciones de 12.000 l/día a 31.000 l/días. Sin embargo, estas dotaciones pueden garantizarse sólo si las superficies libres aportan a reservorios con volúmenes mínimos de almacenamiento que se detallan la Figura 3.

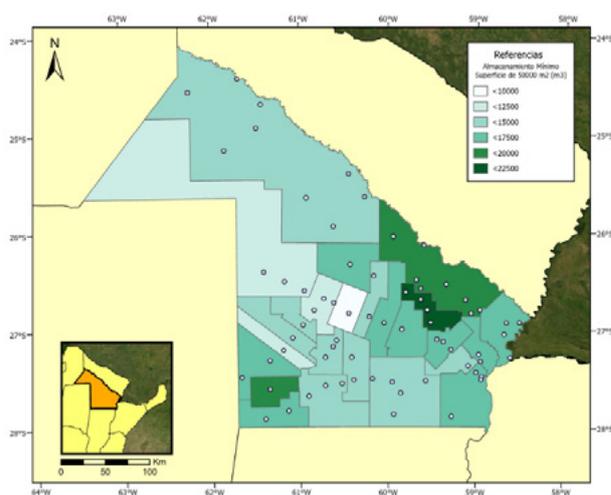


Figura 3.- Almacenamiento mínimo para áreas de aporte de 50.000 m^2

Conclusiones

Ambas soluciones planteadas son de simple aplicación y bajo costo presupuestario. Por lo que pueden ejecutarse operativamente descentralizadas con gestión unificada en la Administración Provincial del Agua (APA).

Se espera que los techos domiciliarios de 80 m^2 puedan aportar caudales máximos diarios de 76 l/día a 190 l/días, lo que implicaría la posibilidad de paliar el consumo de 1 a 4 personas, manteniendo dotaciones de consumo de 50 l/hab. Podrán sostener dichas dotaciones con fallas de 35%.

Por su parte, los reservorios puedan aportar caudales diarios máximos de $12 \text{ m}^3/\text{día}$ a $31 \text{ m}^3/\text{días}$, lo que implicaría la posibilidad de abastecer el consumo de 300 a 775 cabezas de ganado bovino, manteniendo dotaciones de consumo de 40 litros per cápita por día. Cabe mencionar que en el análisis realizado no fueron incluidas las pérdidas por evaporación. Se espera que los reservorios de 5.000 m^3 puedan aportar caudales máximos indicados con fallas de 4 a 15%.

Referencias Bibliográficas

- Bruniard, E.D. (1981). *El Clima de las Planicies del Norte Argentino* (Ensayo metodológico de geografía de los climas). Tesis de Doctorado en Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Naghetini, M., pinto, E.J.A. (2007). *Hidrología Estadística*. Servicio Geológico do Brasil, Superintendência Regional Belo Horizonte. Belo Horizonte, Brasil.
- Tucci, C.E.M. (1997). *Hidrología*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Tucci, C.E.M., (2002). *Regionalização de Vazoes*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Mendez G.J., Ruberto A.R., Pilar J.V., Depettris C.A. (2011). *Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa*. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. No. 26. Mayo 2011. pp 71-78.

MAPA DE RIESGO FRENTE A INUNDACIONES URBANAS. IMPLEMENTACIÓN COMO MEDIDA NO ESTRUCTURAL EN LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

Sandra L. Flores^{1,2}, Eduardo F. Salto^{1,3}, Federico M. Rodríguez^{1,3}, Osvaldo G. Mena^{1,3}, Pablo G. Romanazzi^{1,4}

1- Instituto Nacional del Agua (INA) Subgerencia de Servicios Hidrológicos, Argentina 2- Universidad de Buenos Aires, Geografía, Argentina 3- Universidad Tecnológica Nacional- Regional La Plata, Argentina 4- Universidad Nacional de La Plata, Argentina
sflores@ina.gob.ar, franco.e.salto@gmail.com, rodriguezfedericomartin@gmail.com, omena@ina.gob.ar, pablo.romanazzi@gmail.com

Introducción

La cartografía del riesgo es la síntesis del análisis del riesgo entendido como la probabilidad de que una amenaza produzca daños al actuar sobre una población vulnerable. (Renda, 2017) Este comprende tres etapas: 1) La caracterización de la *amenaza*, que se lleva a cabo a partir de la modelación hidráulica 2d, de la que se obtienen las manchas de inundación para precipitaciones con distintos niveles de peligrosidad dentro de la cuenca que representa nuestra unidad de análisis. 2) La determinación de la *vulnerabilidad* entendida como la susceptibilidad de una sociedad expuesta, se expresa a través de un *Índice* construido a partir de distintas variables e indicadores censales, replicable para todos los municipios a nivel nacional 3) Cruce de índices de las etapas 1) y 2).

Objetivo

General

- Consiste en el desarrollo de **mapas de riesgo** de inundación para tres localidades alcanzadas por el Plan Federal de Asistencia a Municipios para Obras de Macro Drenaje Urbano¹, (Lomas de Zamora, La Rioja y Puerto Madryn) como estudio piloto.

Específicos:

- Diseñar una metodología que permita la obtención de cartografía de riesgo de manera económica y accesible dada la envergadura del proyecto global.
- Proporcionar a los municipios un producto cartográfico de gran importancia los efectos de complementar las medidas estructurales adoptadas en los anteproyectos elaborados en el Plan y alentar la implementación de políticas de gestión del riesgo de desastres a nivel local.

Materiales y métodos

Para el análisis de la amenaza:

Se elaboró un **índice de peligrosidad** en base: 1-al análisis espacial y temporal de las precipitaciones para períodos de recurrencia de 100, 50 y 25 años. En el caso de Lomas de Zamora se aplicaron los valores de precipitación extraordinaria de La Plata del 02 de abril de 2013 (368mm en 8 hs). 2- La topografía del terreno se estudió a través del MDE de 5m de resolución espacial (IGN, 2023), 3-El análisis hidrológico y la determinación de la morfometría de cauces y cuencas. (Alcocer-Yamanaka, 2016). No se tuvieron en cuenta las infraestructuras pluviales existentes por considerar que en el momento de la inundación, las mismas aportan muy pobremente al drenaje de los excedentes hídricos.

La modelación hidráulica con el software HEC-RAS permitió

calcular alturas (m) y velocidades (m/s) para los distintos períodos de recurrencia y establecer niveles de peligro que relacionan alturas con velocidades de escurrimiento por las calles de acuerdo a la escala: Muy alta (HxV= 1.5), Alta (HxV= 0.5) y Moderada (HxV=0.1). No se consideraron alturas de agua inferiores a 0.1 m. (Temez, 1992; Agrícola, 2000)

Los resultados convertidos a formato vectorial (.shp) fueron incorporados al Sig y reclasificados a valores: 2, 1.5 y 1.25 para peligrosidades: Muy Alta, Alta y Moderada respectivamente.

Para el análisis de la vulnerabilidad:

Se construyó el **índice de vulnerabilidad social frente a inundaciones (VFI)** a partir de 11 variables confeccionadas en base a las tablas del CNPHyV (2010) desagregadas a nivel de radio censal, que recopilaron niveles críticos de c/u de ellas².

Toda la información fue vinculada a la base de datos gráfica de radios censales 2010, revisada y corregida por CONICET, en el software libre QGIS, para visualizar analizar y gestionar datos geoespaciales y generar los productos cartográficos.

A partir de los datos originales convertidos en porcentajes se procedió a la estandarización de valores mediante la fórmula [1].

$$z_i = \frac{x_i - \lambda}{\sigma} [1]$$

Obtenida así la matriz de datos índice, adimensional, en términos de desviaciones standard, se calificaron de 1 a 6 los valores de c/u de las 11 variables según su posición respecto de la media. Siendo indicadores de costo, el nivel 6 corresponde a la vulnerabilidad más alta y el 1 a la más baja. Por último se calculó la **VFI** promediando los valores obtenidos en la etapa anterior, y volviendo a clasificar de 1 a 6 (v. Tabla 1) metodología conocida como **valor índice medio (VIM)** (García de León Loza, 1989; Principi, 2020, Buzai, 2012).

Tabla 1.-Clasificación del VIM

VIM	Clases de VFI
<= 2.29	1
2.30 – 2.49	2
2.50 – 2.99	3
3 – 3.49	4
3.5 – 3.99	5
>= 4	6

Fuente: Elaboración propia

Para la confección del mapa de riesgo:

Se multiplicó la VFI por la Amenaza según su Índice de peligrosidad. Para ello se aplicaron distintos geoprocesos vectoriales que permitieron disponer de una base de datos geoespacial única con todas las variables poblacionales y físico ambientales. Toda la información quedó así referida a los radios censales adoptando valores entre 1 y 12 de acuerdo a su nivel de riesgo calculado. A los radios fuera de la mancha de inundación

¹En el marco del Plan Estratégico de Gestión del INA 2021-2023, se desarrolla un Plan Federal de Asistencia a Municipios, con el objetivo de elaborar documentación, a nivel de anteproyecto, de obras de Macro Drenaje Urbano.

²**A-Indicadores Económicos:**1)% Población analfabeta / Población > 5 años 2)% Población desocupada / PEA **B-Indicadores de Condiciones de Vida:** 3)%Hacinamiento (Hogares con más de 3 personas por cuarto) / Total de hogares 4)% Hogares sin acceso a agua de red/ Total de hogares 5)%Desagüe inodoro no a

red pública/ Total de hogares **C-Indicadores Demográficos:**6)Densidad de población /ha, 7)%Población de 0 a 14 años / Total de personas 8)%Población > 64 años/ Total de personas **D-Indicadores Calidad De La Vivienda:**9)% Vivienda deficiente / Total de viviendas particulares 10)% Vivienda no apta como habitación /Total de viviendas particulares 11)%Vivienda colectiva /Total de viviendas agrupado (Natenzon, 2010)

se les asignó un índice de peligrosidad =1 para que el producto sólo mostrara el grado de vulnerabilidad social.

El mapa de riesgo final, además de expresar los distintos niveles de riesgo por radio censal, se le ha superpuesto la información disponible sobre infraestructuras críticas, tales como hospitales, escuelas y otros posibles lugares de refugio así como de vías disponibles para evacuación, por un lado para aumentar el nivel de resiliencia de la población frente a inundaciones y por otro para permitir la visualización de las construcciones y servicios básicos que convendría analizar su posible relocalización a la luz de la evidencia presentada. (v. Figs. 1 a 3)

La misma metodología se replicó para cada una de las localidades piloto, probando su desempeño en espacios ambiental y sociodemográficamente distintos.

Resultados

Los tres territorios analizados mostraron valores de VIM entre 2 y 4.5, y una distribución espacial de valores críticos que en general aumenta del centro a la periferia de esos espacios urbanos, lo cual resulta consistente con la situación esperada.

Cobra particular importancia cuando se superpone a la amenaza y aparece el riesgo, porque representa una condición previa sobre la que se puede actuar preventivamente.

El mapa final permite la identificación de zonas con mayor y menor nivel de riesgo frente al peligro de inundaciones a través de una escala de color graduado que va de los tonos rojos y morados (riesgo alto y muy alto) hasta los amarillos y blancos (riesgo bajo y muy bajo), (Figs. 1 a 3)

Lomas de Zamora presenta niveles de riesgo alto y muy alto que involucran al 18% de su población (117.000 hab. aprox.) y al 21% de menores de 15 años, situados en el N y O del partido. En *La Rioja*, a su vez los niveles más altos de riesgo se ubican predominantemente al N del ejido urbano afectando a más del 30% de su población total y al 37% de niños y adolescentes de hasta 14 años. En Puerto Madryn, los niveles altos y muy altos rondan el 15% de la población total, pero incluyendo la categoría de riesgo medio alto la cifra asciende al 55% con el 50% de menores de 15 años, mayormente distribuidos hacia periferia N y del eje E-W de expansión del área urbana.

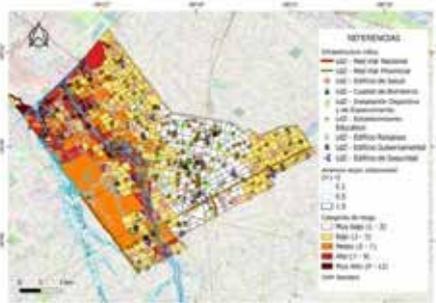


Figura 1.-Mapa de Riesgo de Lomas de Zamora

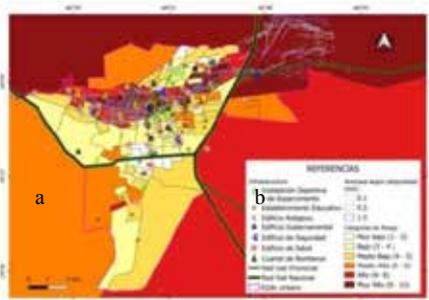


Figura 2.-Mapa de Riesgo de La Rioja

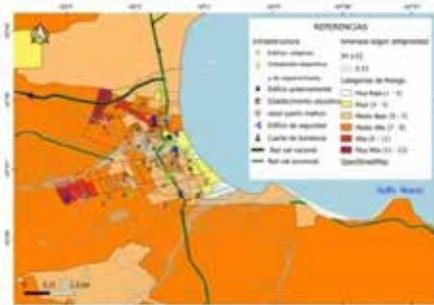


Figura 3.- Mapa de Riesgo .Puerto Madryn

Conclusiones

La metodología propuesta resulta aceptable para su generalización, no obstante lo cual se continuará investigando la adopción de métodos alternativos.

En el futuro inmediato y dentro del Plan Federal de Asistencia a Municipios se proseguirá generando mapas de riesgo para un grupo mayor de municipios abarcados por el Plan que no cuenten con este instrumento de planificación.

Los mapas de riesgo son herramientas valiosas para orientar la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas. Ayudan a identificar las áreas prioritarias de intervención, así como a asignar recursos de manera más equitativa. Además, permiten comprender mejor los patrones de vulnerabilidad y desarrollar estrategias más efectivas para abordar las desigualdades sociales y promover la inclusión.

Resulta prioritario incorporar la dimensión del riesgo en la planificación del territorio de modo tal de conducir los procesos de desarrollo minimizando los efectos negativos sobre la población vulnerable expuesta.

Referencias Bibliográficas

- Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC)** (2000). "Floodplain Management in Australia. Best Practice Principles and Guidelines". 120. Collingwood, Australia.
- Alcocer-Yamanaka, V. H., et. al** (2016) "Metodología para la Generación de Mapas de Riesgo por Inundación en Zonas Urbanas", *Instituto Mexicano de Tecnología del agua*, México. Pp 33-55
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A.**(2012)"Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica" Tomo 2,Lugar Editorial, Bs. As.
- García de León Loza, A.** (1989). "La Metodología del Valor Índice Medio". *Invest. Geog no.19, [online]*, pp.69-87.ISSN 2448-7279.
- IGN** (2023)Modelo Digital de Elevaciones SRTM-ALOS, <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>, 5m de resolución espacial.
- INDEC** (2010) CNPhyV Tablas REDATAM por radio censal. En <https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=CPV2010A>
- Natenson, C. y González S.** (2010). "Riesgo, vulnerabilidad social e indicadores. Aplicaciones para Argentina", en *Arroyo, Mónica y Perla Zusman (comp.) "Argentina e Brasil: Possibilidades e obstáculos no processo de integração territorial"*. Editorial Humanitas. São Paulo. 95-218.
- Principi, N.**(2020). "Análisis Socioespacial y Modelización Prospectiva Del Contexto De Riesgo Por Inundaciones en la Ciudad de Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina), 2010-2030" *Tesis de Doctorado en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca* pp.1-230.
- Renda E., Rozas Garay M., Moscardini O., Torchia N.P.** (2017). "Manual para la Elaboración de Mapas de Riesgo". Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD ; Argentina : Ministerio de Seguridad de la Nación. Secretaría de Protección Civil.
- Témez, J.R.** (1992). "Control del desarrollo urbano en las zonas inundables". *Monografías del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 10, pp 105-115. Madrid.

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL COSTO DE RIEGO PRESURIZADO CON PIVOTE CENTRAL EN EL ÁREA DE REGADÍO DE LA PAMPA

Dardo, R. Fontanella^{1*}; Roberto Torrado²; Carolina M. Aumassanne¹; Javier Herrada³

¹Agencia de Extensión Rural 25 de Mayo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 25 de Mayo, La Pampa, ARGENTINA

² Estación Experimental Agropecuaria Anguil. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Anguil, La Pampa. ARGENTINA

³ Cámara de Productores Agropecuarios Bajo Riego de 25 de Mayo, La Pampa. ARGENTINA

E-mail: *fontanella.dardo@inta.gob.ar

Introducción

En la última década, la cuenca del río Colorado presenta derrames anuales inferiores al promedio histórico, donde el consumo de agua para riego representa el 98 % del uso. Ante esta situación, en la provincia de La Pampa, se aplicaron restricciones en el cupo de agua para riego. Estos escenarios restrictivos, generan oportunidades para ajustar las demandas de agua y energía en los sistemas de riego por pivote central. Por otra parte, conocer los factores que ocasionan un mayor consumo energético en las áreas bajo riego, es importante para establecer estrategias de ahorro (Camacho *et al.*, 2010). Una reducción del consumo energético puede alcanzarse mediante la consideración de dos aspectos: la disminución del consumo de agua y la adecuación de los sistemas de bombeo y las pautas de manejo y operación de los sistemas de riego considerando, además, la gestión del agua y la gestión energética (López *et al.*, 2012). El objetivo del presente trabajo es analizar las variaciones en el costo de mm de riego aplicado con pivote central, en el área de regadío de La Pampa, a partir de distintos escenarios del uso de la energía eléctrica de red para riego, considerando: franjas horarias y segmento de consumidores.

Caso de estudio

Se plantea, como caso de estudio, un establecimiento productivo representativo de la zona de 25 de Mayo (La Pampa), con cultivo de maíz destino a cosecha, bajo riego con pivote central. Para la determinación del costo del mm de riego se tomaron las siguientes consideraciones:

Sistema de riego: Riego presurizado de pivote central, dimensionado de forma similar a los utilizados en la zona, 70 ha, con consumo de 1,5 HP.ha⁻¹.

Mano de obra: Equipo de trabajo para completar turnos y relevos. Vehículo. Afectación del 50 % del tiempo de uso de una pick up del establecimiento.

Canon de riego: Servicio de agua para riego brindado por el Ente Provincial del Río Colorado, del Gob. de La Pampa. Canon de riego 2022 anual, 3382,79 \$. ha⁻¹. año⁻¹.

Amortización: de la inversión del sistema de riego en 20 años.

Energía eléctrica: En la zona hay disponibilidad y seguridad de energía por una importante red de distribución utilizando el Sistema Interconectado Nacional. El servicio de distribución es brindado por la cooperativa eléctrica con facturación mensual. Existe una tarifa para riego que contempla un subsidio del 63 % del estado Nacional (para usuarios con consumos menores a 300 kw), más un 3 % del estado Provincial a través de la Administración Provincial de Energía (APE) y bandas horarias con tarifas diferenciales. Los conceptos que se cobran son potencia y energía.

Por esta implementación de costos diferentes, según franjas horarias, en la zona se diseñan los equipos para regar 19 hs por día, para evitar operar durante el período “horas pico” donde el

costo es mayor. De esta manera, se operan los equipos desde las 23 a las 18 hs del día siguiente.

Mantenimiento y reparaciones del sistema de riego.

Riego: Se determinaron las láminas de riego por ciclo de cultivo, para el maíz 780 mm. año⁻¹ según un balance hídrico de cultivo calculados con la metodología propuesta por FAO.

Se estimaron y analizaron los costos del mm de riego para el cultivo de maíz a partir de la comparación de las dos tarifas de riego agrícola dispuestas por la APE. En cuanto a la potencia, se analizaron aquellas correspondientes a usuarios mayores a 300 Kw y, de igual forma, las de los usuarios menores a 300 Kw, considerando las franjas horarias pico de 18 a 23 hs y el resto de 23 a 18 hs. Por otra parte, en cuanto a la energía, se realizó su implementación en franjas horarias diarias. Estas se dividen en tres franjas: hora pico de 18 a 23 hs, valle de 23 a 05 hs y resto de 5 a 18 hs.

Resultados

El mayor valor del costo de riego por campaña corresponde a los usuarios de la franja de 24 h.día⁻¹ y mayor a 300 kW de potencia instalada (Figura 1), con 549 U\$S.ha⁻¹. Por otra parte, el menor costo corresponde a potencia de menor a 300 kW y riego de 19 hs, con 409 U\$S.ha⁻¹, esto representa una diferencia del 26 % de costo. Cabe destacar que, en los cuatro casos analizados, tanto los componentes de amortización en el costo del mm de riego como los correspondientes a la energía son los que mayor porcentaje representan, con un 37 % en promedio cada uno.

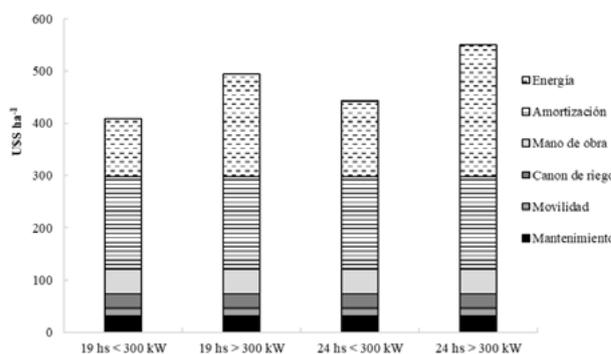


Figura 1.- Costo total de riego y los componentes del costo para las dos franjas horarias (19y 24 hs) y las dos franjas de potencia (< 300 kW y > 300 kW)

El porcentaje de participación de la energía en el costo del mm de riego es el componente variable, con valores que representan entre un 46 % y un 27, 5 % (Figura 2). La variación en el componente energía está vinculado, directamente, con los valores en la tarifa y las intervenciones subsidiarias del estado nacional.

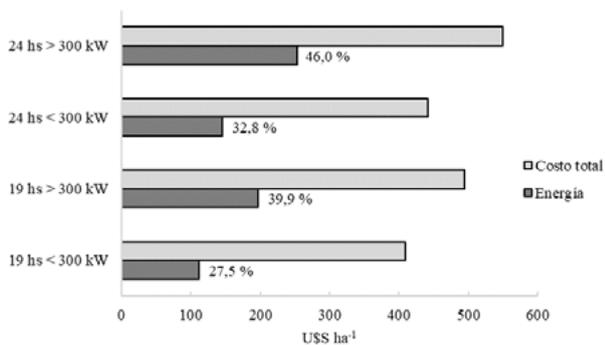


Figura 2.- Costo de total de riego y el componente energía en US\$.ha⁻¹

Conclusiones

Los resultados alcanzados en este trabajo indican que se recomienda la aplicación de riego obteniendo menores costos cuando el sistema de riego-energía está diseñado con menores potencias, < 300 kW con 19 hs de aplicación. En definitiva, la potencia genera los mayores cambios en el costo total del mm de riego.

En la franja de < 300 kW, el costo total del mm de riego, si se pasa de 19 hs vs 24 hs, representa un cambio de 7,6 %. Esto indica que una economía de escala no beneficia la rentabilidad del sistema riego-energía, en un sistema intensivo de producción bajo riego.

La determinación de los componentes del costo, para cada franja de potencia y franjas horarias, resultan de gran utilidad para la toma de decisiones y adopción de las nuevas tecnologías y prácticas de manejo para mejorar la rentabilidad de los sistemas productivos de la zona.

Referencias Bibliográficas

Camacho, P. E.; Rodríguez. A.; P. Montesinos, Y.; Carrillo, T. (2010). Ahorro de Energía en el Riego, Catedrático de Hidráulica y Riegos, ETSIAM, Universidad de Córdoba, España.

López S., M.; Mujica C. A.; Brown M. O.; Castellano C, L. (2012). Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Universidad Agraria de La Habana vol. 21, 30-34 pp.

FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DEL CONSORCIO GRAL. ROCA DE RIEGO Y DRENAJE

Funes Vanesa¹, Ponce Valeria²

Consortio Gral Roca de Riego y Drenaje, Rio Negro, Argentina

¹vanesafunes@gmail.com; ²valeriaponce_11@hotmail.com;

Introducción

En el presente trabajo proponemos reflexionar sobre las variables que provocan las deficiencias en la administración de los sistemas de riego. Estas variables suelen estar asociadas a debilidad institucional, ineficiencia en la organización y gestión del propio sistema.

El estudio se centra en la experiencia Gestión del Fortalecimiento Institucional del Consorcio de Roca.

El sistema de riego del Alto Valle diseñado y construido hace más de 100 años es una obra extraordinaria que permite que se destaque como el valle irrigado más grande del país, marcando una grieta de 130 kilómetros en medio de la planicie patagónica. El hombre transformó ese valle, que era un desierto, en un lugar donde permitió consolidarse como uno de los ejes productivos más fuerte de toda la Patagonia.

El Consorcio Gral. Roca de Riego y Drenaje, es uno de los siete Consorcios del Alto Valle, el cual está conformado por una asociación de regantes, cuya responsabilidad principal, según su contrato de concesión, es el mantenimiento y la administración del sistema de riego, encargado de gestionar en forma integral la actividad de conducción y distribución de agua de riego en una superficie de 12.500 hectáreas aproximadamente, entregando agua para riego a 1.700 usuarios. El Consorcio tiene a su cargo 22 canales de riego con diferentes jerarquías, desde los canales secundarios a los cuaternarios, como 18 colectores/desagües los cuales cumplen la función de coleccionar, transportar y volcar los excedentes de agua de riego.

Descripción de la experiencia

El Consorcio de Riego se rige mediante un estatuto aprobado por la autoridad de aplicación, para su gestión, el cual establece las normas legales básicas de la institución, donde, además establece la renovación bianual de las autoridades frente a la administración del Consorcio.

En el 2011 se renovaron las autoridades de la Comisión Directiva de este Consorcio, y se decide profesionalizar la administración del mismo, y se opta por incorporar un Gerente.

Se reconoce que una adecuada gestión en los Sistemas de riego es indispensable para conseguir el éxito de la agricultura de riego.

A raíz de esta postura se decide realizar un análisis de los factores externos e internos que involucran en alguna medida la administración de los sistemas de riego.

El estudio se desarrolla en dos etapas denominadas respectivamente “Análisis de la actividad” y “Líneas de acción”.

1) Análisis de la actividad

En esta etapa se realizó un diagnóstico de las siguientes áreas; Organización y Administración, Usuarios, Infraestructura e impacto social.

Se advirtió el siguiente escenario:

- Dificultades importantes en lo que atañe al nivel de compromiso de los integrantes o usuarios.

- Baja participación de los usuarios en los órganos deliberativos de los consorcios.
- Baja integración de los consorcios en la agenda y políticas públicas.
- Precariedad financiera para la inversión en la infraestructura del Sistema de riego
- La combinación de tarifas muy reducidas y bajo nivel de cobranza.
- Inexistencia de incentivos para el uso eficiente del agua de riego, como de un esquema de valoración del agua.
- Infraestructura antigua y desgastada, que genera grandes pérdidas del recurso hídrico, junto con el escaso mantenimiento de canales comuneros, red más extensa de los canales de riego a cargo de los productores, generando ineficiencia en uso del agua. Poco interés de mantención de la red de distribución.
- Problemáticas en canales y comuneros respecto a la urbanización, movilizadas por grandes emprendimientos inmobiliarios, avanzando hacia las zonas de cultivo sin control, Crecimiento en la mayoría de los casos desordenado, con débiles políticas de ordenamiento territorial y sin incluir pautas de sostenibilidad ambiental, evidenciando en numerosas oportunidades vastas áreas deforestadas para dar lugar a nuevos asentamientos.

2) Líneas de acción

A partir de este escenario se plantearon 3 pilares fundamentales para el Fortalecimiento Institucional:

Participación

- Se fomentó en los usuarios un sentimiento de pertenencia a la Institución y que se sientan parte de la gestión integral.
- Se buscó tener mayor presencia y relación con otras instituciones.
- Se brindaron capacitaciones en prácticas que optimicen el uso de agua de riego y eviten el deterioro de los suelos



Figura 1.- Capacitación a personal del Consorcio.-

- Se estratificaron los regantes según la cantidad de hectáreas, y se diseñaron reuniones periódicas para escuchar las necesidades de cada sector.
- Con el inicio de la temporada de riego, se implementó el Acto de Apertura de Compuerta, esto tuvo su comienzo en 2017 y tiene el objetivo de poder revalorizar el sistema de riego a través de la historia del mismo.
- Se comenzaron a realizar Ciclos de charlas en escuelas primarias, secundarias y jardines de infantes.



Figura 2.- Jornadas de charlas a las escuelas por el día mundial del agua.-

Cultura del Agua

- Se propuso crear en la sociedad una cultura de valoración al agua de riego, basándose en la historia de los sistemas de riego bajo el lema “Los canales de Riego son los que dieron vida al Alto Valle”.
- Se orientó a los usuarios del agua a tomar conciencia de un uso de riego sostenible a través de capacitaciones y encuentros.
- Aplicación de nuevas tecnologías, Comunicación Digital
- Se compartió a todos los usuarios el reglamento de riego, ya que la mayoría tenía conocimiento de su existencia, pero desconocían su contenido.
- Se puso en funcionamiento un acta de notificación, para aquellas faltas leves y graves encuadradas en el Reglamento de riego

Manejo de conflictos

Dentro de las herramientas para identificar y manejar o resolver los conflictos que surgen tanto en zona de riego como del avance urbano, encontramos una gran variedad, entre ellas:

- Reuniones a campo con regantes y personal técnico del Consorcio, para realizar recorridos, mediciones, e intercambio de prácticas y saberes, que ayudaron a solucionar conflictos tanto entre usuarios como en la distribución del agua.
- Incorporación de software libres, QGis, para la planificación, ubicación, y estudio de la zona de influencia del Consorcio, como también de la visualización de conflictos en los sistemas de riego y drenaje.
- Anexión de aplicación interna, APP de Consorcio, para la facilitación de información entre los empleados del Consorcio, respecto a situación del regante, como de situación de canales de riego.
- Utilización de redes sociales para comunicar a los productores y a la población en general, sobre inicio y finalización de temporadas de riego, trabajos en curso y realizados, y charlas informativas de capacitaciones sobre red de riego.

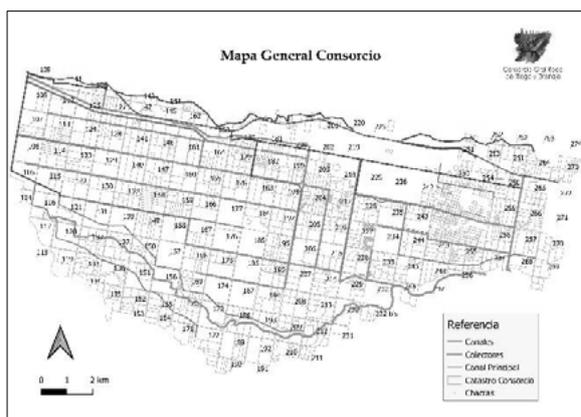


Figura 3.- Mapa ilustrativo con Software QGis.-

Conclusiones

Visto y considerando, se puede concluir que seguimos transitando un proceso de incorporar nuevas conductas y actitudes, más consientes, participativas y responsable en la gestión del agua para riego, encuadrándonos en conceptos de Gobernanza del agua logrando avances, implementando estratégicas que acompañan los diferentes procesos, mecanismos e instrumentos de la gestión integral del recurso hídrico: 1) la participación, 2) la prevención y transformación de conflictos, 3) la educación para la cultura del agua, 4) la gestión del conocimiento y la información y, por último, 5) el fortalecimiento institucional.

Referencias Bibliográficas

Sagardoy & Otros (1991). Ejemplar N° 40. *Organización, Operación y Mantenimiento de los sistemas de Riego*, FAO.

SISTEMA INTEGRAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN LA MUNICIPALIDAD DE LA CIUDAD DE SANTA FE

Gagliardi Ma. Paula, Serra Silvina

Municipalidad de la ciudad de Santa Fe, Argentina
E-mail: gagliardimp@gmail.com, silviserra08@gmail.com

Introducción

En la Argentina se han observado cambios en el clima desde la segunda mitad del siglo pasado, los cuales han tenido impactos sobre los sistemas naturales y humanos. De no mediar una adecuada adaptación dichos cambios se agudizarían en el futuro, aumentando los riesgos climáticos (MAyDS, 2022). Ante esta realidad, es fundamental que los gobiernos locales implementen medidas de adaptación que apunten a reducir los riesgos en las comunidades, especialmente en los sectores más vulnerables.

La magnitud del riesgo hídrico a la que se encuentra expuesta la ciudad de Santa Fe requiere de objetivos y metas estratégicas en los próximos años, que otorguen seguridad hídrica y sostenibilidad para las generaciones presentes y futuras.

En respuesta a ello, el municipio ha decidido renovar su enfoque de gestión y planificación de la ciudad en relación al riesgo hídrico, incorporando tecnología que permita identificar las amenazas y preparar la ciudad para nuevos eventos.

Objetivo

Proporcionar un diagnóstico instantáneo y unificado de todas las acciones posibles de actuación en la contingencia. Evaluar el funcionamiento hidráulico de la infraestructura actual, y los impactos que generarían nuevas intervenciones estructurales previstas, en el sistema de drenaje pluvial de la ciudad.

Santa Fe, la ciudad y sus desafíos

La ciudad de Santa Fe abarca una superficie aproximada de 6800 ha. Se destaca por su estratégica ubicación en la ribera de la confluencia de dos importantes sistemas fluviales: el río Salado en el oeste y la Laguna Setúbal (Sistema Paraná) hacia el este. Aunque este entorno fluvial ofrece ventajas socioeconómicas significativas, desafortunadamente, ambos ríos suelen generar inundaciones recurrentes en la región ocasionando graves daños tanto en términos socioeconómicos como ambientales.

Sumado a ello, el desarrollo urbano se ha consolidado sobre un territorio vulnerable, expuesto también a los fenómenos hidrometeorológicos que ocurren con mayor frecuencia e intensidad. La ciudad depende de complejos y costosos sistemas de protección contra inundaciones, que requieren de un cuidado permanente para que funcionen de manera correcta ante la crecida de los ríos, y que son imprescindibles ante lluvias intensas.

Los principales impactos que amenazan responden principalmente a los efectos del cambio climático. Se experimentan periódicamente anegamientos pluviales en zonas bajas altamente impermeabilizadas con una red drenaje insuficiente.

Históricamente, la falta de viviendas asequibles y la exclusión social han llevado a la aparición de nuevos asentamientos espontáneos en zonas bajas altamente vulnerables a las inundaciones y anegamientos. Las sucesivas crisis económicas también han contribuido al crecimiento de estas ocupaciones irregulares. Además, durante períodos de bajantes extraordinarias en los ríos Salado y Paraná se generan condiciones propicias para la formación de asentamientos no solo

en los valles de inundación, sino también en áreas directamente dentro del cauce fluvial, fuera de los anillos de defensa de la ciudad.

Estos retos demandan una renovación en la manera de gestionar y planificar la ciudad. Es por ello que desde el año 2020 se viene desarrollando e implementando el Sistema Integral para la Gestión del Riesgo Hídrico en la ciudad.

Descripción del Sistema

El Sistema Integral para la Gestión del Riesgo Hídrico contempla por un lado el diagnóstico espontáneo y a tiempo real del estado de la infraestructura hídrica de la ciudad, y por el otro el monitoreo de las variables hidrológicas, hidráulicas y operativas.

Este sistema se basa en 3 pilares: una base de datos geoespaciales, un sistema de monitoreo a tiempo real y un modelo de simulación hidrológica-hidráulica de las cuencas urbanas de la ciudad, Figura 1.



Figura 1.- Ejemplo de Figura.

1. Base de Datos Geoespaciales: está compuesta por un modelo digital de terreno de alta resolución de las cuencas de la ciudad, un relevamiento exhaustivo de la infraestructura del drenaje urbano de la ciudad que hasta el momento no se tenía, traza de terraplenes de defensa, estaciones de bombeo, topografía de manzanos, perfiles edilicios, espacios verdes, entre otros.

2. Sistema de Monitoreo de variables hidrológicas, hidráulicas y operativas, compuesta por:

- 13 estaciones meteorológicas automáticas que miden las variables de precipitación, temperatura, humedad, entre otras.
- 6 estaciones limnimétricas en los reservorios de las estaciones de bombeo que permiten monitorear los niveles de los reservorios y, además, conocer las variables operativas como prendido-apagado de bombas, estado operativo, entre otras.
- 3 estaciones freatimétricas ubicadas en el distrito La Costa.

El monitoreo en tiempo real de todos estos puntos estratégicamente seleccionados posibilita el diagnóstico de los eventos de lluvia, del estado de las redes de drenaje y del

funcionamiento de las estaciones de bombeo. Con la información recibida en tiempo real (Figura 3), se optimiza la capacidad de respuesta operativa durante la contingencia y la detección temprana de fallas del sistema de drenaje y de bombeo. A su vez, todos estos datos alimentan el modelo hidrológico-hidráulico.

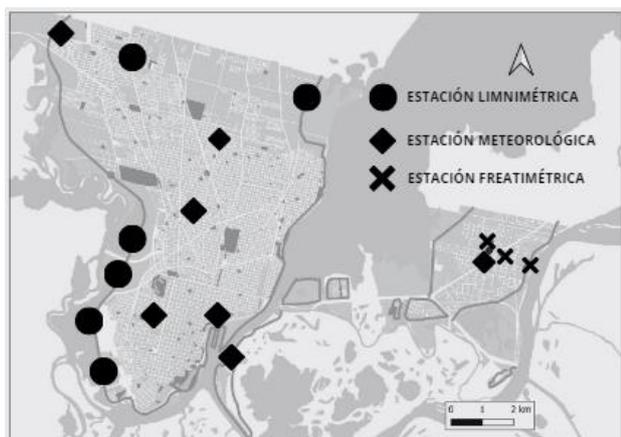


Figura 2.- Ubicación estaciones de monitoreo.

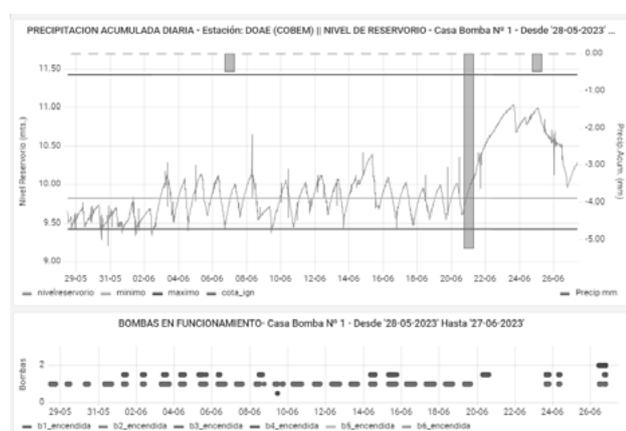


Figura 3.- Captura pantalla visualización sistema monitoreo.

3. **Modelo de Simulación Hidrológica – Hidráulica:** en cada una de las cuencas de la ciudad se utiliza como herramienta de evaluación y diagnóstico del estado de la red de drenaje. Esto se lleva a cabo a través de la implementación del modelo distribuido HydroBID-Flood (Hydronia, 2022), acoplado al modelo EPA-SWMM (EPA-SWMM, 2020), a través de su módulo de drenaje urbano en el entorno del Sistema de Información Geográfica QGIS, herramienta de análisis y cálculo moderna que permite articular todas las variables que intervienen en la gestión hídrica.

Resultados

La implementación y el continuo desarrollo del Sistema Integral para la Gestión del Riesgo Hídrico en el municipio posibilitan avanzar en cuestiones fundamentales para la mitigación del riesgo hídrico en la ciudad.

En primer lugar, se tomó la decisión institucional de utilizar esta innovadora metodología para abordar la necesidad de revisar y actualizar el Plan Director de Desagües Pluviales (INA, 2000), el cual fue establecido en el año 2000. Los modelos implementados brindan resultados más precisos y detallados, lo cual es de suma importancia para una planificación efectiva. Hasta el momento, se ha llevado a cabo el análisis en el 55% de la superficie total de la ciudad. Las simulaciones, que se realizan a nivel cuenca, permiten evaluar el comportamiento de la red para diferentes

recurrencias. Además, se simulan eventos ocurridos y registrados en la red de estaciones meteorológicas, con el fin de determinar si los anegamientos obtenidos se validan con los observados. Este proceso se da a través de la comparación de fotografías, identificación de reclamos de los vecinos, y a partir de un intercambio de presentación de resultados con el área operativa del municipio, quienes son los encargados del mantenimiento de la red pluvial de la ciudad, y asisten en el transcurso de una contingencia hídrica.

El monitoreo de la red pluvial permitió comenzar a generar una base de datos confiable y completa, necesaria para la calibración de las simulaciones hidrológicas-hidráulicas. Por otro lado, la recopilación de datos hidrométricos en reservorios y estaciones de bombeo ha permitido obtener información precisa sobre el funcionamiento del sistema, que hasta el momento no se tenía. Se llevaron a cabo ensayos de bombeo con el objetivo de obtener una actualización precisa de los volúmenes en cada uno de los reservorios. Asimismo, el monitoreo continuo de los niveles en dichos reservorios proporciona información en tiempo real sobre su nivel de afectación. Esta información, combinada con un conocimiento detallado de la topografía, permite obtener registros precisos sobre la altura de agua asociada en cada uno. Estos datos adquieren una relevancia particular al considerar la presencia de asentamientos informales en las cercanías de los reservorios, permitiendo una mejor evaluación de los riesgos y la adopción de las medidas adecuadas.

Conclusiones

Los beneficios de incorporar este sistema son numerosos. En primer lugar, permite una respuesta más rápida y eficiente de las áreas operativas que intervienen en la contingencia frente a eventos climáticos extremos. Además, al contar con datos actualizados y precisos sobre variables hidrometeorológicas, se puede mejorar la planificación de obras, optimizando así los recursos.

La continua actualización y desarrollo de la base de datos geoespaciales, la ampliación del Sistema de Monitoreo con la instalación de nuevas estaciones, y el desarrollo de nuevas modelaciones hidrológicas-hidráulicas en la totalidad de las cuencas de la ciudad seguirá permitiendo el diagnóstico de problemas hídricos, el diseño de obras hidráulicas eficientes y la optimización de recursos.

Referencias

- MAyDS (2022) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación Argentina. “Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático”.
- Hydromia LLC (2022), “RiverFlow2D Two-Dimensional Flood and River Dynamics Model Reference Manual”, <http://dx.doi.org/10.18235/0001718>.
- EPA-SWMM (2020), Storm Water Management Model v. 5.1015. United States Environmental Protection Agency.
- INA (1999), “Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad”, Municipalidad de Santa Fe, Santa Fe, Argentina

LA GESTIÓN NO ESTATAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA. SU IMPORTANCIA EN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Nicolas Gonzalez Del Solar

Instituto de Agua y Ambiente de la Universidad de Mendoza, Catedra de Derecho de Aguas Universidad de Mendoza, Argentina

nicolas.gdelsolar@um.edu.ar

Introducción

El cambio climático reconocido y su repercusión sobre el ciclo hidrológico, exige una adaptación urgente en los modos de asignar, administrar, utilizar y gestionar el recurso hídrico.

La naturaleza ha perdido capacidad de resiliencia, es decir, de mantener su propia identidad y el equilibrio del sistema se está quebrando. Por eso vemos tormentas y huracanes que sorprenden, inviernos helados, veranos agobiantes; todo va hacia los extremos. Hay sitios donde hay demasiada agua y se provocan inundaciones y hay otros en los que ya no alcanza para vivir. Por exceso o por defecto, vemos una alteración de la armonía natural (Lorenzetti, Ricardo Luis y Lorenzetti Pablo 2018).

Sequias e inundaciones son fenómenos naturales, pero dado sus dañinos efectos en muchas ocasiones, cuentan con una cierta regulación en el ordenamiento jurídico, variable según países y progresos de la ciencia, también de la jurídica como plasmación, resultado, de lo acontecido en otros ámbitos científicos. Con esa premisa es constatable que en bastantes ocasiones la normativa actual es consecuencia directa de graves acontecimientos que han llevado, por los mayores conocimientos técnicos que ahora se tienen sobre ellos, a producir modificaciones en el ordenamiento jurídico (Embid Irujo, 2018).

La participación de los usuarios de las aguas subterráneas en Argentina y en Mendoza

El concepto de la participación de los usuarios en la gestión del agua resulta una premisa esencial en el moderno derecho de aguas (Embid Irujo, 2015), concepto que debería entenderse comprensivo sobre todas las aguas públicas, sin embargo, al igual que sucede en casi todas las provincias argentinas, la experiencia respecto a la existencia formal de entidades asociativas para el uso del agua subterránea en Mendoza es nula, a pesar de poseer el marco normativo que las prevé.

El término “participación” refiere a colaborar y a tomar parte en el manejo del recurso hídrico que siendo de dominio público y administrado en su dimensión macroscópica por el Estado, es además gestionado por quienes lo aprovechan efectivamente.

Asimismo en nombre “gestión no estatal”, refiere en el contexto del presente trabajo precisamente a la naturaleza jurídica y condición legal de las figuras asociativas que se analizan dentro del marco legal del Derecho de aguas en la República Argentina.

Esto es, en el entendimiento de que las aguas subterráneas se encuentran comprendidas dentro de los bienes de dominio público de acuerdo con lo que establece el Código Civil y Comercial de la Nación y por la conformación federal del país, son las provincias las que detentan el dominio de esas aguas subterráneas y en tanto jurisdicciones locales son quienes las disponen y las administran.

Lo expuesto en el párrafo anterior valga para aclarar que la terminología “no estatal” hace referencia a que los consorcios de usuarios de aguas subterráneas, al igual que las denominadas Inspecciones de cauce o de regantes, en Argentina, son personas jurídicas de derecho público tal como lo mencionan las leyes y códigos de aguas a los cuales se ha hecho mención, pero no son instituciones estatales.

No implica entonces un autogobierno absoluto, fuera del control que siempre debe existir por parte del Estado como titular del dominio hídrico y responsable último y primero de la administración y buen manejo del recurso (Gonzalez del Solar 2017).

En la actualidad, en que un número importante de países se enfrenta a condiciones hídricas preocupantes, la gestión de este tipo de recursos se ha convertido en un tema clave y de obligado análisis jurídico, social, político y económico. En este sentido, además de que muchas cuencas y acuíferos se están secando, se está llegando a niveles muy elevados de demanda hídrica, superando con creces la oferta disponible de recursos. Ante este escenario, surgen diferentes estrategias y propuestas para gestionar las aguas.

Es prácticamente unánime la opinión de los especialistas iberoamericanos sobre la necesidad y al mismo tiempo la dificultad de la implementación de un modelo de comunidad de usuarios de aguas subterráneas tan afianzado como el que existe para las aguas superficiales.

En tal contexto aparecen las principales dificultades asociadas a la inclusión de los titulares de derechos de aguas subterráneas en instancias colectivas de gestión del recurso, como son las organizaciones de usuarios. Dichas dificultades provienen de una razón práctica: los aprovechamientos de aguas subterráneas son generalmente individuales, de modo que su inserción en esas fórmulas colectivas, al menos en la forma en que actualmente se las considera, resulta un tanto forzada (Rivera Bravo, 2015).

La experiencia normativa en la legislación comparada, por caso en Chile o España, si bien más avanzada en especial en ésta última, poseen dispositivos en los cuales mencionan a los consorcios en ocasión de una urgencia o necesidad. Es decir, ante la existencia de un acuífero sobreexplotado o en vías de estarlo. Situación en la cual la Administración compele a los usuarios a formar una comunidad o consorcio de una masa de agua en esas condiciones. Así lo disponía por ejemplo el artículo 79 de la ley de aguas de España.

Lo que autoriza a pensar que tales entidades asociativas existirán al solo efecto de auto controlarse o paliar el negativo impacto que tendría la incorporación libre de nuevos usuarios o el control que realizan los usuarios en orden a su ingreso, esto es el caso de lo que sucede con los usuarios junior como lo denominan las legislaciones norteamericanas, especialmente las del oeste ante la figura de la autorregulación en condiciones de escasez.

Presupuestos de aglutinamiento de usuarios de aguas subterráneas

Así como los usuarios regantes con aguas superficiales se aglutinan en virtud de utilizar un mismo curso o sistema de agua natural o artificial, es posible aglutinar a los usuarios de aguas subterráneas a partir de distintos presupuestos.

Esta participación puede adoptar muchas formas y tener lugar en diversos niveles territoriales que van desde aldeas a sistema de acuífero o incluso a nivel de cuenca fluvial y debería ser nutrida cabalmente como una importante contribución para la conservación de agua subterránea, su gestión y protección; de otra manera su efectividad puede verse muy reducida (Foster y

Shah, 2013).

Mandato legal. Obligatorio

Este supuesto surge en virtud del cual los usuarios se aglutinan de forma compulsiva u obligatoria, como los casos analizados del art. 87, I y II del Texto Refundido de la Ley de Aguas de España (TRLA) o el art. 65 del Código de Aguas de Chile. Aquí los usuarios deben conformar una comunidad de usuarios obligados por la ley ante circunstancias sobrevinientes como es el caso de la declaración de un acuífero sobreexplotado o como también se le ha dado en llamar, masa de agua en estado crítico, so pena de efectuarlo la Autoridad respectiva.

Reconocimiento legal. Voluntario

Aquí los usuarios se reunirán o aglutinarán si así lo desean, pero al hacerlo podrán ser reconocidos formal o legalmente por parte de la Autoridad. En el supuesto descripto, no existe la obligación por parte de la ley, sin embargo, la figura asociativa está prevista y contemplada en los textos normativos. Es el caso la mayoría de las leyes y códigos de aguas de la República Argentina, ya mencionados. Algo similar a lo que sucede con las asociaciones de segundo grado que tiene previsto la ley 6405, que denomina Asociaciones de Inspecciones de Cauce, o también en la legislación comparada, el art. 186 del Código de aguas chileno respecto de las denominadas Asociaciones de Segundo Grado.

Soporte físico de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas

Respecto a la figura legal que deba dársele a una comunidad de usuarios de agua subterránea, cierto es que la misma variará dependiendo de la normativa en materia de aguas y la legislación general referida a la formalización de colectivos o entidades asociativas, en su caso.

Ahora bien, respecto al soporte físico y jurisdiccional de una comunidad de usuarios, el mismo puede resultar a partir de diferentes factores particulares.

Acuífero o masa de agua común

La mayoría de las legislaciones comentadas coinciden en aglutinar a los usuarios de un mismo acuífero o una misma fuente, ya porque se encuentra en estado crítico o en riesgo de sobreexplotación o no, pues es una lógica forma de circunscribir y delimitar geográfica e hidrográficamente su ámbito de acción.

Algunas legislaciones amplían el concepto a Unidad Hidrogeológica o Sector Hidrogeológico, como es el caso del TRLA de España que emplea terminología técnica utilizada por el Instituto Geológico y Minero de ese país y refiere a uno o varios acuíferos que se agrupan a efectos de conseguir una administración del agua racional y eficaz y son definidos en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

En otros casos, como por ejemplo la ley de aguas de la provincia de La Rioja define a los Consorcios de Usuarios de Agua como organizaciones sociales que nuclean a varios usuarios que se localizan en un área geográfica que puede ser servida por una o más fuentes de agua, lo que indica la posibilidad de que se reúnan conformando un consorcio con independencia de la fuente de provisión, es decir superficial o subterránea.

Captación o pozo común

Es posible el agrupamiento de los usuarios de aguas subterráneas a partir de una captación o un conjunto de captaciones comunes. En este supuesto, los integrantes del colectivo utilizan una infraestructura hidráulica común, compartiendo y prorrateando los costes de operación y mantenimiento de la misma, con independencia de la fuente hidrogeológica que provee el recurso.

Conclusiones

La conformación y reconocimiento de las comunidades de usuarios de las aguas subterráneas en Argentina, es una tarea de indudable complejidad, sin embargo, ello no debe ser óbice para que el Estado asuma esa tarea. Asimismo se ha identificado un similar desafío en países tales como Chile y España.

Tales desafíos resultan de abordar no solamente su conformación sino también lograr a futuro su integración con las estructuras de las figuras asociativas que tienen la gestión del agua superficial.

El estado del arte y de la técnica le permiten a la tecno-burocracia bien desempeñada perfectamente llevar a cabo la organización de las comunidades de usuarios de aguas subterráneas.

El cambio climático y los fenómenos hidrológicos que a consecuencia surgen requieren de una adaptación y reformulación de las políticas y la administración hídricas que deben incluir al usuario de las aguas subterráneas ya no como un utilizador individual y aislado sino como parte de un todo, como engranaje de un mecanismo político institucional elaborador de planes, de programas y eventualmente de políticas tal como ocurre con las comunidades de usuarios de aguas superficiales.

Si acaso el cambio climático obliga al hombre a adaptarse y entendemos a la adaptación como evolución, la conclusión no es otra que fomentar y trabajar para la creación, reconocimiento e integración de los grupos no estatales de gestión del agua subterránea, de lo contrario seguiremos pregonando la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de manera parcial.

Referencias

Embid Irujo, Antonio (2015). Organizaciones de Usuarios y Participación en la Gestión del agua en el Derecho español: Reflexiones generales y Consideración de la reciente legislación peruana de aguas sobre estas cuestiones, en *Cinco años de la Ley de Recursos Hídricos en el Perú, Segundas Jornadas de Derecho de Aguas, Centro de Investigación, Capacitación y Asesoría jurídica*, Departamento Académico de Derecho, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Embid Irujo, Antonio (2018). Sequía e Inundación como fenómenos hidrológicos extremos, Thomson Reuters Aranzadi, Navarra

Foster, Stephen y Shah, Tushaar, (2013). Aguas subterráneas y agricultura de regadío: Haciendo una relación beneficiosa más sostenible. Documento de Perspectiva, *Global Water Partnership*, disponible en www.gwptoolbox.org

Gonzalez del Solar, Nicolas (2017), Régimen Legal de las Aguas Subterráneas en Argentina, Lajouane, Ciudad de Buenos Aires

Lorenzetti, Ricardo Luis y Lorenzetti, Pablo (2018). *Derecho Ambiental*, Rubizal Culzoni, Santa Fé.

Rivera Bravo, Daniela (2015). Derechos de aguas subterráneas, su compleja incorporación en organizaciones de usuarios: el caso chileno, en *Cinco años de la Ley de Recursos Hídricos en el Perú, Segundas Jornadas de Derecho de Aguas, Lima, Centro de Investigación, Capacitación y Asesoría Jurídica*, Departamento Académico de Derecho, Pontificia Universidad Católica del Perú.

COOPERACIÓN INTERSECTORIAL PARA ALCANZAR EL ACCESO UNIVERSAL AL AGUA POTABLE EN AZUL, BUENOS AIRES

Gualde, María Soledad ^{1,2}, Maino Minetto, Matías ^{1,2}, Peralta Reyes, María Eugenia ³
Marcovecchio, Romina ^{1,2}, Dietrich Sebastián ^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CABA C1425FQB, Buenos Aires, Argentina.

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina.

³ Cooperativa Eléctrica de Azul Limitada (CEAL), Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina.

E-mail autores: msgualde@ihlla.org.ar, matiasmaino@ihlla.org.ar, meperaltareyes@ceal.com.ar, marcovecchio@ihlla.org.ar, seabdietrich@ihlla.org.ar

El acceso al agua potable es un derecho humano básico y una necesidad crítica para la supervivencia y bienestar de las personas. Garantizar su disponibilidad y gestionarla en forma sostenible es crucial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para el año 2030 (Asamblea General de Naciones Unidas, Res. 70/1, 2015), en particular el ODS 6, que pretende garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento. La cooperación intersectorial es fundamental para lograr estas metas y mejorar la infraestructura y los servicios de agua potable y saneamiento. Varios estudios (Fernández-Vargas, 2020; Gonzales Aubone, 2020; Jiménez et al., 2020) han demostrado que para lograr los objetivos del ODS 6 es necesaria la colaboración y coordinación entre diferentes actores, incluyendo gobiernos, sociedad civil, el mundo académico y el sector privado. La colaboración entre instituciones, en el marco de la gobernanza del agua, engloba una variedad de acciones, que dependen de los objetivos (específicos y conjuntos) de cada institución y deben adaptarse a las necesidades propias de cada contexto económico y social (OECD, 2015). Estas acciones incluyen la elaboración, planificación y toma de decisiones, para hacer efectivos los planes de monitoreo y evaluación del agua, la implementación de programas de conservación, el fortalecimiento de capacidades ante eventos extremos, la implementación de políticas, entre otras.

En esta contribución se expone un ejemplo de cooperación intersectorial para alcanzar la gestión sostenible del agua subterránea en Azul, provincia de Buenos Aires, que contiene una serie de acciones que se han llevado a cabo siguiendo los lineamientos de la gobernanza del agua (Fig. 1).

La ciudad de Azul, de aproximadamente 70.000 habitantes, está ubicada en el centro del territorio bonaerense y se encuentra emplazada en la vertiente sur de la cuenca del Salado, ámbito de la llanura Pampeana. La totalidad de agua para uso y consumo humano en la localidad se obtiene mediante perforaciones que captan agua del acuífero Pampeano. Este acuífero se caracteriza por su variabilidad hidroquímica, la cual, está asociada a factores locales como la geomorfología, la litología y los diferentes tiempos de residencia del agua subterránea. Sumado a ello, los sedimentos que conforman el acuífero Pampeano en la región son fuente natural de elementos químicos nocivos para la salud, entre los que se encuentran el arsénico y el flúor (Nicolli et al., 2012; Zabala et al., 2016; Dietrich et al., 2022). Estas especies químicas son de preocupación global debido a que se consideran contaminantes que deben ser gestionados de forma segura en el suministro de agua potable (OMS, UNICEF, 2017).

En este aspecto, y siguiendo los lineamientos de la OMS (2018) para la mitigación de la exposición humana a estos contaminantes, es que nace la necesidad de un trabajo conjunto que involucra dos de las instituciones más importantes de la ciudad: la Cooperativa Eléctrica de Azul Limitada (CEAL) y el Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA). La CEAL es la responsable de la distribución de agua potable en la ciudad, mientras que el IHLLA es un instituto de

investigación especializado en estudios hidrológicos. Desde el año 2010, estas instituciones vienen sosteniendo una relación colaborativa, formalizada a través del Convenio Marco de Cooperación, aprobado por OCS N° 3771/2010. Dentro del mismo se han suscrito diferentes convenios específicos, siendo el vigente aquel aprobado por Res. N° 283 del año 2022 y que tiene como objetivo trabajar sobre la calidad del servicio de distribución del agua. Dentro de este convenio se realizaron por primera vez, trabajos tendientes al monitoreo y estudio del As y el F (y también metales pesados) en el agua subterránea, así como un análisis de riesgo (Dietrich y Peluso, 2020; Dietrich y Gualde, 2020).



Figura 1: Gestión sostenible del Agua subterránea en Azul en el marco de la cooperación entre instituciones.

En la actualidad, este trabajo conjunto tiene como objetivo continuar con el monitoreo del As y F robusteciendo el modelo hidrogeológico conceptual de la ciudad con el fin de proporcionar directrices científicas a la CEAL para la exploración hídrica, logrando un equilibrio entre obtener caudales razonables y la menor concentración posible de estas especies nocivas para la salud. La colaboración intersectorial consiste principalmente en la transferencia de información en el marco de la cooperación como función de la gobernanza, a fin de alcanzar las metas comunes.

Inicialmente, se han evaluado los datos de los análisis hidroquímicos trimestrales proporcionados por la CEAL (históricos y actuales) provenientes de muestras de agua de los pozos de la ciudad. A esta información, se le ha acoplado un análisis de isótopos estables de muestras de agua en sitios específicamente seleccionados por el IHLLA. Como tarea complementaria, se han digitalizado los planos de las perforaciones efectuadas en Azul, desde el año 1940 a la actualidad, con el propósito de sumar información litológica antecedente para el diseño de un modelo geológico de subsuelo. Además, desde 2019 la CEAL ha realizado diversas perforaciones de exploración y explotación, a fin de ampliar la red de agua potable esencialmente debido al aumento de la urbanización. A tal efecto, el IHLLA ha asesorado técnicamente a la cooperativa tanto con personal como con instrumental. En cada una de estas tareas se realizó el control geológico y se construyó un informe del perfil litológico de las formaciones atravesadas durante las labores de perforación. Asimismo, se han recuperado muestras de sedimentos para análisis texturales y geoquímicos. También se efectuaron perfilajes de pozo (perfiles de resistividad, rayos gama y potencial espontáneo) a los cuales se los interpretó y se parametrizó utilizando la información de los informes litológicos. A partir de los trabajos de campo, y el posterior procesamiento de información (análisis de sedimentos, perfilajes de pozo y ensayo de bombeo), se plantearon las recomendaciones de los diseños de pozo respecto a la ubicación de las zonas filtrantes, siguiendo los objetivos comunes. Mediante la evaluación y análisis exploratorio de datos se logró definir directrices orientadoras para la exploración y explotación, basadas en criterios científicos que posibilitan a la CEAL la obtención de agua de calidad adecuada, prestando especial atención a los niveles de As y F, y considerando los caudales necesarios para la distribución del agua en la ciudad.

Los resultados de esta cooperación entre instituciones, demuestran que es posible trabajar en conjunto, en este caso mediante la transferencia de conocimiento, hacia la gestión sostenible del recurso hídrico agua subterránea. No obstante, esta colaboración se encuentra aún en desarrollo por lo que requerirá de cierto tiempo para poder mejorar y acelerar diversas cuestiones relacionadas a la coordinación y planificación de las actividades. Por ejemplo, se ha identificado que ambas instituciones abordan las problemáticas y su resolución utilizando diferentes metodologías o enfoques. Esto demanda (y demandará) el intercambio de conocimientos y la discusión de ideas y propuestas en forma previa a la ejecución de las diferentes acciones. La generación de estos espacios de intercambio y discusión a menudo no es fácil de lograr ya que la cotidianeidad de las instituciones muchas veces atenta contra la misma. Por otro lado, pero siempre en relación a la gestión conjunta del recurso hídrico, hemos detectado que desde el sector científico normalmente se proponen soluciones exclusivamente desde el punto de vista técnico, las cuales muchas veces son inviables debido que no contemplan las complejas situaciones sociales y económicas que atraviesan a la sociedad local. Se ha advertido también, que la gestión del recurso es realizada por muy pocas personas, quienes a menudo se ven desbordadas debido al sinnúmero de responsabilidades que tienen bajo su órbita.

En conclusión, la gestión sostenible del recurso hídrico es un tema clave en la actualidad, especialmente en lo que se refiere al agua subterránea, dado que en muchas ciudades de la Argentina, como en el caso de Azul es la única fuente de obtención de este recurso. Es evidente, que para lograr el ODS 6, se requiere una gobernanza del agua adecuada, que involucre a todos los actores relevantes. Esto implica la necesidad de establecer un marco normativo y regulatorio sólido que defina los derechos y responsabilidades de todas las partes involucradas en la gestión del agua. En este sentido, los Convenios Marco de Cooperación que se han firmado entre la CEAL y el IHLLA, son un gran avance en cuanto a la gobernanza del agua en el ámbito local ya

que significan una acción concreta con resultados tangibles. Quedan muchos desafíos por sortear, desde mancomunar los lenguajes y visiones de cada una de las instituciones hasta las relaciones y los mecanismos para abordar y concretar los objetivos propuestos. Sin dudas, la firma de convenios de cooperación así como la transferencia de información y conocimiento entre las instituciones es un gran paso para alcanzar las metas conjuntas hacia la gestión sostenible del recurso agua subterránea en la ciudad de Azul.

Referencias Bibliográficas

- Asamblea General de las Naciones Unidas.** (2015). "Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015". URL: <https://documents-dds.ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/93/PDF/N1529193.pdf?OpenElement>
- Dietrich, S. y Gualde, M.S.** (2020) "Informe de Avance II: Evaluación técnica de las fuentes de agua subterránea y del sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Azul". *Convenio específico de Colaboración (UNCPBA-IHLLA-CEAL)*. Inédito, Azul, Buenos Aires, Argentina.
- Dietrich, S. y Peluso, F.** (2020). "Informe de Avance I: Evaluación técnica de las fuentes de agua subterránea y del sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Azul". *Convenio específico de Colaboración (UNCPBA-IHLLA-CEAL)*. Inédito, Azul, Buenos Aires, Argentina.
- Dietrich, S., Roa, O., Gualde, M. S., y Weinzettel, P.** (2022). "Controles hidrogeoquímicos sobre la concentración de arsénico en el acuífero somero de la región pampeana". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 79(3), pp. 498-515.
- Fernández-Vargas, G.** (2020). "La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Latinoamérica". *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, Vol. 23(2).
- Gonzalez Aubone, F.** (2020). "El nudo gordiano de la gobernanza del agua en la Argentina". *UNR Editora*. Rosario, Argentina.
- Jiménez, A., Saikia, P., Giné, R., Avello, P., Leten, J., Liss Lymer, B., Schneider, K., Ward, R.** (2020). "Unpacking Water Governance: A Framework for Practitioners". *Water*, Vol. 12(3), 827.
- Nicolli, H.B., Bundschuh, J., Blanco, M.C. Tujchneider, O.C., Panarello, H.O., Dapeña, C., Rusansky, J.E.** (2012). "Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100 years of research". *Science of The Total Environment*, Vol. 429, pp. 36-56.
- OECD** (2015). "Principios de la gobernanza del agua" *con el beneplácito de los Ministros en la Reunión del Consejo Ministerial de la OCDE* el 4 de junio de 2015, París, Francia.
- OMS** (2018). "Arsenic. Key facts". URL: <http://www.OMS.int/en/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- OMS, UNICEF** (2017). "Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 update and SDG Baselines". Geneva: World Health Organization (OMS) and the United Nations Children's Fund (UNICEF).
- Zabala, M.E., Manzano, M., Vives, L.** (2016). "Assessment of processes controlling the regional distribution of fluoride and arsenic in groundwater of the Pampeano Aquifer in the Del Azul Creek basin (Argentina)". *Journal of hydrology*, Vol. 541, pp. 1067-1087.

PARTICULARIDADES Y POTENCIAL EN ÁREAS DE REGADÍO DE PERIURBANOS DEL ALTO VALLE DE RIO NEGRO Y NEUQUÉN

Guiñazú Maira, Sheridan Miguel

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Instituto de Investigación para la Agricultura Familiar Patagonia (IPAF) PATAGONIA), Argentina.

E-mail: guinazu.maira@inta.gob.ar, sheridan.miguel@inta.gob.ar

Introducción

La agricultura urbana y periurbana engloba prácticas que generan alimentos y productos mediante procesos agrícolas que se llevan a cabo en la tierra u otros espacios en las ciudades o las regiones circundantes (FAO, 2022).

Los periurbanos son territorios en tensión; entre el suelo ya urbanizado y el que está sujeto a expectativas de valorización por el avance de la urbanización, así como por el riesgo de su eventual ocupación informal. (Goites et al, 2020)

En el Alto Valle de Río Negro y Neuquén (AVRNyN), los regadíos periurbanos destacan por servicios ecosistémicos y producción alimentaria, impulsados por agricultura familiar, campesina e indígena.

El objetivo de trabajo fue relevar las opiniones y perspectivas de personas con roles diversos, involucradas en la gestión, operación, planificación y diversos usos del sistema de regadío a escala predial/distrital/ejidal en la zona del AVRNyN. La finalidad es precisar estrategias de intervención socio-técnicas.

Materiales y métodos

La metodología utilizada para la investigación fue revisión bibliográfica y entrevistas semiestructuradas mediante formulario Google forms, en un total de 18 personas, provenientes de las provincias de Río Negro (Localidades de: Contralmirante Cordero, Cinco Saltos, Cipolletti, Gral. Roca) y Neuquén (Localidades de: Neuquén capital, Plottier y, Senillosa). Las personas participantes de las entrevistas fueron seleccionados de acuerdo a distintos perfiles y roles en el sistema de regadío: usuario regante del sistema, usuario no regante del sistema, gestor/decisor (en el cual se incluye la categoría de tomeros), personal vinculado a ciencia y técnica, y otros grupos.

La entrevista tuvo en cuenta aspectos referidos a: 1- Cuestiones vinculados a la existencia presente y futura de los periurbanos de regadío (PUR); 2- Cuestiones vinculados a la gestión del agua.

Los datos obtenidos de las entrevistas fueron procesados mediante tablas que reflejan la percepción de cada caso entrevistado. Los resultados y análisis de dichas tablas son presentadas en el apartado Resultados.

Resultados y Discusión

La distribución de porcentajes de personas entrevistados por categoría correspondió en su mayoría a la categoría gestor/decisor con un 35%, seguido por ciencia y técnica con 29%, 18% usuario regante y no regante del sistema y 18% otros grupos.

Los periurbanos de regadío son considerados de importancia para el sistema productivo. De las personas encuestadas, la amplia mayoría (94,5%) tiene opinión formada sobre el tema. La totalidad de los entrevistados, se enfoca en la particularidad propia del concepto PUR en cuanto a emergente de la síntesis entre ambos componentes de la dualidad periurbano / sistema de riego y drenaje. Aparecen en las respuestas, cuatro planos

conceptuales que profundizan de diversa manera la caracterización de la síntesis que implica el PUR, según el énfasis que planteó cada persona: a) énfasis en la necesidad de preservación de estos espacios por sus múltiples beneficios, b) énfasis en la complejidad, trama de intereses y conflictividad que implica el devenir de estas porciones territoriales, c) énfasis en la potencialidad estratégica que representan los PUR en cuanto la integralidad alimentación-ambiente, y d) énfasis en la necesaria visibilización de los PUR mediante estudios dinámicos y su divulgación. Los tres primeros planos conceptuales mencionados, se expresan equitativamente con un 28% de las respuestas y el cuarto representa el 16 % de las opiniones

En lo que respecta a la relevancia del riego y el drenaje en la agricultura, un riego adecuado garantiza que las plantas reciban el agua que necesitan para crecer y prosperar, mientras que un drenaje correcto evita el anegamiento, que puede matar a las plantas. En la figura 1, se observa que la mayoría de los entrevistados manifiestan que el principal uso del sistema está asociado al riego, seguido por el drenaje. La evacuación de excedentes de agua de lluvia, la provisión de servicios ambientales y la recreación de los usuarios se encuentran en tercer, cuarto y quinto lugar respectivamente.

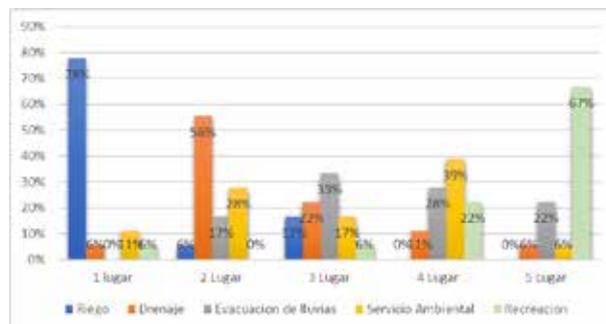


Figura 1.- Importancia relativa asignada a distintos usos del sistema de riego y drenaje

A nivel histórico, la revolución industrial y el desarrollo capitalista provocaron la redefinición de los vínculos entre agricultura y ciudad, resultado del proceso de concentración del poder económico, político y social en las áreas urbanas, y la desestructuración y pérdida de peso de las sociedades campesinas, con la apropiación consiguiente de los espacios rurales próximos a la ciudad por agentes urbanos. La gestión activa de la agricultura periurbana en este nuevo contexto requiere un mayor y mejor conocimiento del complejo sistema, de usos, agentes, intereses y demandas asociados a ella.

Mantener los PUR y potenciarlos es una acción clave para detener el avance indiscriminado sobre áreas productivas. Para ello, numerosas estrategias se pueden plantear. Las recomendaciones brindadas por los entrevistados se agruparon en categorías, aquellas vinculadas a la gestión de estos espacios, otras relacionadas al diagnóstico y planificación, a la legislación y a la articulación interinstitucional. La mayoría de las sugerencias se encuentran dentro de las categorías legislación y

gestión.

Algunos de los testimonios brindados sintetizan lo enunciado precedentemente:

Normativas para protección y conservación de los espacios y para la determinación de técnicas de producción, estrategias de ordenamiento territorial, en consenso municipal, provincial y nacional (Entrevistado que se percibe como gestor/decisor).

Promover una “Nueva Ruralidad”, volver a la tierra sosteniendo otros modelos de agricultura con presencia del productor (Entrevistado que se percibe como usuario regante del sistema).

La protección de los PUR mediante la zonificación es una de las estrategias que se aplican en diferentes regiones del mundo. En la zona de estudio se podría plantear esta iniciativa mediante la inclusión de una categoría específica para el Ordenamiento Territorial (O.T). Ante la consulta sobre la viabilidad de esta posibilidad a los entrevistados fue considerada necesaria y valorada positivamente por la totalidad de los mismos. Solo en un caso, a la valoración mencionada se le agrega la percepción de dificultad en su implementación. Otro caso pondera la gestión y el estudio de la complejidad y dinámica del territorio más que su ordenamiento.

En diversos países la experiencia de décadas de planificación urbanística y territorial ha puesto de manifiesto, junto a la pérdida irreparable de muchos suelos fértiles en entornos urbanos, la insuficiencia de la protección pasiva a través de la zonificación – siendo imprescindible– de las tierras de la agricultura. Son necesarios nuevos instrumentos desde la planificación territorial, ambiental y rural que impulsen la vitalidad del sistema agroalimentario sobre la base de una gestión innovadora y participativa de todos los agentes, en particular de las agricultoras y agricultores.

De esta manera, en relación al párrafo anterior, del análisis de las entrevistas aparece una diversidad de conceptos anexos que facilitarían viabilizar la incorporación de la categoría PUR en la zonificación y el O.T en el área en estudio. Así se destacan; la mejor articulación entre decisores y gestores, la necesaria participación de organizaciones, la definición de parámetros para esa categoría, la generación de un canon de riego específico, la especificidad de áreas de gobierno para el tema, el fortalecimiento de la capacidad operativa para la temática con financiación provincial y nacional.

Cuando se analizan las opiniones sobre este tema, según la categoría en que se sitúa cada persona, quienes se ubican en “Ciencia y Técnica” a la valoración positiva, con diferentes niveles de dificultad percibida, ponen énfasis en la articulación e innovación. Las personas autoidentificadas como “Usuarios” resaltan que la categoría mencionada permitiría el sostenimiento de áreas productivas. En tanto, las personas que se ubican como de la “Gestión y Decisión” hacen hincapié en posibles mecanismos concretos para la materialización de la implementación concreta del O.T (participación de organizaciones, canon diferencial y áreas de gobierno).

En algunos países, la planificación urbana ha revelado la pérdida de suelos fértiles en áreas urbanas y la insuficiencia de la zonificación para proteger tierras agrícolas. Se requieren nuevos enfoques en la planificación territorial, ambiental y rural que reconozcan la importancia de la agricultura periurbana. Esto impulsaría la vitalidad del sistema agroalimentario a través de una gestión innovadora y participativa, involucrando a agricultoras, agricultores y agentes diversos.

Situándonos en el área de estudio, en cuanto a la viabilidad de regular el mercado inmobiliario que empuja la urbanización de tierras agrícolas productivas, el 94% de las personas encuestadas los ven posible y le agregan otros aspectos para su efectivización; como el papel del Estado presente y el compromiso municipal generando e implementando normativas, zonificaciones y

regulaciones específicas de los usos del suelo, el abordaje de tema desde la educación, la inclusión de “desarrolladores” inmobiliarios y la puesta en valor social y ambiental de los sistemas de riego. Del tercio restante, solo un caso no cree posible la regulación del mercado inmobiliario. Las otras personas encuestadas dentro de esta porción ponen el énfasis en la dificultad (de “difícil” a “muy difícil”); si bien destacan: las crisis recurrentes de la producción agrícola regional predominante, el poder relativo del sector inmobiliario y la fragmentación del sistema de riego, plantean que es necesaria dicha regulación y agregan la necesidad de involucrar a los Estados provinciales.

Quienes hacen hincapié en la dificultad de regulación están repartidos en los grupos de “Ciencia y Técnica” y “Gestores y Decisores”, aunque en ambos grupos también se sitúan otras personas que enfocan su respuesta en la posibilidad de la regulación.

A continuación, se enumeran algunas recomendaciones generales en relación a diferentes aspectos que se enmarcan en la investigación realizada.

Para el abordaje de la temática se necesita una Gestión Integrada de tierra y agua. La investigación se enfoca en una gestión integral donde el agua de riego y la tierra son componentes clave. Esto requiere priorizar intereses colectivos sobre individuales, combinando recursos tecnológicos, conocimientos y financiamiento para acciones de gestión. Aspectos de ingeniería, economía, sociedad, ecología y legalidad deben ser considerados en esta conjunción de esfuerzos.

El regadío periurbano necesita regulaciones específicas debido a la discordancia entre la realidad territorial y las leyes actuales. Comités de cuencas con representantes de diversas áreas podrían revisar y adaptar la legislación, permitiendo abordar colectivamente la adecuación integral. Estos espacios facilitarían la inclusión de realidades territoriales distintas en la legislación y regulaciones existentes.

Compromiso, articulación y participación activa del estado local, provincial, gestores hídricos, organizaciones de regantes y productores. El trabajo conjunto de las instituciones y organizaciones es clave para la viabilización y sostenimiento de los espacios de periurbano. Así, resulta relevante el complemento de las instituciones que permite potenciar aspectos legislativos, técnicos y de ejecución a partir del trabajo interinstitucional, como es la conservación de estas áreas, mejora en obras, operaciones, acceso a recursos, entre otros.

Es necesario sostener el sistema de riego y drenaje y las tierras de cultivo, más allá de su condición vinculada a la producción, sino también por el servicio socioambiental que brindan. Para ello sería deseable una perspectiva de producción más integral, como lo es la agroecología.

Finalmente, la sensibilización y educación ambiental de la comunidad permitirá ampliar la mirada sobre la función del sistema de riego y drenaje no solo en los PUR sino en todos los espacios territoriales, añadiendo las perspectivas del servicio ambiental otorgado.

Referencias Bibliográficas

FAO, Rikolto and RUAFA. (2022). Urban and peri-urban agriculture sourcebook – From production to food systems. Rome, FAO and Rikolto. <https://doi.org/10.4060/cb9722en>

Goites, Enrique; Tito, Gustavo Mauricio; Nugent, Percy; Patrouilleau, María Mercedes; Vitale Gutierrez, Javier Alejandro; Perez, Martín Alberto; Giobellina, Beatriz Liliana; Escola, Fernando; Cardozo, Francisco Victoriano; Hernandez Toso, Fernanda; Dalmasso, Caterina. (2020). Espacios agrícolas periurbanos: oportunidades y desafíos para la planificación y gestión territorial en Argentina. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2020. 40 p: il. <https://inta.gob.ar/documentos/espacios-agricolas-periurbanos-opportunidades-y-desafios-para-la-planificacion-y-gestion-territorial-en-argentina>

EXPERIENCIA DE TRABAJO INTERINSTITUCIONAL: I JORNADAS PATAGÓNICAS DE ACCESO Y GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA FAMILIAR

Guiñazu, M.¹, Bilbao, L., Buda, V.², Córdoba, J.¹, Gómez, D.³, Mañueco, L.², Montenegro, A.², Polla, G.⁴, Reissig, J.⁵, Sheridan, M.¹

1 Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región Patagonia (IPAF PATAGONIA) –INTA, Neuquén, Argentina.

2 Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Rio Negro, Argentina.

3 Instituto Nacional de Agricultura Familiar, Campesina e Indígena (INAFCI)- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Neuquén, Argentina.

4 Facultad de Cs. Agrarias- Universidad Nacional del Comahue.

5 Subsecretaría de Producción- Ministerio de Producción e Industria, Neuquén, Argentina.

E-mail: guinazu.maira@inta.gob.ar

Introducción

Las I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del agua en la Agricultura Familiar (AF) fueron realizadas en noviembre del 2018 en la provincia de Neuquén. El evento fue organizado de manera interinstitucional con la participación de la provincia de Neuquén a través de la Subsecretaría de Producción, INTA, PROHUERTA, Universidad Nacional del Comahue a través de la Facultad de Cs. Agrarias y el ITAMA (Instituto de Tierras, Agua y Medio Ambiente) e INAFCI (Instituto Nacional de la Agricultura Familiar, Campesina e Indígena- ex Subsecretaría de Agricultura Familiar, Coordinación y Desarrollo Territorial). El evento fue de carácter gratuito y tuvo como objetivo crear un espacio de encuentro para compartir experiencias de trabajo e investigación, así como reflexionar sobre el agua como recurso fundamental para el desarrollo de las poblaciones rurales, tanto para el consumo doméstico como productivo. La organización de las Jornadas se diseñó en torno a cuatro ejes fundamentales: el acceso al agua, su gestión integral, su calidad y saneamiento y los conflictos que se generan en torno a ella. Se desarrollaron conferencias plenarias, mesas redondas y comunicaciones orales.

La actividad contó con la participación de técnicos, estudiantes y profesionales de diferentes disciplinas vinculados con el espacio rural familiar y organizacional, así como grupos y organizaciones de productores e instituciones que interactúan con ellos.

En el presente trabajo se realizará un análisis de las experiencias presentadas en el marco de las Jornadas, en torno a las líneas abordadas, reflexionando a partir de categorías propuestas: tecnologías, sujetos socio-productivos, instituciones intervinientes, ubicación geográfica y fuentes de agua. El objetivo del trabajo es visibilizar las contribuciones del sector científico tecnológico en materia de agua para la AF, delimitando como contexto los trabajos publicados en las actas de las I Jornadas Patagónicas (Guiñazú et al, 2018) a partir del análisis de distintas dimensiones como ejes temáticos y fuentes de agua, entre otros, y de las colaboraciones científicas a través de las coautorías individuales e institucionales.

Las experiencias que se expusieron en las I Jornadas buscan resolver el acceso al recurso con fines múltiples (consumo domiciliario, riego y ganadero) mediante obras para utilizar aguas superficiales y subterráneas, como captaciones de vertientes, perforaciones y jagüeles, obras de almacenamiento de conducción por canales y tuberías, almacenamiento en tanques, cisternas, tajamares, y distribución y priorización de usos. Por otro lado, la gestión del recurso a nivel de sistema puede desarrollarse a partir de organización comunitaria en pequeños valles y áreas de secano, sin embargo, en las zonas de valles la gestión se encuentra más asociada a consorcios y comunidades de regantes. Los conflictos en torno al agua presentan diversos matices, desde aspectos vinculados a la gestión del recurso, cambio de usos de las tierras y

contaminación de las aguas.

El agua es una prioridad para la innovación y el desarrollo de los territorios. Es importante rescatar la etapa de investigación y generación de conocimiento que comprenden estos procesos de innovación, de manera compartida con los productores y otros actores presentes en la zona. Asimismo, el proceso de intercambio y discusión con los actores intervinientes es de gran importancia ya que permite el encuentro de los saberes académicos, técnicos, populares e interculturales, lo que posibilita extraer diversas conclusiones en cada etapa del proceso y a la vez aporta a la incorporación del conocimiento formal a través de la publicación del compilado de las experiencias.

Metodología

Los trabajos publicados en el libro de las I Jornadas se analizaron de acuerdo con diferentes criterios utilizando tablas dinámicas de Excel y QGIS 22.6. Se clasificaron según cuatro ejes fundamentales: acceso al agua, gestión integral del agua, calidad y saneamiento y conflictos en torno al agua. Además, los trabajos se analizaron según la localización de las experiencias; las fuentes de agua estudiadas: superficial (río, arroyo, vertiente), subterránea, agua de lluvia y agua residual; si involucró a pueblos indígenas originarios. También se definieron y organizaron según su área de intervención: riego superficial, riego presurizado, agua para consumo humano, agua para ganadería, agua para usos múltiples, aguas residuales, capacitación y asistencia, aspectos legales.

A fin de evaluar la colaboración científica en el área de acceso y gestión del agua para la agricultura familiar en la región Patagonia, se delimitó el contexto de las I Jornadas Patagónicas y se clasificaron los trabajos publicados según el número de autores o autoras, sexo (se tomaron como base los nombres ya que la identidad de género no fue consultada), número de instituciones en la autoría, trabajos publicados por una sola institución o en colaboración interinstitucional. A los fines del trabajo, no se consideraron las cooperaciones intrainstitucionales, como la coautoría entre agencias de extensión y estaciones experimentales o institutos de investigación de INTA, facultades o departamentos de Universidades o entre dependencias de los gobiernos provinciales.

Resultados y conclusiones

En las I Jornadas Patagónicas se publicaron 57 artículos, siendo la gestión integral y el acceso al agua los ejes temáticos con mayor número de publicaciones. En la Figura 1 se muestra el porcentaje de trabajos presentados por ejes temáticos y su localización espacial.

La localización de las experiencias permite visualizar el alcance geográfico de los equipos de trabajo. Del análisis se desprende que el 85 % de las experiencias se desarrollaron en la región

Patagónica, principalmente en las provincias de Río Negro y Neuquén, observándose una tendencia a abordar temas de gestión integral del agua en zonas de valles irrigados y acceso al agua en áreas de secano. El 71 % de las experiencias centró su trabajo sobre fuentes de agua superficial, seguido de un 16 % por fuentes de origen subterráneo. Del análisis de las experiencias según el área de intervención se desprende que predominaron el riego (33 %), el agua para usos múltiples (27 %) y la capacitación y asistencia (25 %). El 16 % de las experiencias publicadas informaron trabajar con pueblos indígenas originarios de las provincias de Neuquén (67 %) y Río Negro (33 %). En muchos de los trabajos, se encuentran como autores y coautores cooperativas e integrantes de las comunidades de pueblos originarios.

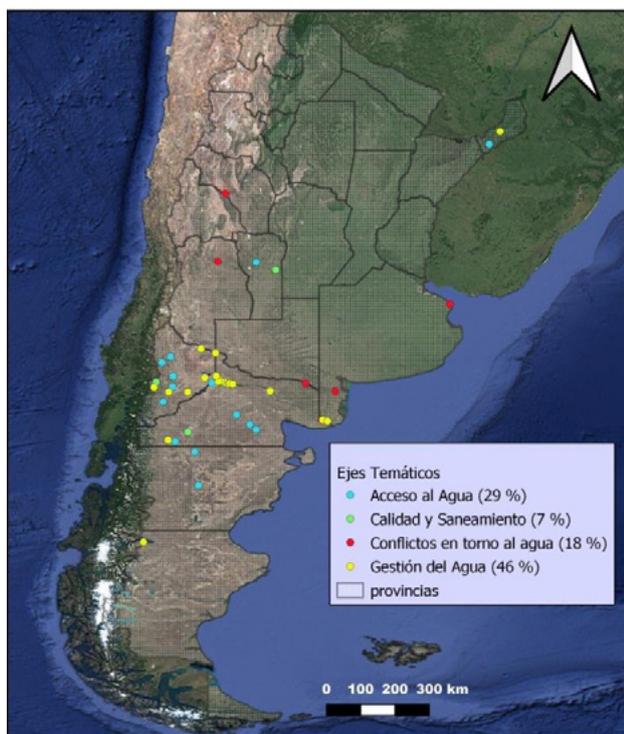


Figura 1. Distribución geográfica y clasificación de acuerdo con los ejes temáticos de los trabajos publicados en el compilado de las I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar.

El análisis de autorías de los trabajos evidencia que los autores de sexo masculino (68 %) destacan sobre los de sexo femenino (31 %). Una de las formas de colaboración es la coautoría en publicaciones. Las coautorías son un instrumento para el análisis de colaboraciones y asociaciones científicas y tecnológicas, haciendo posible la comprensión de los patrones de cooperación entre individuos y organizaciones (Camargo et al, 2020). En el caso de las I Jornadas Patagónicas, el 85% de las publicaciones fueron realizadas en colaboración, es decir, fueron firmados por 2 o más autores o autoras, con un máximo de 12.

Por otra parte, si se analiza la autoría a nivel de instituciones, se observa una prevalencia de colaboración interinstitucional, ya que el 56 % de los trabajos involucraron a más de una institución, y el 44 % restante fueron publicados por una sola institución. Entre los trabajos con participación de una sola institución, destaca el INTA (40 %), la Universidad Nacional del Comahue (16 %) y la Dirección Provincial de Recursos Hídricos – Neuquén (12 %).

Respecto a los trabajos publicados en colaboración interinstitucional, en la Tabla 1 se resume la participación porcentual de las instituciones, donde destaca INTA y

Universidades Nacionales.

En términos generales, se observa una mayor participación en la autoría de trabajos por parte de las instituciones organizadoras del evento, lo que responde al objetivo de las I Jornadas, es decir, generar un espacio para el intercambio y reflexión a partir de las experiencias de trabajo e investigación. Es importante destacar los aportes de los organismos gestores de los sistemas de riego, como el Departamento Provincial de Aguas, Recursos Hídricos de Neuquén y los consorcios y comunidades de regantes.

Tabla 1. Participación porcentual de las instituciones en los trabajos en colaboración interinstitucional.

Institución	%
INTA	81
Universidades Nacionales	34
Departamento Provincial de Aguas – Río Negro	19
Consorcios de regantes	19
SsAFCI	16
Ministerio de Producción e Industria - Neuquén	10
Comunidades Mapuches	10
PROHUERTA	6
Dir. Áreas Nat. Protegidas y Rec. Faun. – Neuquén	3

En la mayoría de los trabajos presentados y como uno de los objetivos principales de la realización de las I Jornadas, existe la participación de las comunidades que utilizan el recurso. Hay una diversidad en los enfoques y relatos de las experiencias y las formas en las que se comparten los saberes. En el eje de acceso al agua, en el trabajo “Hacia una mirada multidimensional de los proyectos hídricos: dos experiencias de abastecimiento de agua en la comunidad mapuche Namuncurá”, a partir de las observaciones de los pobladores de la comunidad de las zonas afectadas por la falta de agua, se generó un fuerte proceso organizativo para la búsqueda de soluciones, como la ubicación y estado de las vertientes. En muchos de los trabajos presentados, las comunidades son partícipes en el intercambio técnico para el diseño y construcción de obras de agua. La contribución de sus integrantes también se vio reflejada en las coautorías en 3 de los 16 trabajos presentados en el eje de acceso al agua. En gestión del agua, los consorcios y comunidades de regantes y las mesas de agua representan en parte a las organizaciones de la agricultura familiar frutícola, hortícola y forrajera de los valles y pequeños valles irrigados. Las I Jornadas muestran el camino recorrido en años de articulación entre productores y sus organizaciones e instituciones. Los procesos de construcción conjunta de saberes y la articulación interinstitucional resultan claves para abordar la temática de agua en las distintas escalas, fortaleciendo a partir de lo local, el abordaje regional del acceso y la gestión de los recursos hídricos. Las experiencias compartidas en las I Jornadas y el espacio de encuentro que las mismas generaron, pone en valor el trabajo técnico en los territorios, centrado en los productores y sus organizaciones, construyendo una identidad colectiva para idear soluciones de construcción conjunta que resulten sostenibles en el tiempo.

Referencias Bibliográficas

- Camargo, S. D. S., Pinho, L. B. D., Bosch, M. H., Machado, C., Saibene, Y. B. (2020). Diez años del congreso argentino de agro informática: Un análisis histórico del alcance geográfico y redes de colaboración. *Electronic Journal of SADIO*, 19.
- Guiñazu, M. (2018). *I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar*; compilado por Maira Guiñazú ... [et al.]. - 1a ed. - Neuquén: EDUCO – Universidad Nacional del Comahue. EDUCO - Editorial Universitaria del Comahue, 2018.

LOS FONDOS DE AGUA: UNA HERRAMIENTA PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD HÍDRICA

Jarabo, P.*¹, Flores, A. S.*^{***2}, Etchegaray, M.*³ y Minaverri, C.*^{***4}

* Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Universidad Nacional de Luján.

**Departamento de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Luján.

*** Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján.

¹ pjarabo.g4@gmail.com, ² ailensflores98@gmail.com, ³ dmarieletchegaray@gmail.com, ⁴ cminaverri@unlu.edu.ar

Resumen extendido

Los principales desafíos del agua requieren una gestión integral y eficaz para alcanzar el desarrollo sostenible, para lo cual la seguridad hídrica cumple un papel clave. Puesto que, implica la provisión suficiente y confiable de agua dulce segura para el desarrollo económico y social y para los ecosistemas, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua dulce (Sadoff y Muller, 2010). La seguridad hídrica es cada vez más compleja y urgente debido al aumento poblacional en las últimas décadas, la concentración en ciudades, la degradación de la calidad del agua dulce, los cambios del uso del suelo, y el creciente impacto de las inundaciones, sequías y otros efectos hidrológicos relacionados con el cambio climático (UNESCO, 2023). Por lo que, pensar en seguridad en relación al agua dulce implica tener en cuenta los riesgos por la escasez o el exceso, el acceso, su rol en la superación de la pobreza y el desarrollo económico, además de asegurar las necesidades de los ecosistemas. El enfoque debe ser integrado, incluir las dimensiones ecológicas, económicas y sociales de la gestión integrada de los recursos hídricos, para la generación de políticas y conocimientos que permitan la adaptación y lograr alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UNESCO, 2020).

En tal sentido, surgen los fondos de agua, como una respuesta local al reto de la seguridad hídrica desde una visión principalmente enfocada en los aspectos de conservación de las cuencas (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, s.f.). Se enfocan en el mantenimiento y conservación de servicios hidrológicos de los ecosistemas naturales (Jarabo, 2022). Son mecanismos financieros, de gobernanza y de gestión que integran a los actores relevantes de una cuenca para promover la seguridad hídrica de una zona a través de acciones de conservación. Canalizan inversiones de largo plazo para proyectos de conservación que maximizan la filtración, reducen sedimentos y otros contaminantes para ayudar a mejorar la calidad y regular los flujos de agua dulce que abastecen a las ciudades. Los fondos refuerzan la gobernanza de las cuencas al reunir a los distintos actores sociales (usuarios, empresas administradoras de agua, corporaciones, autoridades y sociedad civil) y aportar un sólido conocimiento científico para facilitar el proceso de toma de decisiones (BID, s.f.). En resumen, los fondos de agua son un modelo innovador de conservación a largo plazo que opera a través de inversiones que se concentran en un solo fondo y los recursos generados se asignan para preservar las tierras esenciales cuenca arriba, a través de acciones de conservación (BID, s.f.). En Latinoamérica son varios los países que cuentan con fondos de agua.

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis descriptivo de la contribución de los fondos de agua a la seguridad hídrica en América Latina, por lo cual se considerarán una selección de países con una amplia trayectoria en su implementación, más precisamente, Brasil, Colombia y Ecuador. No obstante, también se indagará acerca de su implementación en el ámbito argentino. La metodología utilizada es de tipo cualitativa, en este sentido se aplica el método documental y bibliográfico mediante el análisis de fuentes públicas y estudios académicos. Esta herramienta ha demostrado tener numerosas ventajas frente a otros mecanismos de gestión (Jarabo, 2022).

El caso de Brasil:

El país más grande de América del Sur tiene 210 millones de habitantes distribuidos en 12 cuencas hidrográficas, siendo la cuenca amazónica la más importante del país. En total, Brasil cuenta con 4 fondos de agua que se encuentran en funcionamiento. En este sentido, sus fondos de agua apuntan a la implementación de acciones de recuperación ambiental para mejorar la calidad y la regularización del agua dulce, promover la restauración del ciclo hidrológico a través de la conservación y recuperación de la cubierta forestal, generando oportunidades e ingresos para el productor rural, incentivando la adopción del uso sostenible de la tierra y el agua dulce. A su vez, buscan reducir el riesgo de escasez de agua dulce y contribuir a tener agua de mayor calidad, que es bueno para las comunidades, los residentes de la ciudad, la producción de alimentos y para todas las empresas y apoyar a los gobiernos con la mejor ciencia disponible para la toma de decisiones. Todo lo anterior aumenta la coordinación y la capacidad para una gestión integrada de las cuencas. De este modo, los proyectos se centran en la aplicación de las buenas prácticas agrícolas, la restauración forestal, la conservación de los promontorios y las zonas de recarga de agua, la adaptación al cambio climático y los mecanismos financieros, como los pagos por servicios ambientales (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, s.f.).

El caso de Colombia:

Los 50 millones de habitantes de Colombia viven en las cinco principales cuencas hidrográficas: Caribe, Magdalena-Cauca, Pacífico, Orinoco y Amazonas. En cuanto a la seguridad hídrica, este país se considera una potencia con seis nevados, 44% de los páramos de Sudamérica, 30 grandes ríos, 1277 lagunas y más de 1.000 ciénagas y el agua es sin lugar a duda el tesoro del territorio. Dado este patrimonio hídrico, Colombia cuenta con 7 fondos de agua, convirtiéndolo en el país con el mayor número de América Latina y el Caribe. Ellos buscan contribuir a la seguridad hídrica, dinamizando y articulando estratégicamente la construcción colectiva a través del fortalecimiento de la gobernanza del agua. En este sentido, este objetivo se logra generando conciencia, comprensión, responsabilidad y participación de la comunidad en las decisiones relacionadas con la gestión del agua, promoviendo la toma de decisiones en base al conocimiento de la cuenca como unidad de gestión integral, favoreciendo la transformación hacia sistemas resilientes asegurando el reconocimiento e integración del valor real del agua dulce. A su vez, se busca promover el compromiso y la inversión de actores locales, regionales y nacionales, de tipo público y privado, en conservación y restauración de áreas estratégicas para la protección de las fuentes de agua dulce. Se utilizan 6 líneas de inversión: infraestructura nacional, sistema de información del agua, mecanismos de sostenibilidad financiera, economía circular y negocios verdes, gestión del conocimiento social y ambiental y salud ecológica y territorial (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, s.f.).

El caso de Ecuador:

La seguridad hídrica en Ecuador es crítica, la mayor desproporción se encuentra en la cobertura y se ubica entre las áreas urbanas y rurales. Lo anterior viene acompañado de otros factores como la reducida productividad agropecuaria y la

concentración de la distribución de la tierra y el agua dulce. De este modo, Ecuador cuenta con 4 fondos de agua. Estos operan a través de inversiones de actores privados y públicos involucrados e interesados en preservar la cuenca bajo un esquema participativo. Su trabajo se enmarca en la conservación de agua dulce para el futuro, la preservación del entorno ecológico y el bienestar de las comunidades, a través de la óptima administración de aportes de los socios de los fondos, de la ciudadanía y de fuentes externas de financiamiento destinados a proyectos y programas dirigidos a asegurar el abastecimiento y la calidad de agua dulce. En cuanto a su operatividad, utilizan las siguientes herramientas: gestión del agua, monitoreo climático e hidrológico, valoración de servicios hídricos, apoyo a la gobernanza de cuencas, usos de agua, y análisis de caudales ecológicos (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, s.f. a).

Tabla 1.- Principales clases de acciones desarrolladas por los fondos de agua

País	Fondo	Conservación y Recuperación de Ecosistemas	Infraestructura Verde	Información Educación Participación Ciudadana	Prácticas sostenibles Actividades Económicas
Brasil	Productor de Agua del Río Camború	✓			
	Productores de Agua y Bosques	✓	✓		✓
	Programa Reflorestar	✓			✓
	Programa Produtor de Agua (ANA) Fondo de Agua de São Paulo	✓	✓		✓
Colombia	Agua Somos	✓	✓	✓	
	Alianza Biocuenca	✓	✓	✓	✓
	Fundación Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad	✓		✓	✓
	Cuenca Verde	✓		✓	✓
Ecuador	Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del Río Paute (FONAPA)	✓		✓	
	El Fondo de Agua de Guayaquil para la Conservación de la cuenca del río Daule	✓		✓	
	Fondo Para la Protección del Agua (FONAG)	✓		✓	
	El Fondo de Páramos Tungurahua y Lucha Contra la Pobreza	✓		✓	

Elaboración propia (2023), a partir de la información de cada fondo de agua en “Mapa de los fondos de agua” (Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, s/f b).

En el caso de Argentina, la provincia de Mendoza es la única que hasta el momento cuenta con un fondo de agua. El fondo de agua del río Mendoza consiste en un acuerdo pionero en el país, que busca contribuir a la seguridad hídrica de la cuenca del río Mendoza y, a su vez, lograr un manejo sustentable en el largo plazo en una zona que presenta un escenario futuro de alto riesgo por la inminente escasez de agua. Fue creado en conjunto por la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua y un grupo promotor conformado por empresas privadas y socios locales del sector público. Junto a las entidades y organizaciones que integran este grupo promotor, el fondo de agua del río Mendoza busca articular el accionar del resto de los actores públicos, privados y de la sociedad civil que constituyen la comunidad del río Mendoza para buscar y poner en práctica soluciones que hagan frente a la crisis hídrica de la cuenca. Pues, la provincia de Mendoza, al igual que gran parte del territorio del país se enfrenta a una crisis hídrica (Unidiversidad, 2022). En múltiples provincias durante los últimos años (2020-2021-2022 y 2023) se decretó la emergencia hídrica. Del mismo modo, la situación de Mendoza es preocupante, en tanto, el caudal de los ríos de la provincia está entre el 40% y el 58% respecto de un año normal para el periodo 2022-2023 (Departamento General de Irrigación de Mendoza, 2021). El fondo del río Mendoza ya ha presentado resultados alentadores como es la siembra de más de 5000 plantas nativas para la recuperación de suelos y el establecimiento de un vivero, el desarrollo de seis talleres de capacitación sobre manejo de recursos naturales. Así también, a través del fondo se logró la protección de 130 hectáreas de humedales de altura en el Parque Aconagua (Gobierno de Mendoza, 2023).

La Argentina enfrenta desafíos de disponibilidad y calidad de agua dulce que se ven intensificados en situaciones de escasez hídrica. Las brechas en el acceso, al agua potable y saneamiento, los extremos climáticos (sequías e inundaciones), la planificación, la gestión y la gobernanza son algunos de los principales retos para alcanzar la seguridad hídrica (Suriano et al., 2022). Por tanto, es crucial abordarlos desde distintos ejes,

incluyendo mecanismos financieros y de gobernanza como son los fondos de agua. Las experiencias de otros países de América Latina ponen de manifiesto la contribución de estos mecanismos para alcanzar la seguridad hídrica en todas sus dimensiones. Las distintas acciones desarrolladas a través de los fondos de agua en Brasil, Colombia y Ecuador abordan de manera directa o indirecta las dimensiones, es decir, la ambiental, la doméstica, la económica, la urbana y la resiliencia ante el riesgo de desastres. Especialmente la dimensión ambiental, a través de las acciones de conservación y restauración de ecosistemas, que son las más desarrolladas mediante los fondos. Más allá de eso, las acciones vinculadas a la conservación y/o restauración de ecosistemas dulceacuicolas contribuyen también de forma directa o indirecta con el resto de las dimensiones. Por lo que, los fondos de agua permiten articular proyectos, acciones, financiamiento y los distintos actores de la sociedad civil a fin de alcanzar la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible (Gobierno de Mendoza, 2023). En conclusión, resulta positivo el avance en la incorporación de los fondos de agua, aunque la implementación de esta herramienta es incipiente en Argentina. Mientras que, en los casos de Brasil, Colombia y Ecuador poseen varios fondos de agua en funcionamiento, lo que les brinda una ventaja estratégica en la protección del recurso.

Referencias Bibliográficas

- Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua (s.f.). *Los Fondos de Agua*. <https://www.fondosdeagua.org/es/los-fondos-de-agua/>
- Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua (s.f.). *Seguridad hídrica*. <https://www.fondosdeagua.org/es/los-fondos-de-agua/el-reto-del-agua/seguridad-hidrica/#:~:text=La%20Seguridad%20H%C3%ADrica%20es%20la,bi%20en%20y%20el%20desarrollo%20socioecon%C3%B3mico>
- Alianza Latinoamericana de fondos de agua (s/f b). Mapa de los fondos de agua. <https://www.fondosdeagua.org/es/los-fondos-de-agua/mapa-de-los-fondos-de-agua/>
- BID (s.f.). *Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua*. <https://www.iadb.org/es/sectores/agua-y-saneamiento/fondos-de-agua/inicio>
- Departamento General de Irrigación de Mendoza (2021). *Pronóstico de Caudales de los Ríos de Mendoza*. Temporada 2022-2023. <https://www.irrigacion.gov.ar/web/2021/03/01/descargar-boletin/>
- Gobierno de Mendoza (12 de abril de 2023). “Encuentros del Fondo de Agua del Río Mendoza para proponer soluciones a la gestión del recurso hídrico a nivel local y en Latinoamérica”. *Prensa Gobierno de Mendoza*. <https://www.mendoza.gov.ar/prensa/encuentros-del-fondo-de-agua-del-rio-mendoza-para-proponer-soluciones-a-la-gestion-del-recurso-hidrico-a-nivel-local-y-en-latinoamerica/>
- Jarabo, P. (2022). “Aspectos generales sobre servicios ecosistémicos e instrumentos como el pago de servicios hidrológicos y fondos de agua para asegurar la calidad y seguridad hídrica”. *Revista de Investigaciones en Ciencias Jurídicas, Sociales y Políticas*. Momba'etéva. Volúmen 2. Marzo/ 2022. ISSN 2684-0499. DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/mom.12586>
- Sadoff, C. y Muller, M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales (NO. 14)*. Global Water Partnership.
- Suriano, M., Moreno, H., Bocco, M., Oyamada, J., Guichon, M. y Cevallos M. (22 de septiembre de 2022). *Argentina comprometida en alcanzar la Seguridad Hídrica*. Banco Interamericano. de Desarrollo <https://blogs.iadb.org/agua/es/argentina-comprometida-en-alcanzar-la-seguridad-hidrica/>
- UNESCO (2020). *La seguridad hídrica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Manual de capacitación para tomadores de decisión*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374917.locale=es>
- UNESCO (2023). *El futuro del agua es la seguridad hídrica*. <https://www.unesco.org/es/articles/el-futuro-del-agua-es-la-seguridad-hidrica>
- Unidiversidad (14 de octubre de 2022). Mendoza tendrá menos de la mitad de agua que en años anteriores. *Unidiversidad, sistema de medios de la UNCuyo*. <https://www.unidiversidad.com.ar/mendoza-tendra-menos-de-la-mitad-de-agua-que-anos-anteriores#:~:text=Nuevamente%2C%20Mendoza%20se%20enfrenta%20a, respecto%20de%20un%20a%C3%B1o%20normal>

LA PLANIFICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN DE GOBERNANZA EN LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN

Guillermo Jelinski¹, Germán Ciucci² y Ana Mugetti²

²Comité de Cuenca del Río Luján (ComiLu), ¹Subsecretaría de Recursos Hídricos, Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires.

5 N° 366 piso 10, La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, +54 221 4278162
guillejelinski@gmail.com, Germanciucci@gmail.com y mugettia.comilu@gmail.com

Introducción.

La cuenca del río Luján, forma parte de las denominadas cuencas metropolitanas. Se desarrolla en 15 partidos de la provincia de Buenos Aires (figura 1), con una superficie de 3.300 km² y una población estimada de 1.500.000 habitantes.

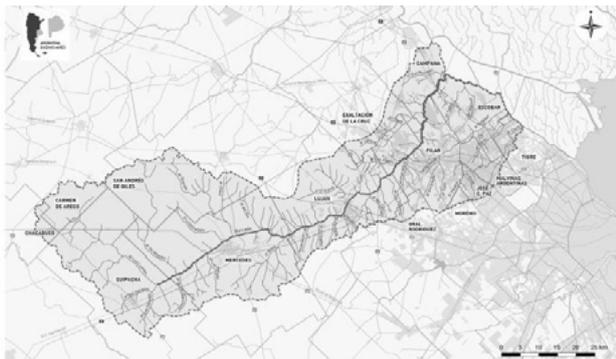


Figura 1.- Cuenca gestionada por el ComiLu (elaboración propia, 2022)

Tiene zonas densamente urbanizadas (10%), periurbanas (10%) y rurales (80%), donde se realizan actividades turísticas, industriales y agropecuarias. A lo largo del río hay ciudades con una población de relativa importancia y un gran valor histórico: Suipacha, Mercedes, Luján y Pilar que reciben más de 4.000.000 de personas al año para actividades turísticas. Se destaca la ciudad de Luján, uno de los principales centros turístico-religiosos del país (ComiLu, 2020).

Los desafíos a enfrentar.

Las inundaciones de las áreas urbanas aledañas al río han sido visualizadas como el problema de la cuenca. Actualmente, los retos principales son: el riesgo de inundación y sequía en el marco del cambio climático, la ocupación de zonas inundables (inclusive con sitios polderizados), la insuficiente cobertura de servicios de agua potable y cloacas, la debilidad en la gestión de residuos, la falta de control de la contaminación de los cursos debido a la carencia y/o mal funcionamiento de plantas de tratamiento cloacal, al tratamiento deficiente de desagües industriales, la presencia de basurales y la contaminación difusa; la invasión de especies exóticas, el deterioro de los ecosistemas acuáticos y las pocas oportunidades para disfrutar los servicios ambientales provistos por los cursos de agua.

Debe sumarse la sociedad civil organizada, que reclama participación y el abandono del abordaje sectorial centrado en el control de inundaciones con la ejecución de infraestructura gris.

La respuesta para estos desafíos es la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), un proceso que promueve el desarrollo y la gestión coordinada del agua, la tierra y otros recursos relacionados, para maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

Planificación y gobernanza de la cuenca.

La implementación de la GIRH en la cuenca, ha requerido un proceso donde la planificación abordó los desafíos en la gestión

en forma progresiva posibilitando el desarrollo de gobernanza y la construcción de ésta viabilizó la planificación.

Entre 2011 y 2015, la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas y Saneamiento (DIPSOH) formuló un plan centrado en la mitigación de las inundaciones que incluyó obras y algunas acciones para moderarlas (entre ellas, la creación de un comité de cuenca), que dio inicio al proceso de planificación.

En 2015 se creó el Comité de Cuenca del Río Luján (ComiLu), cuya primera acción fue colaborar para obtener financiamiento para la implementación del Plan. Su creación, inició la construcción de gobernanza. Así, desde 2016 ComiLu ha hecho actividades tendientes a su puesta en marcha, comenzando con reuniones con los actores gubernamentales de la cuenca y otros referentes y fue creando las áreas clave para su funcionamiento.

El Proyecto de Implementación del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján, financiado por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), con medidas infraestructurales (obras de conducción y regulación, fundamentalmente) y el fortalecimiento institucional del ComiLu para dotarlo de estructura administrativa y capacidad institucional, entre las medidas no infraestructurales, se inició en 2017.

ComiLu comienza a consolidarse como una organización con capacidad técnica que le permitió desarrollar un conjunto de acciones para la gestión de la cuenca y presentar un perfil de proyecto para desarrollar un plan de gestión integrada (PGICL) con una metodología participativa y un aporte a la equidad de género.

En 2021, realizó una actualización del Plan de Manejo, pasando de la mitigación de las inundaciones al abordaje del riesgo hídrico y en 2022 presentó los Términos de referencia para la licitación del PGICL, con un horizonte de 20 años (figura 2).



Figura 2.- Proceso de planificación (elaboración propia, 2022)

La construcción de gobernanza.

Una buena gobernanza requiere instituciones fuertes, reglas y procesos transparentes, coordinación vertical y horizontal con otras organizaciones, participación pública, etc. que una nueva organización debe ir desarrollando progresivamente.

La institucionalización del ComiLu demandó un tiempo menor que el requerido por el Comité de Cuenca del Río Reconquista (ComiRec), pues aprovechó las lecciones aprendidas. Por ejemplo, la ley de creación del ComiLu y su estructura son muy similares, aunque tienen características propias.

El primer instrumento legal fue la ley 14.710, de creación del Comité como ente autárquico dependiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos. Para cumplir con su propósito, que es realizar acciones tendientes a conservar el recurso hídrico y a gestionarlo de manera integrada y sostenible, la ley instituye

que su dirección y administración debe estar a cargo de un Directorio conformado por 4 miembros designados por el Poder Ejecutivo Provincial y 3 elegidos por los Municipios donde se desarrolla la cuenca, estableciendo la forma en que participan estas organizaciones en la toma de decisiones. Para garantizar la participación comunitaria, la ley prevé la constitución de un Consejo Consultivo Honorario (CCH), con la función asesorar sin carácter vinculante.

A fines de 2017 se realiza la primera reunión de Directorio, que constituye formalmente el ComiLu, designa sus autoridades y crea la Dirección General Ejecutiva (DGE). En 2018, el Directorio nombra el primer Director General Ejecutivo y en 2019 aprueba la estructura organizativa, el reglamento de funcionamiento del CCH e instruye a la GGE para constituirlo (ComiLu, 2019a y 2019b).

El Decreto 346/21 aprobó la estructura funcional, invitó a los municipios a proponer el procedimiento para la elección de sus representantes, estableció la forma de integración del CCH, facultó al Directorio a dictar el Reglamento Interno del CCH y a hacer las adecuaciones presupuestarias necesarias.

En 2021 la DGE inicia las gestiones que le permitieron al Comité tener presupuesto a partir de 2022, incluyendo el manejo de los fondos del proyecto de implementación del PMICL en curso. En 2022, el Directorio aprueba el reglamento para la elección de sus miembros municipales e instruye a la DGE para que inicie el procedimiento de conformación del CCH, que se plasma con un nuevo llamado a inscripción.

La dotación de personal hasta mayo de 2019 fue muy pequeña. Además del apoyo para la búsqueda de financiamiento en sus inicios, a partir de 2018 colaboró para lograr fortalecimiento institucional, realizó el llamado a inscripción para formar el CCH, cumplió con las resoluciones del Directorio y se abocó a publicar toda la información y las noticias de su accionar como una forma de darle transparencia a la gestión, a través de su página web (<https://www.gba.gov.ar/comilu>) (ComiLu, 2019a).

A partir de mediados de 2019, el fortalecimiento institucional permitió progresivamente dotar de personal a la DGE con capacidad técnica y administrativa para encarar una nueva etapa que permitió proponer al Directorio una estructura funcional para la DGE y otros instrumentos (ComiLu, 2019b).

La definición del límite de una cuenca para la gestión debe considerar aspectos geomorfológicos, hidrológicos, antrópicos, de gestión y requiere coordinación con otras organizaciones. En 2019, el ComiLu formuló los criterios y solicitó a la DPH la definición. Con esa base, en 2022 la DGE presentó una propuesta que considera que el ComiLu solo debe gestionar la parte continental de la cuenca del río Luján (figura 1), excluyendo el arroyo Las Tunas (receptor antrópico de los mayores caudales del río Reconquista).

La sucesiva planificación.

La creación del ComiLu y su fortalecimiento es producto del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján (PMICL), realizado entre 2011 y 2015, que propuso la ejecución de obras para mejorar la capacidad de conducción del río y de regulación para mitigar los picos de crecida e incluyó una serie de acciones que las complementan: aspectos ambientales y de ordenamiento del territorio, sistema de alerta temprana (DIPSOH, 2015). La implementación del PMICL, permitió a partir de 2017 la ejecución de las obras y dotar a la DGE de capacidad técnica.

Algunas acciones merecen destacarse, como definición de una nueva visión para las obras: infraestructuras grises combinadas con infraestructura verde (tramos del río donde continua el desborde en condiciones de excesos hídricos), la incorporación de paseos ribereños que posibiliten el uso recreativo del río; la realización de un monitoreo estacional de la calidad de agua y la

formulación del perfil de proyecto para desarrollar un plan de gestión integrada donde hizo uno de los primeros aportes para considerar la equidad de género (ComiLu, 2020). También, junto con la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), CAF y la Municipalidad de Luján, organizó el Primer seminario internacional para la gestión de la cuenca del río Luján (oportunidad que permitió a dos ONGs de la cuenca presentar sus visiones) y el Primer taller participativo: preparando la acción gubernamental donde se conceptualizaron la Cuenca que tenemos y la Cuenca que queremos (2019).

En base a los conocimientos adquiridos por su equipo técnico se actualizó el PMICL con un abordaje de gestión del riesgo hídrico, con lineamientos estratégicos: disminución de la peligrosidad hídrica, prevención de la ocupación de las riberas y zonas de inundación, mejoramiento de la calidad del agua y disminución de la vulnerabilidad social; y tres ejes estratégicos transversales: soluciones basadas en la naturaleza, coordinación y participación y perspectiva de género (ComiLu, 2021).

Para abordar los aspectos relativos al ordenamiento territorial, la provincia de Buenos Aires está licitando la ejecución de un estudio ecohidrológico innovativo dedicado a la macrozonificación ambiental territorial de la cuenca.

Actualmente, la DGE está tramitando la formulación del PGICL, en el marco del ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, con una metodología de planificación con visión compartida. Entre los aspectos que incluye, se pueden destacar: la gestión de los ecosistemas acuáticos, cuestiones de género, soluciones basadas en la naturaleza y un mecanismo novedoso para financiar la gestión: el fondo de agua, entre otros (ComiLu, 2022).

Conclusiones

El trabajo ha permitido mostrar la generación de gobernanza en una organización de cuenca en formación, que fue impulsada por la formulación de un plan y su implementación. También, reveló como la gobernanza posibilitó un proceso virtuoso de planificación, cuya implementación está permitiendo la gestión integrada de la cuenca.

A pesar que solo han transcurrido solo 8 años desde la creación del ComiLu, con 5 años efectivos de trabajo, es posible apreciar un proceso virtuoso, que permitirá continuar con una gestión moderna y adaptativa en el futuro.

Referencias.

- AFD, CAF, Municipalidad de Luján, COMILU (2019) *Primer Seminario Internacional para la Gestión de la cuenca del Río Luján. Intercambio de experiencias y Primer taller Participativo: Preparando la acción gubernamental*. La Plata, Argentina. Obtenido de https://www.gba.gov.ar/comilu/acciones_no_infraestructurales
- COMILU (2019a) *Informe de gestión Junio 2018 a mayo 2019*. La Plata, Argentina
- COMILU (2019b) *Informe de gestión Junio a noviembre de 2019*. La Plata, Argentina
- COMILU (2020). *Perfil de proyecto para la Formulación del Plan de gestión integrada de la Cuenca del Río Luján*. La Plata, Argentina.
- COMILU (2021) *Actualización del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján*. La Plata, Argentina. Obtenido de <https://www.gba.gov.ar/comilu/antecedentes>
- COMILU (2022). *Términos de referencia para la formulación del Plan de gestión integrada de la Cuenca del Río Luján*. La Plata, Argentina.
- DIPSOH (2015) *Estudio Plan Integral y Proyecto Obras de Regulación y Saneamiento Río Luján*. La Plata, Argentina. Obtenido de <https://www.gba.gov.ar/comilu/antecedentes>.
- Global Water Partnership (2000) *TAC Background paper n° 4. Integrated Water Resources Management*. Estocolmo, Suecia. ISBN: 91-630-9229-8.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS COMPROMISOS INSTITUCIONALES, NORMATIVOS Y ADMINISTRATIVOS

Marta S. Juliá ¹, Santiago M. Reyna ², Andrea Rico ¹, Teresa M. Reyna ², Agustina L. Morello ², Agustina Bonini ²

¹ Instituto Nacional del Agua INA-CIRSA.

² Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, FCEFN, UNC.

E-mail: santiago.reyna@unc.edu.ar; dramartajulia@gmail.com

Introducción

La problemática del cambio climático asociada a los recursos hídricos es diversa y transversal ya que se vincula con distintas disciplinas que se ven afectadas. El análisis de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático supone profundizar en un conjunto de elementos que trascienden los aspectos puramente técnicos y demandan conocer los diversos compromisos políticos e institucionales que se han establecido para alcanzar metas y objetivos de desarrollo sostenibles. Relacionado con lo anterior, se vuelve fundamental conocer cuáles son las principales instituciones que desarrollan acciones en la temática objeto de análisis.

Por una parte, se encuentran los compromisos internacionales formulados a través de acuerdos, convenios y tratados que generan, según el tipo de compromiso, un conjunto de obligaciones para los países firmantes. Por otra parte, a partir de dichos compromisos se generan obligaciones de tipo formal, institucional o administrativo, que se traducen en la modalidad en que cada país va a dar cumplimiento en su propio esquema de organización. Los compromisos institucionales están enmarcados en definiciones normativas (firma de tratados, acuerdos) que asignan atribuciones y funciones a los diversos sectores de la administración pública nacional, provincial o municipal. De estos compromisos institucionales surgen las políticas públicas que se establecen en normas específicas que regulan lo relativo al cambio climático.

En el presente trabajo se realiza una descripción de los principales compromisos internacionales vinculados al cambio climático, la referencia y el análisis del marco normativo nacional y el marco institucional para la implementación de las políticas nacionales en materia de cambio climático. En este contexto, se destaca la ubicación de la provincia de Córdoba en la materia y el estado de situación política, jurídica e institucional para enfrentar el cambio climático en los aspectos vinculados a la gestión de los recursos hídricos.

Desde los compromisos internacionales a los aspectos políticos e institucionales de la provincia de Córdoba

Los compromisos internacionales asumidos por Argentina en general y los que están vinculados al cambio climático en particular, conforman un primer contexto a tener en cuenta, ya que fijan y establecen objetivos, metas, prioridades que deberá considerar el país en su implementación en el territorio. Es por ello que consideramos importante sintetizar los principales instrumentos internacionales a tener en consideración en el tema.

La República Argentina ratificó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el 7 de diciembre de 1993 a través de la Ley N°24.295. En ese marco, nuestro país ratificó el Protocolo de Kioto (PK) mediante la Ley N° 25438.

En este repaso adquieren especial relevancia los 17 Objetivos de

Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por Naciones Unidas en 2015. Esta agenda 2030 generó un compromiso por parte de los Estados de formular, desarrollar y ejecutar políticas tendientes a cumplir los ODS, situación que tendrá múltiples manifestaciones en las diferentes temáticas que comprende y en las relaciones que existen entre los diversos objetivos. En ese marco internacional, las estrategias nacionales formuladas para su cumplimiento implican decisiones políticas, jurídicas, institucionales que se manifiestan en diferentes mecanismos jurídicos y administrativos específicos. También se elaboran programas y acciones tendientes a ejecutar las políticas en los territorios y se concretan en cada gestión, situación que puede constituirse en un indicador de la aplicación de la política en estudio.

Si bien todos los ODS son realmente importantes, transversales y están íntimamente vinculados ya que las acciones que se realizan sobre un ODS tienen impacto sobre el resto, para el presente trabajo se hace hincapié en el Objetivo 13: acción por el clima. Este objetivo, insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, donde es importante observar por una parte las metas definidas para el objetivo con las intervenciones realizadas para concretarlas y, por otra parte, analizar en el seguimiento del objetivo, el progreso que se ha realizado y la evolución de los indicadores.

Adoptar medidas urgentes para cumplir con este objetivo y combatir el cambio climático y sus efectos implica disponer de un marco normativo que oriente las acciones. En una aproximación general al marco normativo nacional podemos encontrar diferentes normativas: Por una parte, podemos tomar en cuenta las leyes a través de las cuales se han aprobado y ratificado los convenios o tratados firmados por Argentina, a los que ya se hizo referencia. Por otra parte, también se toma en cuenta el marco normativo ambiental vigente en nuestro país, destacando los aspectos específicos sobre el cambio climático.

En Argentina, además de otras normativas ambientales que hacen referencia al cambio climático y la cuestión hídrica transversal a este trabajo, se destaca la ley N°27.520 de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático y la creación del Gabinete nacional de cambio climático, que constituyen los puntos de partida necesarios para el análisis. Los espacios institucionales empiezan a organizarse a partir de esta ley para implementarla y ejecutarla en el territorio nacional, lo que implica coordinar las políticas y tener en cuenta las competencias y atribuciones diferenciadas que tiene la nación, las provincias y municipios.

El Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales, como órgano rector de los ODS en nuestro país, conduce el proceso de adaptación a nivel nacional y acompaña técnicamente a aquellos gobiernos provinciales y municipales que manifiesten su interés en incorporar los principios y contenidos de la Agenda 2030 y los ODS. Además, conforman el marco institucional la Comisión Nacional Interinstitucional de Implementación y Seguimiento y la Red Federal ODS.

La ley N°27.520 fue reglamentada por el Decreto N° 1030 de

diciembre de 2020. Este decreto instrumenta las herramientas y espacios de trabajo creados por la ley a fin de garantizar el desarrollo e implementación de acciones y estrategias adecuadas para la adaptación y mitigación del cambio climático en todo el territorio nacional.

El área de ejecución de las políticas ambientales nacionales es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de quien depende la Secretaría de Cambio Climático, desarrollo sostenible e innovación que cuenta con la Dirección Nacional de Cambio Climático, de la que dependen dos coordinaciones de mitigación de cambio climático y de adaptación al cambio climático. La problemática del cambio climático, en el marco de la organización de la administración pública de la provincia de Córdoba, se encuentra atendida desde dos áreas principales y las distintas interacciones que pueden desarrollarse en el resto del esquema gubernamental.

La modalidad de la gestión ambiental y de la gestión de los recursos hídricos de la provincia posiciona la ejecución de las políticas en materia de cambio climático abordada desde lo ambiental por un parte y la problemática del cambio climático abordada desde los recursos hídricos, así nos encontramos con dos sectores que ejecutan políticas y acciones climáticas.

En el ámbito del Ministerio de Coordinación del gobierno de la provincia de Córdoba se encuentra la Secretaría de Ambiente de la provincia a la que le compete llevar a cabo políticas públicas tendientes a prevenir el daño ambiental, a proteger el ambiente y a contribuir al desarrollo sostenible. En el marco de las funciones que debe cumplir se destaca la de crear políticas para la mitigación y adaptación al cambio climático dentro del territorio de la provincia.

En el ámbito del Ministerio de Servicios Públicos encontramos la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) que entre sus funciones aparece la de abordar el cambio climático con una visión integral, promoviendo iniciativas de adaptación y mitigación y analizando la vulnerabilidad en la sociedad, trabajando en conjunto con otros Entes Gubernamentales.

La vinculación de estas áreas con las políticas fijadas a nivel nacional se encuentra en la ejecución de las políticas nacionales (el cumplimiento de los mínimos establecidos en la provincia a la ley 27.520), la formulación de políticas provinciales (fijando funciones en los organismos tendientes a atender aspectos del cambio climático) y la generación de programas y acciones concretas asociadas al tema.

Las áreas de ejecución de las políticas sobre cambio climático en cada ministerio tienen objetivos, funciones y programas diferenciados que están orientados por las competencias y atribuciones de cada organismo.

Para profundizar en cada organismo se describe, en la gestión que realizan, los aspectos centrales y los programas y acciones que se encuentran en desarrollo. Entre los programas vinculados al tema objeto de trabajo se destacan: Programa de cuantificación de caudales superficiales en ríos de la provincia de Córdoba, Observatorio hidrometeorológico, Programa de monitoreo de la calidad de agua de ríos, embalses y lagunas de la provincia de Córdoba.

Reflexión final

El conocimiento del contexto de compromisos internacionales es imprescindible para la ejecución de programas y acciones en el territorio. Todo ello nos plantea requerimientos de regulación que, en el ámbito nacional, conforman las exigencias mínimas a partir de las cuales se debe realizar la implementación en las provincias y en los municipios.

La formulación de políticas en materia climática, la organización de las instituciones encargadas de implementarlas y la

disponibilidad de instrumentos de política y gestión constituyen un escenario adecuado para la acción ante los problemas de adaptación y mitigación.

Los mecanismos jurídicos administrativos permiten utilizar los marcos normativos para promover, desarrollar o restringir hechos, acciones, obras o actividades que tienen incidencia en el cambio climático.

Los estudios técnicos, la información disponible y el conocimiento existente son el marco de referencia para la generación de trabajos que profundicen en los problemas de adaptación y mitigación de nuestros territorios, pero también deben integrarse en los contextos normativos, institucionales y administrativos establecidos.

Todo ello no es posible sin la integración de un trabajo interdisciplinario que permita un conocimiento del estado de situación de nuestros territorios con la propuesta de políticas y acciones concretas. Que se oriente, por una parte, a la mitigación o adaptación al cambio climático y, por otra parte, a la definición de las principales tareas de prevención y anticipación a los posibles cambios que se van originando.

A partir de los compromisos asumidos internacionalmente, la coordinación de las políticas nacionales y provinciales, el análisis de su transversalidad y la intergubernamentalidad en la ejecución serán aspectos relevantes para su desarrollo en los territorios.

Bibliografía

Administración Provincial de los Recursos Hídricos (APRHI) del gobierno de la provincia de Córdoba:

<https://ministeriodeserviciospublicos.cba.gov.ar/aprhi/>

Gabinete Nacional de Cambio Climático:
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/gabinete-nacional>

ODS Argentina:

<https://www.argentina.gob.ar/politicassociales/ods>

Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba:

<https://ambiente.cba.gov.ar/>

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA VID, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE POLÍTICAS DE REASIGNACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL OASIS NORTE DE MENDOZA

Carolina Lauro¹, Verónica Farreras^{1,2}, Laura Abraham³, Emilce Vaccarino¹

¹Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (CCT- CONICET MZA), Argentina.

²Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Económicas, Argentina.

³Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina.

E-mail: clauro@mendoza-conicet.gob.ar, vfarreras@mendoza-conicet.gob.ar

Introducción

En el marco del continuo déficit que experimentan los ríos y las proyecciones climáticas para la región, en los últimos años se ha acrecentado el interés por la gestión de la demanda hídrica promoviendo la distribución del riego según las necesidades hídricas de los cultivos. La Huella Hídrica (HH) de los cultivos es un indicador que permite contabilizar la cantidad de agua consumida desde la brotación hasta la cosecha ($m^3 ton^{-1}$) teniendo en cuenta diversas características del cultivo (Hoekstra *et al.*, 2011). Conocer la HH, permite una mejora de la eficiencia en el uso del agua. Esta mejora, puede generar beneficios sociales por permitir “ahorrar” agua para reasignarla a otros usos en los oasis, incluidos el abastecimiento poblacional y la conservación de los ecosistemas (Grafton *et al.*, 2018). Por consiguiente, las políticas de reasignación de los recursos hídricos se ubican entre las políticas que permiten aumentar de manera sostenible la Disponibilidad Hídrica (DH) avanzando hacia la seguridad hídrica y resiliencia al cambio climático (World Bank, 2016). Sin embargo, el cambio en la DH por acciones de política de estas características continúa siendo un aspecto poco explorado en los oasis mendocinos. El objetivo del presente estudio es cuantificar, en puntos porcentuales, el cambio en la DH en el oasis Norte por acciones de política dirigidas a la reasignación del agua de los viñedos a otros usos, manteniendo e incluso aumentando la producción vitícola.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Mendoza se caracteriza por un clima árido y semiárido –con una precipitación media anual de 220 mm– por lo que gran parte de sus áreas agrícolas y urbanas se reducen a pequeñas porciones de su territorio: los oasis (Figura 1).

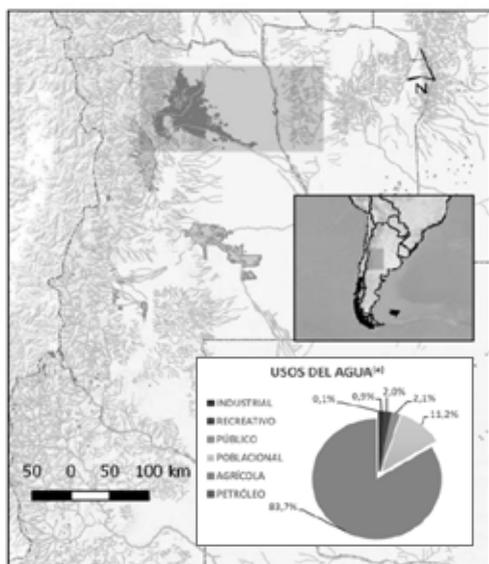


Figura 1.- Parcelas con cultivo de vid: en los oasis de Mendoza. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del Sistema de cartografía

de Información Ambiental Territorial (SIAT) e Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Nuestra área de estudio es el oasis Norte de Mendoza –irrigado por los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior– concentra alrededor del 58% del total de las parcelas con viñedos y más de la mitad de la población total de la Provincia.

En la mayoría de los viñedos se utiliza riego gravitacional (INDEC, 2018), siendo uno de los sistemas de riego menos eficientes (Schilardi *et al.*, 2015).

Metodología

Para estimar el cambio en la DH por políticas de reasignación de los recursos hídricos, se propone el cálculo del volumen promedio anual de agua distribuida por superficie cultivada proveniente del escurrimiento de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior y la estimación promedio de la HH de los viñedos a nivel oasis.

Agua distribuida por ha cultivada a partir del escurrimiento de los ríos del oasis. Se estimó la cantidad de agua escurrida por los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior destinada al uso agrícola a partir de anuarios hidrológicos, considerando los periodos 1956-2015 y 1976-2014 respectivamente. Luego, se aproximó el volumen promedio anual de agua distribuida por superficie cultivada de vid. A partir de esta estimación, se calculó la cantidad promedio anual de agua destinada a los cultivos de vid en el oasis Norte. Finalmente, se estimó la proporción entre el volumen de agua escurrida por los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior y el volumen utilizado en los cultivos de vid y, por ende, la disponible para otros usos en el oasis.

Análisis de la HH: agua requerida según las necesidades hídricas de los cultivos. En primer lugar, se recopiló información de las estaciones meteorológicas del oasis Norte para los años 2010-2020: Jocoli, Las Violetas, Russel, Perdriel, Junín, Medrano provenientes de la base de datos de Contingencias Climáticas de la provincia de Mendoza. En función del área de influencia de las mismas se dividió el oasis Norte en 5 regiones de análisis. Además, se recogió información de las características del suelo y cultivo –sistemas de conducción (parral o espaldero) y riego (INDEC, 2018).

En cada una de estas regiones se estimó, mediante la metodología propuesta en el Manual de Evaluación de HH (Hoekstra *et al.*, 2011), el volumen necesario de agua incorporado a través del riego–HH azul– y de agua de lluvia –HH verde– consumida por los cultivos de vid. La HH azul se estimó a partir del componente azul (CWU_{azul} , $m^3 ha^{-1}$) dividido el rendimiento de los cultivos (Y , $ton ha^{-1}$). CWU_{azul} fue calculado a partir de la acumulación de la evapotranspiración diaria (ET , $mm días^{-1}$) durante el periodo de crecimiento. La HH verde se obtuvo de manera similar. Para el cálculo de CWU_{azul} y CWU_{verde} , se utilizó el programa CROPWAT (FAO, 2010).

Posteriormente, se estimó el valor promedio de la HH azul y verde para el oasis Norte. Luego, para aproximar la cantidad de agua requerida según los requisitos hídricos de los cultivos de vid a nivel oasis, se utilizó el rendimiento promedio de los variedades más relevantes del oasis Norte (INV, 2020).

Finalmente, se estimó la proporción entre el volumen de agua escurrida por los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior y el volumen requerido según las necesidades hídricas de los cultivos de vid y, por ende, la DH para otros usos en el oasis.

Resultados y Discusión

Para obtener la DH promedio para otros usos según las características de distribución se evaluó en primer lugar el volumen promedio anual de agua distribuida por superficie cultivada a partir del escurrimiento de los ríos del oasis y la superficie de vid cultivada (Figura 2).

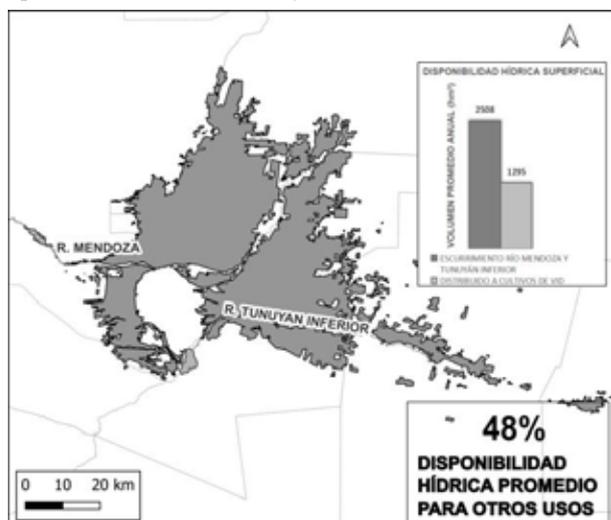


Figura 2.- Disponibilidad hídrica superficial de los ríos Mendoza y Tunuyán inferior y volumen promedio anual de agua distribuida por superficie cultivada de vid. Porcentaje de agua disponible para otros usos.

Posteriormente, se estimó la HH de los cultivos de vid en las 5 regiones climáticas definidas a partir de las estaciones meteorológicas disponibles. Dado que el agua requerida por el cultivo excede los aportes provenientes de la precipitación, el faltante es incorporado a través del riego. Consecuentemente, la HH azul resultó mayor a la verde en todas las regiones del oasis (Figura 3A). Mientras, que el valor promedio para el oasis Norte es de $682 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ y $126 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ de HH azul y verde, respectivamente (Figura 3B). Un resultado similar ha sido reportado en el estudio de Civit *et al.* (2018), quienes estimaron que la cantidad de agua utilizada en los varietales más relevantes de las cinco regiones vitivinícolas de Mendoza oscila entre $540,53 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ y $1.020,03 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$. En esta misma línea, Mekonnen y Hoekstra (2011) estimaron la cantidad promedio de agua utilizada en la producción vitícola mundial en $608 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ para el periodo 1996-2005.

Atendiendo al objetivo del presente estudio, se encontró que la implementación de políticas de reasignación del recurso hídrico, de los viñedos a otros usos, permite pasar de una DH promedio de 48% (Figura 2: distribución del agua por ha cultivada) a 69% en el oasis Norte (Figura 3: distribución considerando la necesidad hídrica de la vid). Por lo tanto, se estimó un incremento en la DH para otros usos, en promedio, de 21 puntos porcentuales.

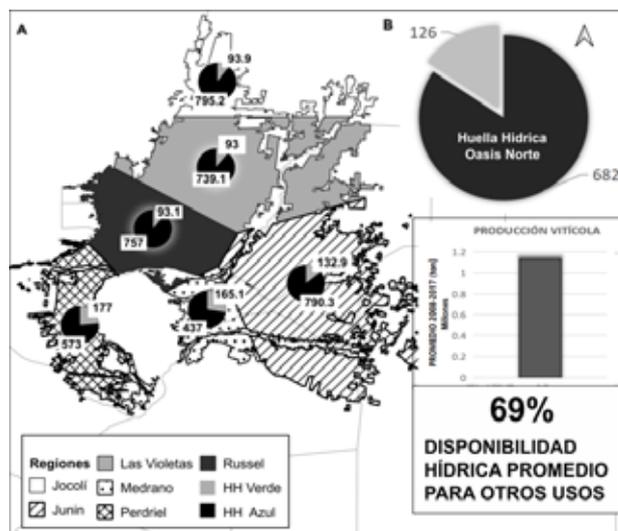


Figura 3.- A: HH verde y azul (m^3/ton) en cada una de las regiones. B: HH verde y azul (m^3/ton) promedio para el oasis Norte de Mendoza. Porcentaje de agua disponible para otros usos considerando la demanda del cultivo.

Conclusiones

En base a un análisis de la HH de los viñedos a nivel de oasis, el presente estudio estimó un cambio en la DH, en promedio, de 21 puntos porcentuales por acciones de política dirigidas a la reasignación del agua de los viñedos a otros usos en el oasis Norte. Esta información puede ser de particular utilidad para los tomadores de decisiones, responsables en la formulación de políticas y ecologistas en el diseño de sus programas y actividades dirigidos a promover estrategias de desarrollo sostenible adaptadas a la compleja realidad ambiental que vive la región.

Referencias Bibliográficas

- Civit, B., Piastrellini R., Curadelli S. y Arena, A.P. (2018). "The water consumed in the production of grapes for vinification (*Vitis vinifera*). Mapping the blue and green water footprint". *Ecological Indicators*, 85, 236-243.
- FAO. (2010). *CROPWAT 8.0 model*. FAO, Rome. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- Grafton, R.Q., Williams J., Perry C.J., Molle F., Ringler C., Steduto P., Udall B., Wheeler S.A., Wang Y, Garrick D. y Allen, R.G. (2018). "The paradox of irrigation efficiency". *Science* 351, 748-750.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. y Mekonnen, M.M. (2011). *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. London: Water Footprint Network. Earthscan Publishing.
- INDEC. (2018) *Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. Censo Nacional Agropecuario 2018*. Cuadros estadísticos. Disponible en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>.
- INV (2020). Instituto Nacional de Vitivinicultura. *Informe Anual de Superficie 2020*. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_anual_de_superficie_2020.pdf
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2011). "The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products". *Hydrol Earth Syst Sci.* 15, 1577-600.
- Schilardi, C., Rearte, E., Martín, L. y Morábito, J. (2015). "Diagnostico prospectivo del desempeño de métodos de riego en la provincia de Mendoza. Puntos de atención y estrategias de optimización". *XXV Congreso Nacional del Agua* (15-19 de junio de 2015) "El agua como política de Estado". Paraná, Entre Ríos.
- World Bank. (2016). *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy*. World Bank, Washington, DC.

GESTIÓN HÍDRICA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

CASO ARGENTINA Y TRIÁNGULO NORTE DE CENTROAMÉRICA

Dr Ludwing Antonio Llamas Alvarez

Programa de Posdoctorado, Universidad Nacional de Córdoba & Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich”, Argentina

Introducción

Se presenta avance parcial, del proyecto de investigación denominado, “Indicadores de Gestión para Bienes Públicos Regionales. Caso Triángulo Norte de CentroAmérica”. Área de aplicación, Recursos Hídricos, como parte del Programa de PosDoctorado sobre el Impacto de Proyectos Tecnológicos del Sector Público, de la Facultad de Graduados de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba y el Instituto de Altos Estudios Espaciales “Mario Gulich”. El contenido desarrollado es correspondiente al Objetivo Específico OE.1, acerca de Determinar conjuntos posibles de catálogos de productos públicos, asociados a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos del Triángulo Norte de CentroAmérica, basados en sistemas de información automatizados. Este objetivo en particular del estudio, tiene una caracterización endógena particular, asociada a mapeos de obras hidráulicas, pero también a la importancia de los sistemas de información como sustrato de gestión.

Este planteamiento se complementa con la estructura del Objetivo Específico [OE.3], sobre Analizar la vinculación entre componentes de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos del Triángulo Norte de CentroAmérica, y la proyección posible basados en sistemas de información automatizados, para establecer y/o fortalecer mecanismos de coordinación y cooperación regional, que fomenten una gestión integral del riesgo. Al respecto, en el contexto de la Gestión por Resultados, se refieren a la determinación de Modelos prescriptivos de gestión, que asocia estructuras de cadenas de resultados asociadas, y la susceptibilidad de automatización mediante recursos informatizados.

Metodología

Tipo de estudio explicativo, acerca del comportamiento de variables y factores según la operacionalización del estudio; proyectivo en cuanto al alcance sobre aspectos específicos del Ciclo de Políticas Públicas basadas en la Gestión Integral de Recursos Hídricos [Hidropolíticas] en el contexto de estudio. Según su enfoque de investigación, es mixto; cualitativo en cuanto a la indagación en el comportamiento de expectativas de los sujetos a cargo de la gestión de Hidropolíticas. Cuantitativo en cuanto al comportamiento de variables según la operacionalización del estudio. Según las bases de datos empleadas, tiene una orientación retrospectiva, de cortes transversales específicos, según la disponibilidad de datos. No hay manejo experimental de variables; se recurre al procesamiento de bases de datos primarias y secundarias. Para el presente Resumen extendido, se presentan aspectos de avances correspondientes al OE.1/OE.3, Actividades ACT16/17, de socialización de avances parciales.

Como criterio metodológico, destaca que dentro de las actividades para este Objetivo, se aprovecha la sistematización actualmente en curso, sobre los resultados de la Mesa de Discusión de Alto Nivel Intergubernamental sobre Agua, realizada recientemente [MD-ANI jun/2023], con la participación de los funcionarios públicos a cargo de las carteras hídricas en el Triángulo Norte de CentroAmérica, así como de la Secretaria General del Sistema de Integración Centroamericano y del Plan Trifinio [Guatemala/El Salvador/Honduras].

Resultados y Discusión

Dado que la utilización de sistemas de información automatizados, en el contexto de la gestión pública, es referencia, a la generación de productos asociados con la gestión de información proveniente de los Ciclos de Política Pública [Hidropolíticas] y para el cumplimiento de mandatos y funciones orgánicas de instituciones y dependencias de Gobierno y Estado, es esencial y relevante los sistemas de indicadores de seguimiento, monitoreo y evaluación, con diversos niveles de complejidad, factores, estadios y actores involucrados, se pudo determinar, derivado de la MD-ANI, que los Sistemas de información locales, tienen una alta composición de variables hidrometeorológicas, y aún se encuentran incipientes, en cuanto a insumos para la toma de decisiones, dentro de un Marco Armonizado de Gestión integral de recursos hídricos.

A modo de conceptualización de iniciativas globales, sobre Sistemas de Información Hídrica, la Res 25/OMM-1236 [Cg-XVIII, Ginebra 2019], refiere Iniciativas Hidrológicas en desarrollo actual, y que perfilan Gestión de datos e información hidrológica con el requerimiento de generar marcos comparables de medición, en cuanto a: 1) Marco de Gestión de la Calidad Hidrológica, que incluye acciones de alineación con otros sistemas, como la estandarización ISO [Res OMM-1157, Pto.4.1.100 Cg-XVII, Ginebra 2015, ya refería la armonización con el Grupo de Trabajo ISO/TC113-Hidrometría]; 2) Evaluación de desempeños en la medición de flujos de corrientes mediante asistencia a los Servicios Hidrológicos Nacionales [NHSs]; 3) el Facilitador de Asistencia Global Hidrométrica [HydroHub], dentro de la implementación de los Sistemas de Observación de los Ciclos Hidrológicos [HYCOS] acorde a las prioridades nacionales, bajo la estructura del Sistema de Observación Mundial del Ciclo Hidrológico [WHYCOS], así como de Comunidades de práctica NHSs y desarrollo del Sistema de Gestión de Bases de Datos Meteorológicas, Climatológicas e Hidrológicas [MCH]; 4) Gestión de la Información Hidrológica a través de la implementación del Sistema de Observación Hidrológica OMM [WHOS, Res 50/OMM Cg-XVI, Ginebra 2011], conforme al Sistema de

Observaciones Globales Integradas OMM [WIGOS], el Sistema de Información OMM [WIS] y el Sistema Mundial de Procesamiento de Datos y Pronóstico [GDPFS; el Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción (SMPDP, OMM-485), es fuente reglamentada de forma técnica, aplicable a los procesos de datos operacionales y sistemas de predicción OMM]; las contribuciones de los Centros de Datos Globales [GRDC, GPCC, IGRAC, HYDROLARE, vinculados bajo la Red Global de Hidrología, GTN-H, son relevantes en especial, para la implementación del WHOS]. 5) Iniciativa de Pronóstico de Inundaciones OMM y su aporte a la Gestión del Riesgo ante desastres [inundaciones (APFM) y sequías (IDMP)]; 6) Sistema Global de determinación del estado actual y de proyección hidrológica [HydroSOS], relacionado con el WIGOS, WHOS, GDPFS/SMPDP, además de la fundamentación de proyectos piloto con la Herramienta de Evaluación Dinámica de Recursos Hídricos [DWAT], la cual pretende estimar el impacto en el uso de la tierra según la disponibilidad de agua; 7) Capacidad de generar recursos de Gestión Hidrológica, utilizando insumos como el WHOS; 8) Iniciativa Mundial de Datos Hídricos [WWDI] como promoción para el desarrollo de Estrategias Nacionales de Datos abiertos sobre gestión hídrica y monitoreos hidrometeorológicos, junto con otras iniciativas como el HydroHub.

Si bien, los anteriores ejemplos de iniciativas de sistemas de información actualmente en gestión en el plano internacional, motivan a considerar el alcance en cuanto a la fortaleza para aportar datos e información, dentro del contexto integral de Hidropolíticas, en la región del Triángulo Norte de Centroamérica, hay importantes retos. Al respecto, derivado del contenido de la Mesa de Discusión de Alto Nivel Intergubernamental sobre Agua, [MD-ANI], se puede observar de la identificación de componentes que supondría, el alcance aportativo de las plataformas y sistemas de información [relacional] en material hídrica, que se complementan con los requerimientos de información que precisan, el contenido de Hidropolíticas endógenas vigentes:

- 1) caracterización del sistema de gobernanza sobre los recursos hídricos nacionales;
- 2) vinculación pertinente entre la Gestión de los Recursos Hídricos y las acciones de respuesta ante el cambio climático;
- 3) armonización congruente entre la Planificación y Presupuestación Pública del Sector Hídrico y la implementación de acciones para el Desarrollo Sostenible Nacional;
- 4) cobertura apropiada y efectiva de la disponibilidad de Agua Potable para consumo y saneamiento en las comunidades a lo largo del territorio nacional;
- 5) cobertura apropiada y efectiva de la disponibilidad de Agua para usos industriales y/o empresariales;
- 6) cobertura apropiada y efectiva de la disponibilidad de Agua para usos Agrícolas y Pecuarios;
- 7) cobertura apropiada y efectiva del tratamiento de aguas residuales, provenientes de ciudades y asentamientos humanos;
- 8) aplicación rigurosa y estricta de la legislación actual y vigente, para la protección de los recursos hídricos en el territorio nacional;
- 9) utilización de tecnologías de base informática, como la inteligencia artificial y datos satelitales, para la gestión idónea y

- 10) monitoreo de infraestructura estratégica necesaria para gestionar de la manera más apropiada, el aprovechamiento de recursos hídricos en el territorio nacional;
- 11) monitoreo del desarrollo de componentes curriculares que contribuyen de manera efectiva, a la Educación Ambiental, incluyendo aspectos en torno de las temáticas de Recursos Hídricos, como parte de los estudios del Sistema Educativo Nacional y/o Educación Obligatoria;
- 12) seguimiento de personal calificado para dar cobertura a las diversas funciones y responsabilidades que exige la función pública, para una eficaz y eficiente gestión de recursos hídricos;
- 13) seguimiento, monitoreo y evaluación periódica, de la calidad de los productos y servicios ecosistémicos, tanto de fuente pública como privada, de naturaleza hídrica;
- 14) mecanismos eficientes para facilitar la debida participación ciudadana, dentro de procesos descentralizados para la toma de decisiones, en áreas temáticas de la gestión integral de recursos hídricos;
- 15) mecanismos eficientes para conducir una debida gestión integral del riesgo, a lo largo de componentes de adaptación, mitigación y resiliencia, en torno de la gestión integral de recursos hídricos.

Reflexiones finales y Conclusiones preliminares

Como puede observarse con este componente en desarrollo actualmente, representa la utilidad de las categorías que tienen los sistemas de información automatizados de naturaleza hídrica, dentro del contexto bajo estudio, y su nexos con sistemas dinámicos de indicadores de hidropolítica. Al respecto, siguientes pasos incluyen la construcción de modelos de evaluación de la gestión, a partir de evidencia disponible localmente, y que pone en relieve la importancia notable de los sistemas de información, para dichas estimaciones. La disponibilidad de soberanía sobre la generación de datos e información de fuente tecnológica, como la producida por satélites, radares y estaciones de medición hidrometeorológica, como en el caso argentino, es importante a considerar, tanto como caso comparado, como en cuanto al aprovechamiento de sinergias para el desarrollo sistémico por parte del caso centroamericano. Por ello, y en consecuencia al Examen sobre los desafíos en materia de datos [Anexo 55-56, Cg-18/INF. 6.2(1)], destaca la impronta que tiene la Gestión de los datos como un medio de uso inteligente, interactivo y orientado a las necesidades sociales, mediante una conjugación del Pensamiento Global, Acción Local y orientación bajo enfoque de servicios integrados. La Declaración del Agua [OMM Cg-Ext, Ginebra 2021], realza las implicaciones que tienen los datos y la información, como elemento central para el desarrollo de estándares, que incluyen desarrollos informáticos, el Open Geospatial Consortium [OGC] y el Statistical Data and Metadata eXchange [SDMX].

Referencias [adicionales a las consignadas intratexto]

OMM [2019]. Datos HidroMeteorológicos, Res 55/OMM-1236, Cg-XVIII; Res 56/OMM-1236, Cg-XVIII. Ginebra: OMM
OMM [2015]. Sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial, Res 20/OMM-1157, Cg-XVII. Ginebra: OMM

MEJORAS EN EL ACCESO AL AGUA Y SANEAMIENTO DE UN PASILLO EN BARRIO SAN FRANCISQUITO DE LA CIUDAD DE ROSARIO

María Luz López Lefoll⁽¹⁾, González Albertina⁽¹⁾, Méndez Zacarias Soledad⁽¹⁾, Pacini Virginia⁽¹⁾,

E-mail: luzlefol@gmail.com, albertg@fceia.unr.edu.ar, jovitamz@fceia.unr.edu.ar, vpacini@fceia.unr.edu.ar
teléfono: + 54 341 6 86-0800 (María Luz López Lefoll)

Introducción

Durante la pandemia originada en marzo de 2020 se agudizó la crisis sanitaria y habitacional en los barrios populares. A la falta de acceso al agua segura, se le suman otras problemáticas como la falta de desagües cloacales, pluviales y una gestión adecuada de residuos sólidos urbanos, situaciones que contribuyen a la contaminación ambiental y a la proliferación de vectores poniendo en riesgo la salud de los y las vecinas.

En este contexto, se enmarca la situación particular de un pasillo del barrio San Francisquito, ubicado en la calle Rueda al 3900 de la ciudad de Rosario, donde la problemática fundamental era que las redes autogestivas de agua, desagües cloacales y pluviales se encontraban deterioradas, y no contaban con las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento, ante eventuales lluvias, la red pluvio-cloacal colapsaba inclusive ingresando en algunas viviendas, provocando enfermedades recurrentes en las personas que habitaban el lugar.

Cabe mencionar que el pasillo había quedado fuera del relevamiento del Renabap, dificultando aún más el acceso a la urbanización.

A mediados de 2020, desde la organización territorial “La Herminia Casa Popular” se convocó a participantes del programa de extensión Barrios de la FCEIA para elaborar una propuesta de intervención que permita mejorar el saneamiento. Debido a que la problemática de los y las vecinas involucraba aspectos relacionados a la salud, se convocó también al Centro de Salud N° 9 “San Francisquito” para realizar un abordaje interdisciplinario e interinstitucional.

Desde la facultad, se formó un grupo de trabajo que reunía diferentes actores, contando con docentes, estudiantes y graduados, de la carrera Ingeniería civil.

Gracias al anclaje territorial de la organización como del centro de salud, se logró conformar un equipo de trabajo compuesto por vecinas, referentes e integrantes de las diferentes instituciones y de la organización.

Metodología para la recolección de datos

La metodología adoptada para el diagnóstico realizado entre septiembre de 2020 y febrero 2021, fue la de mesas de trabajo coordinadas por integrantes del programa Barrios, en las que participaban diferentes actores dependiendo de la información que se deseaba recopilar.

Se tomaron como base las instancias previas de reclamos que habían realizado las vecinas con el acompañamiento del centro de salud y de la organización territorial que databan del 2016, 2017, 2018 y 2019. Estos reclamos previos, permiten visibilizar la gravedad de la situación y la persistencia en el tiempo. Complementariamente se realizaron entre noviembre y diciembre de 2020 una encuesta casa por casa, un relevamiento planialtimétrico del pasillo (Figura 1), un relevamiento de las instalaciones internas de las viviendas y se recopiló toda la información disponible respecto a la infraestructura de saneamiento existente en el barrio.

En la elaboración de la encuesta, se incorporaron preguntas con el objetivo de detectar instituciones vinculadas a las familias con las que posteriormente se pudiera realizar contacto, y sobre el acceso a los servicios básicos. En cuanto a la situación de la pandemia, se consultó principalmente sobre cuestiones relacionadas a la posibilidad de mantener las medidas sanitarias recomendadas en el contexto del barrio. Se intentó no profundizar la encuesta en aspectos en los cuáles desde la facultad no se pudieran acompañar los reclamos. Durante el tiempo que duró el relevamiento de datos, se observó gran movilidad de familias ya que en tres de las ocho viviendas, sus habitantes se fueron y las casas fueron ocupadas por otras personas, generalmente conocidas o familiares de las demás personas del pasillo. Se observó que la movilidad se daba en las casas que contaban con mayor precariedad.



Figura 1.- Foto del relevamiento topográfico

A partir de toda la información relevada se redactó de manera participativa y colaborativa, un informe integral donde se puso en manifiesto el diagnóstico sobre las problemáticas de saneamiento y salud presentes en el pasillo, finalizado en febrero de 2021.

Diagnóstico

De manera general, puede resaltarse, que si bien el sector en estudio está emplazado en una zona donde se cuenta con los servicios de alumbrado público, gas, luz, agua, cloaca y desagües pluviales, el acceso a los mismos dentro del pasillo no se realiza de manera formal, sino que los y las vecinas han encontrado la manera autogestiva de acceder de los mismos con materiales propios. Como resultado de esta situación, se observó en el interior del pasillo una disposición inadecuada de las excretas, deficientes desagües pluviales y agua de red que resulta no ser segura por las condiciones de acceso a la misma, resultando en una gran inequidad entre la calidad de los servicios disponibles en la cuadra y los servicios a los que finalmente pueden acceder los y las vecinas.

En lo referido a los conductos de desagües, se pudo observar que en los desagües pluviales escurría líquido compatible con desagües secundarios. Los conductos proyectados en el pasillo no tenían ni las pendientes ni las tapadas necesarias, y en algunos

tramos, se encontraban expuestos a la superficie y deteriorados, lo que contribuía a que ingresen desde el exterior materiales y residuos que disminuían las secciones de escurrimiento. Ante eventos de lluvia, el sistema colapsaba, llenando de efluentes cloacales toda la superficie del pasillo e inclusive ingresando en algunas viviendas. Esta situación afectaba la salud de los y las residentes según lo documentado desde el centro de salud.

La red de agua del pasillo estaba realizada con mangueras negras, en casi su totalidad expuestas a la intemperie, y en parte de su recorrido se encontraban en zonas bajas donde se acumulaba líquido pluvio-cloacal. El suministro de agua en el barrio presenta problemas de presión, efecto que se ve incrementado dentro del pasillo, con lo cual, durante varias horas al día, en los que la presión era muy baja o directamente se cortaba el suministro, existía la posibilidad de que se produjera una contaminación por flujo inverso con el líquido pluvio-cloacal estancado en el pasillo. Esta situación compleja, se vió reflejada en las encuestas, ya que los y las vecinas mencionan que en varias oportunidades el agua tenía olor fecal.

Tomando como base, que la solución definitiva sería formalizar el acceso a los servicios para cada vecino y vecina, para garantizar que la forma en la que acceden a los mismos se realice de una manera menos desigual en relación a las disponibilidades del barrio, pero que, al haber quedado el pasillo fuera del registro del RENABAP, llegar a esa solución sería un proceso mucho más lento, se propusieron una serie de lineamientos a tener en cuenta para desarrollar redes comunitarias dentro del pasillo.

Este informe se acompañó de un proyecto de redes comunitarias internas de desagües pluviales y cloacales de manera separada con su correcta conexión a las redes formales, se tuvo en cuenta la posibilidad de incorporar mano de obra de los y las vecinas, ya que en muchas de las viviendas se contaba con al menos una persona con conocimientos en el rubro de la construcción.

Considerando que las redes comunitarias internas deberían ser mantenidas por los y las vecinas, el proyecto contemplaba características adaptadas para tal finalidad. Se consideraron realizar mayores pendientes en los desagües, con el doble objetivo de maximizar el escurrimiento y de poder ejecutarlo con instrumentos de medición que tuvieran menor grado de exactitud, como niveles de manguera. Además, se agregaron cámaras de inspección con el fin de tener menor distancia entre las mismas, y en lo posible una por vivienda, para poder acceder con facilidad en caso de obstrucciones.

Intervención

Como resultado de estas mesas de trabajo, en agosto de 2021 se firmó un convenio entre Municipio y la empresa prestadora de agua y saneamiento, que permitió en octubre del mismo año comenzar a ejecutar obras que mejoraron el acceso al agua y saneamiento en el pasillo, abarcando conductos pluviales, cloacales y red de agua.

Los desagües cloacal y pluvial se resolvieron de manera independiente con materiales prestados por ASSA y mano de obra a cargo de la Municipalidad mediante la contratación de una cooperativa, el proyecto fue realizado por el sector de Obras Públicas de la Municipalidad y se asignaron inspectores del Distrito y del área de Hidráulica, no se asignó un director de obra, lo que derivó en algunos problemas ejecutivos y de comunicación entre los y las vecinas y la cooperativa.

En cuanto al agua, la empresa prestadora donó los materiales para mejorar las conexiones, realizando la distribución por un único caño al que se conectaron todas las viviendas. La mano de obra en este caso estuvo a cargo de los y las vecinas del pasillo, en una jornada de trabajo en la cual también participaron compañeros de la Herminia, de Programa Barrios y el responsable de Relaciones con la Comunidad de ASSA (Figura 2).

Además, se realizó una carpeta de terminación con la doble función de proteger las cañerías y mejorar la transitabilidad del pasillo.



Figura 2.- Foto de la obra de agua.

Conclusiones

El análisis de las problemáticas que se presentan en estos barrios es complejo y tiene múltiples aristas. Por esta razón resulta fundamental que el abordaje de estas problemáticas, se haga de manera participativa, integral, interdisciplinaria, interinstitucional con perspectiva de género y enfoque de derechos. Es necesario resaltar la importancia de la Universidad Pública como actor de la sociedad, poniendo el conocimiento adquirido a disposición de sectores que muchas veces no pueden acceder a asesoramiento profesional, y además, la relevancia del proceso de transformación del conocimiento académico, enriqueciéndose con los saberes populares, los usos y costumbres y los oficios de los y las vecinas.

Es de vital importancia incluir activamente en todo el proceso a las personas que serán beneficiadas con las intervenciones, ya que son los y las únicas que conviven día a día con la problemática y que por el momento, deberán hacerse cargo del mantenimiento de las mismas. Debido a esta cotidianeidad, se considera que se podría dar un rol de mayor importancia durante la etapa de ejecución, siendo ellas mismas quienes podrían realizar el seguimiento de las obras con un acompañamiento técnico desde las instituciones académicas. Sin duda, esto sumado a fuertes relaciones interinstitucionales favorecerá la comunicación y permitirá trabajar más dinámicamente, evitando errores que finalmente podrían devenir en el desperdicio de recursos materiales y humanos.

Referencias Bibliográficas

Programas Barrios. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (FCEIA, UNR). Programa de investigación y extensión que lleva adelante proyectos de saneamiento en barrios populares.

Renabap. Registro Nacional de barrios populares realizado por la Secretaría de Integración Sociourbana del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación.

POLÍTICA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS (ART)

PARA RIEGO EN RIO NEGRO

Autor: Ing. Ftal. Santiago Jorge Magnin

Departamento Provincial de Aguas
San Martín N°249 – Viedma, Río Negro, Argentina
E-mail: smagnin@dpa.rionegro.gov.ar; magninsantiago@gmail.com

Introducción

El Departamento Provincial de Aguas (DPA) es la Autoridad del Agua en la Provincia de Río Negro y como tal, de acuerdo a lo que establece el Código de Aguas Ley Q N° 2952, responsable de la formulación y ejecución de la Política Hídrica.

La citada Ley establece el régimen de Protección y Conservación de los recursos hídricos y señala que el control de calidad y protección de los recursos hídricos provinciales que sean utilizados como cuerpos receptores de residuos o efluentes producto de las actividades el hombre se regirá por las disposiciones del Código y su reglamentación.

La Provincia tiene una cobertura de servicios en Agua Potable de 97 % de la población y en saneamiento alcanza el 81%, siendo estos concesionados y el Departamento Provincial de Aguas, Ente Regulador.

En cuanto al Saneamiento los efluentes históricamente se han colectado y tratado en Plantas Depuradoras, principalmente, sistemas de Lagunas Facultativas y luego de tratados, vertidos a cuerpos hídricos (ríos, lagos, arroyos, colectores de drenaje).

En el año 2010, en su reunión de Comité Ejecutivo, la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), dentro de la cual la Provincia tiene representación, propuso la eliminación en el mediano y largo plazo de todo tipo de vuelco en ríos y lagos de la cuenca mediante el tratamiento y reutilización de los mismos y para el caso particular de efluentes cloacales la reutilización en riego forestal evitando así procesos de contaminación de cuerpos de agua, la captación de C atmosférico, producción de madera para distintos usos y fijación de suelos para disminuir procesos de erosión.

A partir de ese momento el Departamento Provincial de Aguas ha proyectado y ejecutado obras de Planes Directores de Cloacas con esa premisa y ha fomentado la reutilización de las ART en riego agrícola – forestal en las plantas de tratamiento de efluentes de distintas localidades del territorio provincial.

Fundamentos

Solo el 1% del agua existente en el mundo se encuentra en forma de agua dulce en estado líquido y de esta, el 98 % confinada en acuíferos (Bouwer, 2000)

Se calcula que la demanda de agua excede a la oferta en un 40% de la población mundial (Bennett, 2000).

Ya en 1958 el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas recomendaba que a menos que existan grandes excedentes nada del agua de la más alta calidad debería utilizarse para actividades que toleren un menor nivel de calidad.

El uso de agua en riego agrícola representa el mayor uso de agua dulce, sobre todo en regiones áridas y semiáridas como se caracteriza la provincia de Río Negro, siendo necesario conservar la calidad y utilizar de manera más eficiente las fuentes de agua convencionales (ríos, lagos, lagunas) con destino al consumo humano y utilizar fuentes no convencionales

como las ART para riego.

La implementación, fomento y desarrollo de una política de estado, enmarcada en los conceptos de Gestión Integral del Recurso Hídrico y Economía Circular, cobra más significancia aun teniendo en cuenta el contexto de Cambio Climático global y estado de emergencia hídrica que se declaró a Nivel Nacional en el año 2021 y que fuera ratificado por la AIC particularmente para las provincias de Neuquén, Río Negro y sur de Buenos Aires en el año 2022.

La reutilización de ART en riego tiene múltiples beneficios, ambientales, económicos y sociales, pudiendo mencionarse entre otros que se reduce la descarga en cuerpos hídricos y su contaminación, se disminuye la competencia sobre el recurso hídrico para otros usos, se posibilita una actividad económica en aquellos lugares donde no es posible la producción bajo riego por escasez de una fuente de agua dulce, se mejora la economía de los regantes ya que se dispone de agua a lo largo de todo el año, un agua rica en nutrientes y materia orgánica y se mejoran las condiciones ambientales generales del lugar donde se utilizan.

Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006), relevó una superficie productiva bajo riego con agua residual con o sin tratamiento del orden de 20 millones de hectáreas lo que representaba un 7 % de la superficie mundial bajo riego.

Israel se encuentra a la vanguardia mundial del uso planificado de las aguas residuales en agricultura, utilizando el 65% de las ART de la región metropolitana de Tel Aviv para riego de la región de Dan, destacándose también Túnez que usa entre el 30 y 40% de sus ART en riego.

En Europa no está muy difundido el uso de estas aguas a excepción de regiones áridas de España e Italia.

En América Latina México es el país con más superficie bajo riego con aguas residuales, unas 350 mil hectáreas, destacándose también Chile, Perú, Colombia y Bolivia (CEPIS 2002; D Andrea et al, 2014).

En la Argentina la Provincia de Mendoza con unas 7000 ha de Áreas de cultivo restringidos especiales (ACREs) de Campo Espejo, Paramillo (Lavalle), Costa de Araujo, Potrerillos y Penitenciaría (Luraschi y Raueck, 2017)

Destacándose también las experiencias de Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia en Chubut, Villa nueva en Córdoba y Cafayate en Salta.

Desarrollo

En Río Negro las primeras experiencias de utilización de ART en riego se remontan al año 1995, cuando una Desarrolladora inmobiliaria, acuerda con el Concesionario del Servicio de agua y cloaca la provisión y utilización de los efluentes de la Planta

Cloacal de la ciudad balnearia de Las Grutas para un proyecto urbanístico y deportivo (campo de Golf)

Posteriormente a fines de los 90 en dicha localidad comienza un emprendimiento Olivícola que en el año 2001 empieza a utilizar el ART para el riego de su plantación, contando actualmente con una superficie productiva bajo riego de 28 hectáreas.

En el año 2011 se firma un Convenio de Cooperación Técnica entre el DPA, la AIC, la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) sede Andina, y la Municipalidad de San Carlos de Bariloche para el Estudio, evaluación y lineamientos generales de aplicación de las ART en S.C de Bariloche, que estableció pautas teóricas de trabajo en proyectos de reutilización de estas aguas.

En el año 2015 se firma un Convenio de Cooperación Técnica entre el DPA, la UNRN sede Andina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Cooperativa de Agua y otros servicios de Jacobacci y la Municipalidad de Ingeniero Jacobacci, para ejecutar un proyecto de investigación contrastando el riego de pasturas naturales e implantadas y especies forestales con fuente de agua de perforación y ART, con la finalidad de establecer diferencias de productividad y efectos sobre variables físico químicas del suelo. Dicho Convenio se ratifica en el año 2021 incorporándose el Ente de Desarrollo para la Región Sur y su Vivero Forestal de Jacobacci y el Centro de Educación Técnica CET 26, ampliándose el proyecto con una orientación productiva de especies leñosas.

Cabe señalar que esta localidad se encuentra ubicada en la región Sur de la Provincia caracterizándose por condiciones ambientales de extrema aridez, temperaturas de valores extremos en verano e invierno, fuertes vientos, suelos muy pobres, con escasa disponibilidad de agua y en profundidad y una Planta depuradora de líquidos cloacales con una laguna de estabilización aireada que vertía los efluentes tratados al área de mallín o reserva hídrica.



Figura 1.- Parcelas de ensayo comparativo con forrajes y forestación regadas con ART y agua de perforación, Ing. Jacobacci

Este trabajo fue el disparador de iniciativas similares en otras localidades de la Provincia: Gral. Conesa y San Javier en el Valle Inferior del Río Negro, Gral. Roca en el Alto Valle, han iniciado ya proyectos de reutilización de ART a partir de Convenios similares y han accedido al Programa ImpaCTAR del Ministerio de Ciencia y Técnica de la Nación, recibiendo un aporte de \$ 9.5 millones para su financiamiento.



Figura 2.- Estaquero forestal de salicáceas regado con ART, San Javier

Por otra parte, en el año 2018 la provincia ejecuta el primer Plan Director de cloacas con “Vuelco Cero” en la localidad de Choele Choel, situada en el Valle Medio del Río Negro, que vertía sus efluentes cloacales sin tratamiento al curso del río. Como parte de las obras se construye una planta de tratamiento con una superficie aldeaña de 20 ha para la disposición del efluente tratado en riego forestal, habiendo actualmente una plantación de 3 ha de sauce.

Esta iniciativa se consolidó como política con la ejecución de obras de Planes Directores en otras localidades destacándose las villas balnearias de Las Grutas y Playas Doradas en zona atlántica; en la región Sur, Pilcaniyeu; en Alto Valle, Villa Regina y Mainque y en Valle inferior, la obra en su ciudad capital Viedma, que cuenta con un área dentro del predio de la Planta de tratamiento de 500 ha con potencialidad de aprovechamiento para proyectos de uso del ART.

En todas las ciudades mencionadas se está trabajando en el desarrollo de proyectos de uso del efluente tratado en riego, con el objetivo de vincular a los mismos al sector privado, habiéndose alcanzado un acuerdo en el caso particular de Mainque con una Cooperativa de Trabajo forestal, que utilizará las ART en la implantación de álamos con destino a aserrado.

Conclusiones

Implementar el uso de ART en proyectos de riego u otro/s usos es importante como Gestión Integral de los Recursos Hídricos a nivel gubernamental, sobre todo en regiones de condiciones áridas o semiáridas como las que predominan en nuestro país atendiendo también a los efectos del cambio climático y la variabilidad en fuentes de agua.

La difusión e intercambio de experiencias es una buena herramienta para promover estas iniciativas en otras localidades.

Referencias

- Bennett, A.J.** (2000). “Environmental consequences of increasing production” *Agricultural Ecosystems Environmental*, 82, pp. 89–95.
- Bouwer, H.** (2000). “Integrated water management: emerging issues and challenges” *Agricultural Water Management*, 45, pp. 217–228.
- Luraschi, M; Raueck, T.** (2017). Uso de aguas residuales en Agricultura, UNCuyo.

CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL CANAL PRINCIPAL DE RIEGO DEL ALTO VALLE: UNA EXPERIENCIA HACIA LA GIRH

Mañueco, M.L.¹; Montenegro, A.¹; Guiñazu, M.²; Barrionuevo, M.²; Córdoba, J.²; Gittins, M.C.¹; Sheridan, M.²; Kamerbeek, E.⁷; Labollita, H.³; Othaz Brida, A.³; Romero, G.³; Contreras, A.³; Sora, G.⁴; Merino Tosoni, M.P.⁴; Storti, C.⁴; Vettori, O.⁵; Bernardis, A.⁶; Navarro, C.⁶

¹ INTA EEA Alto Valle; ² INTA IPAF Patagonia; ³ AIC; ⁴ DPA; ⁵ Consorcio de Riego de 2do grado; ⁶ FACIAS-UNCo; ⁷ ARSE
E-mail: manueco.lucia@inta.gov.ar

Introducción

La presencia de vegetación acuática en los canales del Sistema Integral de Riego del Alto Valle de Río Negro y Neuquén se reporta como un problema desde los primeros años de operación del Sistema Integral de Riego por reducir la capacidad de conducción de agua del canal principal y sus derivaciones. La creación de los embalses Los Barreales y Mari Menuco del complejo hidroeléctrico Cerros Colorados (1978) favoreció el crecimiento y desarrollo de la vegetación acuática por la pérdida de sedimentos transportados por el río Neuquén, fenómeno conocido como efecto de las aguas claras (Baylac et al, 2001). El desarrollo de vegetación acuática afecta la operación y mantenimiento de todo el Sistema de Riego, pero particularmente del Canal Principal de Riego del Alto Valle (CPRAV) y sus Centrales Hidroeléctricas, incrementando los costos y complejizando las tareas de mantenimiento durante la temporada de riego (Reverter, 2011).

A fin de profundizar el análisis del problema y delinear estrategias de manejo, se conformó un equipo de trabajo interinstitucional con personal técnico del Consorcio de Riego de Segundo Grado, la empresa Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado (ARSE), el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA), la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS) de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo). Las actividades comenzaron en agosto de 2019 con un primer monitoreo de diagnóstico a partir del cual se planificó el desarrollo de los trabajos a campo que implicaron mediciones in situ y colección de muestras de agua, sedimentos y material vegetal durante tres temporadas de riego: 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022.

En septiembre de 2019 se registró una contingencia que condicionó los resultados obtenidos. Por la salida de servicio de una turbina en la Central Hidroeléctrica Planicie Banderita, se erogaron caudales de entre 80 y 130 m³/s por el tramo regulado del río Neuquén durante 76 días, incrementando la turbiedad del agua. Esta contingencia permitió evaluar el efecto del incremento de la turbiedad en el desarrollo de vegetación acuática.

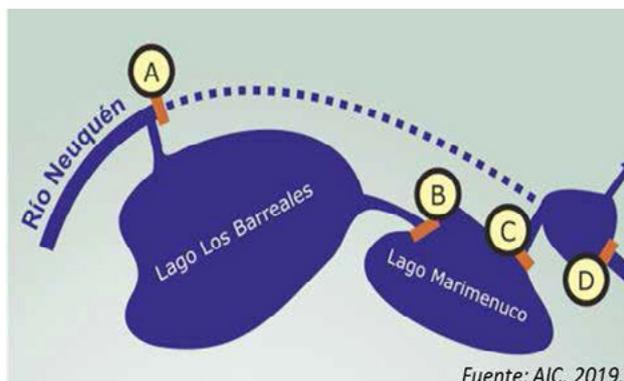


Figura 1. Esquema de operación del Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados. La línea punteada indica el tramo regulado del río Neuquén

entre la Presa Portezuelo Grande (A) y el embalse El Chañar (D). Los puntos marcados en la imagen corresponden a: Presa Portezuelo Grande (A), Presa Loma de la Lata (B), Central Planicie Banderita (C) y Presa El Chañar (D). Fuente: AIC, 2019. www.aic.gov.ar

Metodología

El monitoreo de la calidad del agua comenzó en agosto de 2019 y se llevó a cabo durante tres temporadas consecutivas: 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022. Los muestreos consistieron en mediciones in situ y colección de muestras de agua.



Figura 2. Sitios de monitoreo de la Calidad del Agua sobre el Canal Principal de Riego del SIRAV.

Durante la temporada 2019-2020, se realizaron muestreos en seis sitios del CPRAV. Se midieron in situ temperatura del agua (T° agua), pH, conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD) tanto en concentración ([OD]) como en porcentaje (OD%). También se colectaron muestras para la determinación en laboratorio de nutrientes: fósforo total (PT) (SM 4500 P-f), nitrógeno total (NT) en los sitios 1 a 3 y nitrógeno orgánico total (NOT, digestión con persulfato) en los sitios 4 a 6 y para el análisis bacteriológico, Coliformes Totales (SM 9221 B) y *Escherichia coli* (SM 9221 E-G) en todos los sitios.

Durante la temporada 2020-2021, los muestreos fueron en tres sitios del Canal Principal con frecuencia mensual y se incorporaron las determinaciones de fracciones disueltas de nitrógeno y fósforo prescindiendo del análisis bacteriológico (*E. coli*). Para las mediciones in situ de temperatura del agua (T°) y conductividad eléctrica (CE), se empleó un medidor portátil Oakton Waterproof ECTestr 11. Se colectaron muestras para la determinación en laboratorio de: pH, oxígeno disuelto (OD), turbiedad, fósforo total (PT) y reactivo soluble (PRS), nitrógeno total (NT) y sus fracciones: nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄), que no habían sido analizadas en la primera temporada. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio ENSI en la provincia del Neuquén.

Para la temporada 2021-2022, se realizaron dos muestreos en cuatro sitios del Canal Principal. Para las mediciones *in situ* se usaron medidores portátiles: Oakton Waterproof EC1 (conductividad eléctrica, CE) y pH1 (pH), HACH HQ30d flexi (oxígeno disuelto, OD) y turbidímetro HACH 2100P (turbiedad)

y se colectaron muestras para la determinación en laboratorio de nutrientes totales (fósforo total (PT), nitrógeno total (NT)) y fracciones disueltas (fósforo reactivo soluble (PRS), nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄)). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio CIATI de la ciudad de Neuquén. En todas las temporadas de estudio se identificaron las especies de plantas vasculares y algas presentes en el Canal Principal de Riego, a fin de conocer sus aspectos biológicos y ecológicos. Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimentos en distintos puntos del canal a fin de conocer su contenido de nutrientes y composición textural.

Resultados y Conclusiones

Los principales resultados obtenidos se asocian con la identificación de la vegetación acuática compuesta por plantas vasculares y algas en los distintos sectores del Canal Principal y las condiciones de calidad de agua y sedimentos asociadas con su crecimiento (APHA, AWWA, WEF, 1995; Barrionuevo et al, 2021; Dall Armellina et al, 1996; Richardson et al, 1978). La presencia de vegetación acuática y la dominancia de alguna especie sobre otras se ve determinada principalmente por la textura del banco de sedimentos (Barrionuevo et al, 2017; Wersal and Madsen, 2012).

Durante las tres temporadas de riego evaluadas, la calidad del agua registrada en el CPRAV presentó condiciones análogas a las registradas en el río Neuquén en el sitio de referencia aguas abajo del Dique Ballester, aunque se registraron mayores concentraciones de sales (expresado por la conductividad eléctrica) y de nutrientes totales (fósforo y nitrógeno) en el Canal de Riego. Las variaciones estuvieron asociadas principalmente al momento de muestreo, evidenciando una dinámica estacional homogénea a lo largo de las progresivas del Canal.

Durante la temporada 2019-2020, se destacan los altos valores de turbiedad registrados originados por la salida de servicio de la Central Planicie Banderita, que resultan atípicos si se comparan con los periodos de operación habituales.

A partir de los resultados, se delinearon propuestas de manejo del sistema para minimizar el crecimiento de la vegetación acuática. Se propone como estrategia efectiva de control, el incremento programado de la turbiedad mediante la generación de pulsos periódicos de cinco días de duración. Los pulsos deberían iniciarse en octubre, en coincidencia con el crecimiento explosivo de la vegetación por aumento de la temperatura del agua e incremento de la extensión del fotoperiodo.

El abordaje de temas técnicos por parte de diferentes instituciones constituye un enfoque valioso en el que se destaca el aporte de todos los actores a fin de hallar estrategias de gestión consensuadas a un problema concreto como el analizado en el presente estudio.



Figura 3. Recolección de material vegetal en diferentes tramos del Canal Principal de Riego.

Referencias Bibliográficas

- Baylac, M.; Fernandez, N.; Larreguy, A.; Landriscini, G.** (2001). "Efecto de las Aguas Claras en el Sistema de Riego del Alto Valle". Informe Final (Tomo I y II). Consejo Federal de Inversiones. Provincia de Río Negro.
- APHA, AWWA, WEF** (1995). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 19 ed.
- Barrionuevo, M.E.; Copes, W. J.; Flores, L. B., Dussi; M.C., Correa, M.J.; Daga, G.A.** (2017). Caracterización de restos vegetales acuáticos para su uso en agricultura. En: Libro de Resúmenes del III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Santa Fe, del 31 de Julio al 3 de Agosto 2017. ISBN: 978-987-46096-2-5.
- BARRIONUEVO, M.E.; GITTINS, C; BERNARDIS, A. NAVARRO, C.** (2021). Caracterización de los restos vegetales de la limpieza del Canal Principal de Riego del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. III Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales de NOA y Cuyo. Santiago del Estero, 2021.
- Dall Armellina A.; Bezic C. R.; Gajardo, O. A.** (1996). Propagation and Mechanical Control of Potamogeton illinoensis Morong in Irrigation Canals in Argentina. *J. Aquat. Plant Manage.* 34: 12-16. *J. Aquat. Plant Manage.* 34: 12-16
- Reverter, M.** (2011). Canal Principal Sistema de Riego Alto Valle, situación actual y propuesta de mejoramiento. Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro. P 2-6.
- Richardson, C. J.; Tilton, D. L.; Kadlec, J. A.; Chamie, J. P.; Wentz, W. A.** (1978). Nutrient Dynamics of Northern Wetland Ecosystem. En: R. E. Good, D. F. Whigham, and R. L. Simpson (Eds.), *Freshwater Wetlands, ecological processes and management potential.* (pp. 217–241). New York: Academic Press, Inc.
- Wersal, R. M.; Madsen, J. D.** (2012). *Aquatic plants their uses and risks. A review of the global status of aquatic plants.* Rome, Italy: FAO.
- Labollita, H.; Othaz, A.; Sora, G.; Merino Tosoni, M. P.; Kamerbeek, E.; Storti, C.; Bernardis, A.; Gittins, C.; Montenegro, A.; Guiñazu, M.; Sheridan, M.; Mañueco, L.; Romero, G.; Contreras, A.; Storti, C.; Vettori, O.; Barrionuevo, M.; Navarro, C.** 2023. Crecimiento de la vegetación acuática en el canal principal de riego del Alto Valle. 80 p.

Instrumentos para la gestión ambiental del recurso hídrico aplicados en la Provincia de Mendoza

Aníbal Manzur, Fabio Lorenzo, María T. Badui, Sergio Marinelli y Marcela Andino

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215
anibal.manzur@gmail.com florenz@irrigacion.gov.ar slmarinelli@yahoo.com licbadui@gmail.com marcelaandino71@gmail.com

Introducción

La autoridad del agua de Mendoza, Departamento General de Irrigación, (DGI) tradicionalmente ha gestionado el agua sobre la base de líneas enmarcadas en modelos que contemplaban al recurso hídrico desde la visión de la oferta y la demanda. Si bien desde finales del siglo pasado, por Res. 778/96 HTA se reguló sobre la prevención y control de la calidad del agua, la cual supo captar las mínimas referencias que al respecto contenían la Ley General de Aguas de 1884, la Ley 4035 de Aguas Subterráneas y la Ley 6044 de Reordenamiento del Servicio Público de Agua y Saneamiento, como así también los incipientes principios ambientales que comenzaban a desarrollarse en el ordenamiento jurídico argentino luego de la reforma constitucional de 1994. Desde la presente década se adopta la decisión de ampliar los alcances de la gestión de la calidad del agua hacia un modelo ambiental, contemplando el conjunto de servicios ecosistémicos vinculados al recurso hídrico y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 6).

En el marco de ese nuevo paradigma de gestión del agua se han impulsado modificaciones reglamentarias, desarrollado estrategias y se han abordado conflictos ambientales concretos que desarrollaremos en el presente trabajo, los cuales toman como base los instrumentos de política y gestión ambiental definidos por la Ley Nacional del Ambiente 25675 y otros de aplicabilidad general en la materia.

1. Políticas e Instrumentos

a) Ordenamiento Ambiental del Territorio

La gestión del medio ambiente debe contemplar la capacidad de carga o recepción del sistema territorial, tomando en consideración los procesos y riesgos. En la provincia de Mendoza la red hídrica cumple una evidente función de conformación y articulación del territorio provincial.

En Mendoza el 98 % de la población reside en los denominados oasis irrigados los cuales ocupan aproximadamente un 5 % del territorio. Estas unidades territoriales presentan una marcada complejidad, tanto en su dinámica como en el manejo respecto de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos. Es por ello que en la actualidad se presta especial atención a la hora de gestionar el agua los servicios ecosistémicos de regulación climáticas y de calidad de vida de las zonas productivas tradicionales en el área cercana a las zonas urbanas, las cuales son fuertemente demandadas por el sector inmobiliario lo que genera importantes cambios en los usos del suelo que afectan la funcionalidad del sistema.

Por otra parte, con relación a los planes de desarrollo de industrias extractivas en ámbitos de cordillera, la población de la provincia lo percibe como un riesgo respecto de la seguridad hídrica en cantidad y calidad. Como consecuencia se han generado zonas de exclusión en el marco de la Ley de Áreas Naturales Protegidas (N° 6045),

Si bien hay normas de ordenamiento territorial en la provincia, Ley 8051, la autoridad del agua viene instando por ante los municipios, encargados de la planificación del territorio local, a que se aporte mayor contenido técnico estratégico al análisis de los procesos donde se adopten instrumentos adecuados para la planificación y gestión del territorio y del agua que lo estructura,

ya que se entiende que los ecosistemas y paisajes hídricos deben formar parte prioritaria de la planificación y gestión.

b) Evaluación de Impacto Ambiental de obras hídricas (EIA)

La EIA, es un instrumento esencial que permite evaluar tanto las acciones territoriales con posible incidencia en el sistema hídrico como así también el impacto de los proyectos hídricos sobre el sistema. La utilización de este instrumento se vincula a dos aspectos que resultan prioritarios: por un lado, la correcta evaluación de las actividades y su interrelación con el sistema hídrico tanto en cantidad, calidad o procesos asociados, y por el otro la evaluación ambiental de los proyectos.

El DGI ha adecuado los lineamientos de evaluación de proyectos a los criterios de los organismos nacionales como la DIPROSE y en el marco de los requerimientos de las entidades de crédito internacionales.

A nivel local todos los proyectos se enmarcan en la legislación vigente: Ley Provincial N°5961/92 y el Decreto Reglamentario 2109/94.

Además, como aspectos específicos se ha elaborado un manual de buenas prácticas para el desarrollo de obras y una propuesta de reglamentación del proceso de EIA de obras hídricas buscando acelerar los tiempos de evaluación garantizando los estándares de calidad ambiental.

c) Los sistemas de diagnóstico e información

La evaluación integrada de los sistemas ambientales requiere de un análisis de las características y potencialidades de las diferentes unidades y de los procesos históricos y actuales de intervención con relación al agua y sus servicios ecosistémicos asociados. Esta evaluación involucra necesariamente la elección de diferentes tipos de indicadores.

El seguimiento del territorio debe realizarse sobre la base de entender además los procesos territoriales que se están produciendo sus características, intensidad, relación con el recurso hídrico, actores e institucionalidad relacionada.

Es por ello que el DGI realiza un control permanente de la calidad de las aguas superficiales y estudios de aguas subterráneas en zonas de influencia de actividad hidrocarbúrica, en el cinturón verde sujeto a procesos de fertilización y usos agroquímicos intensivos, en zonas con potencial afectación de efluentes cloacales, y seguimiento del proceso crítico de salinización de acuíferos.

d) Instrumentos económicos

Los instrumentos económicos utilizados en la gestión ambiental son un eficaz complemento de la acción regulatoria del Estado. Su buen diseño permite internalizar adecuadamente las externalidades, generar los incentivos apropiados en los distintos actores de la sociedad y favorecer el uso eficiente de los recursos. (CEPAL, 2015). Entre los tributos hídricos que se exigen a los usuarios del agua y del dominio público hidráulico en Mendoza, pueden identificarse algunos con contenido ambiental efectivo ya que promueven la preservación de la calidad del agua y una más eficiente disposición de los efluentes industriales.

La reciente Resolución 52/2020 HTA, vinculada al control de actividades a la cual haremos referencia a continuación, contempla tarifas diferenciales a aquellos establecimientos que realicen reuso agrícola, bajo la consideración que el suelo actúa

como medio complementario de tratamientos. Además prevé un Canon por Control de la Contaminación más gravoso para los establecimientos industriales que hayan sido categorizados como agentes Contaminantes mientras persistan en dicha categoría como medida para constreñir a los mismos al cumplimiento de ciertos recaudos formales y técnicos que la norma establece.

Sin perjuicio de ello para otras actividades como la hidrocarburífera, el canon vigente no contempla criterios mínimos de progresividad y autofinanciamiento. Tampoco refleja las verdaderas condiciones de riesgo con relación al recurso hídrico, es por ello que actualmente se ha elaborado una propuesta para generar un nuevo esquema tributario específico para dichas actividades vinculado al proceso de reinyección de aguas de recuperación secundaria.

2. Adecuación de la normativa de control

En el marco del modelo de gestión ambiental del agua que el DGI viene aplicando, habiendo transcurrido más de 20 años la Resolución n° 778/96 HTA, la experiencia adquirida por el DGI, las Leyes de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental, las normas dictadas por otras jurisdicciones, algunos fallos judiciales que han marcado hitos en la jurisprudencia ambiental, en un contexto de varios años de sequía prolongada y frente a efectos palpables del cambio climático se encaró un proceso de revisión y adecuación de la normativa vigente.

Luego de un largo proceso de análisis y varios talleres participativos y de validación, a los que fueron convocados actores claves vinculados a la aplicación de la norma se aprobó, por Resolución 52/20 HTA-, una serie de modificaciones al régimen del Control de Calidad del agua de la provincia.

Dichas modificaciones tomaron como antecedentes las normas ambientales, tanto nacionales como provinciales, los estándares que ha fijado la CSJN en el caso de la cuenca Matanza Riachuelo y los principios del procedimiento administrativo de la Ley 9003 de Mendoza en cuanto al respeto del debido proceso a la hora de llevar adelante las inspecciones de fiscalización. Con la nueva norma, se introdujo un cambio esencial respecto del parámetro conductividad eléctrica, el cual dejó considerado con valor fijo de límite admisible quedó condicionado en su valor admisible al resultado de una fórmula polinómica, que tiene en cuenta la localización de la industria, la peligrosidad del Establecimiento y las características del agua de partida.

A partir de este nuevo régimen de control de calidad el DGI efectuará un control más efectivo, transparente y eficaz de los vertidos industriales a cauces del dominio público hidráulico, contemplando la realidad geográfica, hidrológica e, hidrogeológica de cada cuenca de la provincia de Mendoza, alentando el reúso de efluentes como una herramienta para afrontar la acuciante crisis hídrica que atraviesa Mendoza.

Además se regula la figura de la Autorización para reúso, que deberá obtener quien apueste al reúso de sus efluentes como complemento del tratamiento de los mismos; se crea la figura del Agente Contaminante, para categorizar a quienes se encuentren en una situación de infracción formal a la norma, por no tener regularizada su situación (no contar con permiso de vertido, convenio o autorización para reúso), con independencia de su capacidad contaminante en el ambiente y de la superación o no de los parámetros de vuelco.

No obstante estos avances, aún quedan aspectos pendientes por modificar, tales como la definición de metas en función de la calidad de los cuerpos receptores.

3. Otras estrategias de gestión

Otros aspectos desarrollados por el DGI en el marco de los ODS, son la generación de espacios de diálogo como el Observatorio del Agua de Mendoza. El mismo es un ámbito que facilita espacios de diálogo que facilita el relacionamiento entre

diferentes organismos e instituciones y la sociedad civil, en torno a diferentes procesos vinculados al recurso hídrico y sus usos, para una mejor gobernanza. Como ejemplo concreto de la articulación del DGI con la sociedad a través de diversos canales, entre ellos el Observatorio del Agua se puede mencionar como un problema que tuvo lugar a principios del año 2021, cuando vecinos y responsables del club de Pesca Cristóbal Colón situado en Área de Interés Ecológico Municipal Laguna El Viborón, dieron alerta por la presencia de gran cantidad de peces muertos en el cuerpo de agua. A raíz de esta situación se desarrollaron por parte del DGI diferentes relevamientos y estudios con relación a la situación del recurso hídrico, además se receptaron solicitudes e inquietudes por parte de vecinos del lugar y organizaciones de la sociedad civil que fueron evacuadas en el marco del Observatorio evitándose así la escalada de un conflicto social aun cuando la retracción de la laguna se produjo a causa de la sequía prolongada que vive la región.

Otra estrategia específica de gestión dentro del modelo ambiental, el DGI está trabajando el marco conceptual de las Soluciones Basadas en la Naturaleza. (SBN). Históricamente el DGI ha promovido el reúso agrícola de aguas de origen cloacal (Res. 400/06 HTA). Actualmente se está promoviendo proyectos para el tratamiento complementario de aguas residuales de origen industrial y cloacal mediante vegetación hidrófita favoreciendo la disposición segura en diferentes cuerpos receptores.

Otra estrategia de gestión que se lleva adelante en el organismo es la educación ambiental. A través del área de Cultura, Educación y Ambiente, implementa políticas de gestión ambiental dirigidas a lograr un cambio cultural. La Educación crea conciencia social, reduce la vulnerabilidad de la población y construye la resiliencia necesaria, mediante la prevención, del uso racional y la conservación.

Conclusiones

El Departamento General de Irrigación ha generado un cambio a la gestión tradicional centrada en oferta, demanda y control de calidad e incorpora instrumentos específicos en materia ambiental.

Los instrumentos aplicados permiten un abordaje integral desde contemplando diferentes niveles desde el territorial al control específico de actividades.

Como aspecto particular se destaca el cambio de normativa vinculada al control de vertidos al dominio público, la cual contempla la nueva jurisprudencia a nivel nacional y criterios dinámicos para establecer el control de un parámetro crítico como la conductividad eléctrica.

Referencias Bibliográficas

Andino M. y Torchia N (2020). La modificación del régimen de control de la calidad del agua en Mendoza (Argentina) a la luz del principio de no regresión. En Setuain B.(Dir) *Retos actuales del saneamiento y las aguas residuales*. Aranzadi- Madrid

CEPAL (2015) Guía metodológica Instrumentos económicos para la gestión ambiental. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/37676-guia-metodologica-instrumentos-economicos>

Ley Nacional del Ambiente 25675 (2002). argentina.gob.ar/normativa/

Massolo, L. (2015). Introducción a Las Herramientas de Gestión Ambiental (Ed). Universidad de la Plata.

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN FUTURA DEL AGUA

Sergio Marinelli, Marite Badui y Marcela Andino

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215

E-mail: slmarinelli@gmail.com, licbadui@gmail.com, marcelaandino71@gmail.com

Introducción

La escasez estructural de agua que caracteriza a Mendoza por su clima semidesértico se ha agudizado en los últimos 10 años a causa del fenómeno extremo de la sequía, principal efecto del cambio climático. A ello se adiciona las relevantes transformaciones económicas, culturales, sociales y ambientales que ha vivido la sociedad mendocina, así como los conflictos hídricos interjurisdiccionales que la afectan. La persistencia de la sequía por más de una década se ve reflejada en la retracción y desaparición de una parte sustancial de la masa glaciaria, en la reducción drástica de caudales de los ríos y de las reservas de aguas subterráneas, como así también en la disminución del área neta cultivada que depende de un riego integral, e incluso ha afectado la producción hidroeléctrica. Abordar esta crisis cuasi permanente requiere de una revisión y modernización profunda de los sistemas de manejo y conservación del agua, una adaptación del régimen jurídico y regulatorio hídrico a las nuevas condiciones, un fortalecimiento sustancial de la capacidad de las instituciones sectoriales, y del sistema de planeación y gestión del agua que garantice la sostenibilidad económica, financiera,

clave para adaptar la gestión del agua a los efectos del cambio climático disponer de instrumentos como un plan a mediano y largo plazo y un marco normativo sistematizado y ordenado, construidos en un ámbito de transparencia y participación.

Herramienta de Planificación

El Departamento General de Irrigación, responsable de la administración y gestión del agua de Mendoza viene implementando varias líneas de acción destinadas a la mejora integral de la gestión del agua frente a las graves consecuencias de la más larga sequía registrada en la provincia Mendoza, atendiendo a la complejidad de los desafíos técnicos, económicos, institucionales y socioambientales que requiere el adaptar los sistemas a las nuevas condiciones de sequía prolongada, lidera el proceso de planificación del sector hídrico con horizonte al 2030, 2040, 2050,- representando a la provincia.

La preparación del Plan requiere definiciones de visión y de política hídrica que se deben anclar en la realidad y potencial actual de desarrollo económico, social y ambiental de la provincia, siendo su alcances y objetivo la mejora de la gestión de los recursos hídricos a nivel provincial por lo cual las distintas etapas del Plan cubrirán todas las funciones, los sectores, instituciones y actores que intervienen en la gestión, además de los actores económicos que tiene al agua como insumo productivo.

Dicha planificación tendrá como ejes principales:

- Incrementar la seguridad hídrica, promoviendo proyectos que contribuyan al ahorro y menor consumo de agua mediante el uso eficiente y racional de los recursos, la reducción de la demanda y la protección de la calidad del agua.
- Incorporar el enfoque de integralidad del ciclo del agua, al considerar las aguas residuales depuradas como un recurso y no como un residuo, especialmente para su uso en agricultura en las cuencas con mayores desequilibrios hídricos.
- Impulsar la seguridad de las infraestructuras, las cuales conforman un importantísimo patrimonio hidráulico y

cultural de Mendoza para que sigan prestando servicio en las debidas condiciones de seguridad.

- Avanzar en la gestión del riesgo de sequía mejorando los sistemas de indicadores de sequía prolongada y escasez y desarrollando modelos de previsión de estos indicadores a corto y medio plazo.
- Innovar y aplicar nuevas tecnologías
- Disponer de financiación suficiente para recuperar acuíferos, minimizar los riesgos de sequías e inundación aluvional, saneamiento, depuración y reutilización.

Etapas de la Planificación

El proceso de planificación comprende diversas etapas:

- 1: ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Objetivo: Sistematización y análisis de la información referida a la situación actual para determinación de escenarios futuros, para cada una de las cuencas de la provincia de Mendoza.

- 2: PROYECCIONES DE LA OFERTA

Objetivo: Evaluar las previsiones sobre el Cambio Climático y su influencia en la región.

- 3: PROYECCIONES DE LA DEMANDA

Objetivos: Proyectar diversos escenarios prospectivos respecto de las demandas para los distintos usos del agua, en función del ordenamiento territorial y la matriz económica de la provincia de Mendoza.

- 4: BALANCES HÍDRICOS PROSPECTIVOS

Objetivos: Confecionar los balances hídricos prospectivos, de cada cuenca, en función de las distintas configuraciones futuras de la oferta, la demanda y la disponibilidad.

- 5: PROPUESTA DE MEDIDAS PARA DISTINTAS SITUACIONES FUTURAS

Objetivo: Definir las acciones estructurales y no estructurales necesarias para alcanzar los escenarios elegidos incluyendo las etapas de implementación, de acuerdo a los balances hídricos prospectivos por cuenca.

Herramienta de Codificación

El régimen jurídico del agua de Mendoza contiene una extensa cantidad de leyes y reglamentaciones originarias de la autoridad del agua que se encuentran dispersas, de difícil acceso, algunas de las cuales han sido parcialmente derogadas por normas posteriores, otras se encuentran en desuso o se contradicen, lo que ha producido una modificación del ordenamiento lógico y de la estructura de principios y reglas existentes en el referido régimen. Cabe mencionar que Mendoza es una de las pocas provincias argentinas que aún no cuenta con un código de aguas.

La centenaria Ley de Aguas de Mendoza fue dictada en 1884, y

fue pionera en la materia, permitió transformar la matriz provincial forjada en la colonia hacia una sociedad que ha crecido y se ha desarrollado en base al uso del agua en un oasis agroindustrial. Pero desde finales del siglo XIX al presente se han dictado más de 120 leyes que inciden en el alcance del régimen de aguas, y a eso se le suma numerosos reglamentos que han tratado de adaptar el viejo texto al mundo contemporáneo.

Es que la Mendoza de aquel entonces era muy distinta a la actual. Según el censo de 1895 solo tenía 116.000 habitantes, y el área irrigada rondaba las 30.000 hectáreas. Hoy en día la provincia, según datos del último Censo cuenta con 2.014.533 de habitantes y posee aproximadamente 325.000 hectáreas cultivadas. Lo que no ha cambiado, es que seguimos teniendo los mismos ríos con menos disponibilidad de agua para cubrir las actuales necesidades, económicas sociales y ambientales.

A ello debe adicionarse los innumerables cambios en la sociedad que impactan en la gestión del agua, con nuevas exigencias en protección ambiental, calidad de vida, cambios de uso del suelo y desarrollo urbano, entre otros. También con los años ha existido un salto notorio en las posibilidades tecnológicas para el uso eficiente del agua.

Ya en el siglo pasado especialistas locales de diversas materias relacionadas con el agua -como Abraham y Salomón (2003)- han observado que nuestra centenaria ley fue dictada para una sociedad colonial agrícola siguiendo el modelo de la vieja ley española, pero a diferencia de España –que cambió su norma en 1985- los mendocinos no hemos avanzado, ocasionando impacto negativo en la calidad y cantidad de agua disponible. En el mismo sentido se expresó el experto Jorge Chambouleyrón, Superintendente General de Irrigación hasta 1989, afirmando que la administración del agua quedó desactualizada.

En 1939 el destacado especialista Miguel Marienhoff expresaba que la legislación en la materia resulta inorgánica, contradictoria y de difícil manejo, aconsejando la pronta sanción de un Código de Aguas. La falta de un Código también fue señalada como un problema por Guillermo Cano en 1967, quien luego observó que si bien la Ley de Aguas fue excelente en su hora actualmente estaba obsoleta y debía ser reemplazada por un Código de Aguas. Hugo Matiello, un año antes que se sancionara la Ley de Aguas Subterránea de su autoría, manifestó que la tarea fundamental en realidad era dictar un Código de Aguas

Por otra parte debemos mencionar que la reforma Constitucional del año 1994, con la consecuente incorporación a nuestra legislación de diversos Tratados de Derechos Humanos, las leyes de Presupuestos Mínimos dictadas por el Congreso de la Nación con fundamento el artículo 41 de la Constitución Nacional, y el nuevo Código Civil y Comercial de la Nación sancionado en 2025, así como la interpretación que la Jurisprudencia ha efectuado con relación a tan significativos cambios normativos, tornan necesario proceder a actualizar y unificar la legislación hídrica provincial, procurando elaborar una obra basada en los principios generales ordenadores contenidos en la Sección Sexta de nuestra constitución provincial.

Como sostienen Pinto, Andino y Rogero (2019) “La sucesión de textos normativos complementarios que se han dictado desde la sanción de la Ley de Aguas, los que a veces se superponen o contradicen en un sistema copioso y desordenado, en ocasiones con claras disfuncionalidades regulatorias, ha tomado a la legislación en la materia dispersa y de difícil manejo. A pesar de que el Departamento General de Irrigación ha recopilado en múltiples ocasiones las diversas normas vigentes, puede resultar oportuno disponer la sanción de un Código de Aguas que sistematice en un texto moderno los célebres principios que hoy nos brinda la centenaria ley de 1884, y satisfaga a la vez las nuevas necesidades que la política del agua demande.”

La concreción del primer Código de Aguas de la provincia de Mendoza resulta un pilar fundamental de la planificación y

gestión que lleva el Departamento General de Irrigación y que junto con al Plan Maestro 2030, 2040 y 2050 consolidaran la institucionalidad del agua y la seguridad jurídica para la presente y las futuras generaciones.

Referencias

ABRAHAM E, y SALOMON M (2003), Mendoza y el uso del agua. CYTED XVII p. 17-34.

CANO, Guillermo (1967), Reseña Crítica de la legislación y Administración de aguas de Mendoza, Mendoza, p. 21.

MARIENHOFF, Miguel (1939), Régimen y Legislación de Aguas Públicas y Privadas, Buenos Aires: Abeledo, p. 144.

MATHUS ESCORIHUELA, Miguel (1995), La Administración Hídrica, Mendoza: UNCUIYO, p. 138.

MATTIELLO, Hugo (1973), “Requerimientos jurídico-administrativos de la política hídrica”. Simposio Política Hídrica y Futuro Regional, Mendoza: UNCUIYO, p. 64.

PINTO M., ANDINO M., y ROGERO G. (2019), Ley de Aguas de 1884. Comentada y Concordada, T° I, Mendoza: Irrigación Edita, p. 17

METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE INVERSIÓN PARA MITIGAR EL RIESGO HÍDRICO URBANO A NIVEL NACIONAL

Oswaldo Guillermo Mena¹, Roxana Cecilia Mazzola², Sandra Liliana Flores¹, María Belén Arvili², Ana Laura Rydzewski¹, Santiago Valdés¹

1- Instituto Nacional del Agua (INA) Subgerencia de Servicios Hidrológicos, Argentina

2- Ministerio de Obras Públicas- Dirección Nacional de Integridad y Transparencia, Argentina

omena@ina.gov.ar, mazzola.roxana@gmail.com, sflores@ina.gov.ar, marvili@obraspublicas.gov.ar, ana.rydzewski@mi.unc.edu.ar, svaldes@ina.gov.ar

Introducción

Argentina posee uno de los más altos porcentajes de población urbana a nivel mundial (92,11% en 2020, Banco Mundial, 2021). El crecimiento de superficies impermeables asociado a este fenómeno, es uno de los factores que más inciden en el aumento del riesgo de desastres por inundaciones urbanas, junto con la degradación ambiental de las cuencas de aporte a la ciudad y el cambio climático. Si bien se han realizado inversiones para mitigar los efectos de esta problemática, las mismas han sido insuficientes y como resultado gran parte de las localidades de nuestro país sufre de inundaciones en forma recurrente.

El Ministerio de Obras Públicas de la Nación desarrolla metodologías para calcular las *brechas de inversión en infraestructura* para distintos sectores y proyectar las erogaciones necesarias en el largo plazo para contribuir así al cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (MOP, 2022).

Marco Teórico

El enfoque adoptado es el de *brechas de inversión*, definido como la *distancia* entre el stock actual de infraestructura y el nivel necesario para alcanzar la capacidad *prestacional* de un bien/servicio que se definió como meta para un momento determinado, ya sea en calidad o en cantidad. (Perotti y Sánchez, 2011)

Limitaciones del análisis:

-El cálculo de brechas de infraestructura tiene como finalidad conocer el orden de magnitud de las necesidades de infraestructura, medida en términos monetarios. No constituye un cálculo exhaustivo ni abarca la totalidad de las necesidades del sector analizado (Brichetti, 2021)

- Ante la ausencia de registros sistemáticos de la infraestructura de drenaje urbano existente en cada una de las localidades del país, para la estimación aproximada se establecen parámetros que tienen fundamentalmente en cuenta la cantidad de eventos de inundación registrados en cada localidad y el costo por unidad de superficie estimado de obras de *macro drenaje urbano*.

Objetivo

Estimar la inversión necesaria en obras de *macro drenaje* urbano en el país para la reducción de los efectos de inundaciones en los principales centros urbanos de Argentina.

Materiales y Métodos

Las ciudades seleccionadas para el cálculo, son los grandes aglomerados urbanos¹ que presentan un alto índice de riesgo y una importante proporción de la población del país. Los 99 departamentos que contienen a los 33 aglomerados urbanos más poblados de Argentina concentran aproximadamente al 69% de la población de Argentina.

En cada una de las localidades seleccionadas se consideraron los eventos de inundación registrados entre 1970 y 2018 (**variables ambientales**). Para el registro de eventos de inundación se tomaron: 1- Cantidad de eventos de inundaciones desde 1970 hasta 2016² y 2- Cantidad de eventos de inundaciones en 2018³

Partiendo de esta información, se elaboró un **índice de Riesgo Hídrico Urbano** a nivel de departamento⁴ calculado con la fórmula [1], que ajusta estos eventos utilizando un ponderador por proximidad temporal, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1, y un coeficiente que considera la evolución demográfica, obtenido a partir de la Tasa de crecimiento poblacional 2010-2025⁵ (**variable demográfica**).

$$\text{Índice de Riesgo Hídrico} = \frac{\text{cantidad de eventos}_i}{\text{proximidad temporal}_i} * \text{ponderador por (1+ tasa de crec. poblacional del departamento)} \quad [1]$$

$i = \text{década del período analizado}$

Tabla 1.- Ponderador por proximidad temporal de eventos

Década	70/80	80/90	90/00	00/10	10/20
Coefficiente	0,5	0,75	1	1,25	1,5

El *umbral* que se define como *objetivo prestacional* está dado por los departamentos que han presentado valores de Índice de Riesgo Hídrico de **50** (lo que implica aproximadamente prácticamente un evento ajustado por año).

Como resultado, se identificaron 29 departamentos con índice mayor a 50, los cuales constituyen, bajo la estructura conceptual del enfoque de brechas, la *línea de base*.

Las *unidades de medida* son aquellas intervenciones en términos de infraestructura (obras y/o bienes de capital) que permiten alcanzar la prestación objetivo y corresponden a las obras de macro drenaje para evitar inundaciones urbanas, que consisten en: 1-obras de encauzamiento, canales de desagüe, entubamientos y alcantarillas, 2-defensas contra inundaciones y contra erosiones de márgenes, 3-reservorios de retención,

¹ La definición de los grandes aglomerados urbanos considerados en este trabajo tiene en cuenta la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC, 2010) y la metodología desarrollada por el Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento, CIPPEC (Lanfranchi, 2018), la cual considera el crecimiento de la superficie urbana de estos aglomerados entre los años 2006 y 2016.

²Fuente: Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR, 2017).

³Fuente: muestreo periodístico recopilado por el INA (2021).

⁴El nivel de desagregación espacial adoptado responde al hecho de no disponer de datos más detallados para el conjunto de las variables empleadas. Por otro lado este nivel de detalle resulta suficiente para el orden de magnitud de los resultados esperados.

⁵La tasa de crecimiento poblacional a nivel departamental se construye en base a la superficie urbana y población proyectada para 2025.

compuertas, disipadores de energía y estaciones de bombeo.

Los *costos* fueron estimados, en base a las unidades de medida, de manera agregada y en relación con la superficie a considerar, tomando para el cálculo un costo por km² que representa un valor promedio a nivel nacional. El horizonte considerado para la brecha de riesgo hídrico urbano es el año 2035.

Adicionalmente, se establece que para reducir significativamente el riesgo de inundaciones en zonas con alto riesgo (departamentos con índice mayor a 50), resulta razonable asumir que se debe intervenir con obras en el 45% de la superficie del departamento en cuestión.

En consecuencia, el **monto de la brecha** surge de multiplicar el costo de infraestructura en términos de Km² por la superficie a intervenir en cada uno de los 29 departamentos con índice mayor a 50.

Todos los datos fueron volcados en una base de datos geoespacial para su procesamiento mediante un SIG.

Resultados

Como se mencionó más arriba, el resultado de la aplicación de este enfoque se traduce un orden de magnitud de los niveles de recursos que se deberían destinar anualmente a infraestructura en los territorios seleccionados para cerrar la brecha.

Para el **total del país la brecha de Riesgo Hídrico Urbano** asciende a USD 7.693 millones distribuidos en los 29 departamentos con Índice de Riesgo Urbano mayor a 50, como se resume en la Tabla 2.

Tabla 2.- Brechas de Infraestructura: Riesgo hídrico
(En millones de US\$)

Brecha de Infraestructura	Objetivo	Capacidad Prestacional	Línea de base [2021]	Meta [2035]	Unidad de Medida [denominación]	Brecha [2023 - 2035]
Riesgo Hídrico	Reducir significativamente el riesgo por inundaciones urbanas por macrodrenaje en los departamentos con alta cantidad de excentos correspondientes a los 33 aglomerados (entre 1970 y 2018)	Que ningún departamento (de los 99 que contienen a los 33 aglomerados) tengan un índice mayor a 50	29 departamentos (de los 99 que contienen a los 33 aglomerados) con índice > 50	0 departamentos (de los 99 que contienen a los 33 aglomerados) con índice > 50	Obras de macrodrenaje	7693
Total de inversión riesgo hídrico						7693

Al realizar desagregaciones territoriales de los resultados obtenidos (por ejemplo, a nivel provincial), ya sea por las características de la información primaria o por la metodología de cálculo utilizada, se puede incurrir en lecturas que no reflejen adecuadamente la situación, en particular si se utilizan para realizar análisis comparativos. Uno de los casos en que ha resultado factible es el área del Conurbano Bonaerense, que involucra los partidos indicados en la Figura 1.



Figura 1.-Conurbano Bonaerense. Brechas

El recorte de los resultados de la brecha de Riesgo Hídrico Urbano para la zona del Conurbano Bonaerense representa

aproximadamente el 24% de la brecha Total País, ascendiendo a USD 1.810 millones.

Otro de los sectores en que se pudo determinar el recorte de los resultados de la brecha de Riesgo Hídrico Urbano es la zona del Norte Grande, que integran las siguientes 10 provincias: Catamarca, Corrientes, Chaco, Formosa, Jujuy, La Rioja, Misiones, Salta, Santiago del Estero y Tucumán (Figura 2).



Figura 2.-Norte Grande. Brechas

La brecha de Riesgo Hídrico correspondiente a Norte Grande representa aproximadamente el 13% de la brecha Total País, ascendiendo a USD 978 millones.

Esta primera estimación de la brecha de inversión en infraestructura en riesgo hídrico urbano, tanto a nivel país como por regiones, constituye un insumo central para la planificación y la orientación en la toma de decisiones públicas.

Referencias Bibliográficas

Banco Mundial datos (2021), “Población Urbana – Argentina” <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=AR>

Bertoni, J. C. y Maza, J. A. (2004). “Aspectos asociados a las inundaciones urbanas en Argentina”. Material extraído del libro: *Inundaciones Urbanas en Argentina*, Bertoni, J.C. (org.).

Brichetti, J. P. et al. (2021). “La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe: estimación de las necesidades de inversión hasta 2030 para progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”. *Monografía del BID*, 962.

INA (2021), Muestreo periodístico de eventos de inundación en 2018 recopilado por el INA.

INDEC (2010) “Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas”.

Lanfranchi, Gabriel; Cordara, Christian; Duarte et. al (2018) “¿Cómo crecen las ciudades Argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados” Buenos Aires: CIPPEC

MOP - Ministerio de Obras Públicas (2022). “Políticas públicas de transparencia. Avances en la Obra Pública 2020-2021. Dirección Nacional de Transparencia”. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/politicas_publicas_direccion_nacional_de_transparencia_avances_en_la_obra_publica_2020-2021_-_direccion_nacional_de_transparencia_del_mop_1.pdf

Perrotti, D. E. y Sánchez, R. J. (2011). “La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe”. CEPAL.

Rozenberg, J. y Fay, M. eds. (2019). “Beyond the Gap: How Countries Can Afford the Infrastructure They Need while Protecting the Planet. Sustainable Infrastructure Series”, *Washington, DC. World Bank*, doi: 10.1596/978-1-4648-1363-4. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.

SINAGIR (2017) “Registro de eventos de inundaciones desde 1970 hasta 2016”.

Zambrano, O. y Aguilera-Lizarazu, G. (2011). “Brechas de infraestructura crecimiento y desigualdad en los países andinos”. BID.

PROYECTO NAYE, UNA EXPERIENCIA ABORDANDO LAS NORMATIVAS DE AGUA Y EFLUENTES

Minhondo Ma. Laura¹, Rodríguez Bormioli Nicolás¹, Reale Marisol², Hanela Sergio¹

¹ Programa de Tecnología de Tratamiento, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina
² Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina

E-mail: lminhondo@ina.gov.ar, nbormioli@ina.gov.ar, mreale@ina.gov.ar, shanela@ina.gov.ar

Introducción

Los procesos históricos e institucionales del país, su carácter federal, la potestad de las provincias sobre sus recursos naturales y la presencia de cuencas hidrológicas interjurisdiccionales, entre otras cuestiones, han incidido en la conformación de un extenso y complejo entramado legislativo el cual puede resultar de difícil interpretación y cumplimiento por parte de los establecimientos sujetos al control. Esta situación dio lugar, en el año 2011, al nacimiento del proyecto de Normativa de Agua y Efluentes (NAYE) con el objetivo de relevar, analizar y sistematizar las numerosas normas para facilitar su interpretación, acceso y cumplimiento por parte de los usuarios.

Metodología

Las normas se sistematizaron mediante una base de datos de acceso público, que permite consultarlas mediante fichas-resumen que a su vez permiten la aplicación de filtros para facilitar el acceso y la interpretación del cuerpo normativo. La normativa ambiental relevada es toda aquella aplicable a los establecimientos industriales y comerciales en relación al control de la contaminación hídrica, con énfasis en lo relativo a la gestión, minimización, reuso, tratamiento y descarga de efluentes líquidos.

Se implementó un criterio de prioridades invertido donde se categorizaron las normas según su aplicación directa al uso del agua y descarga de efluentes desde la perspectiva del usuario.

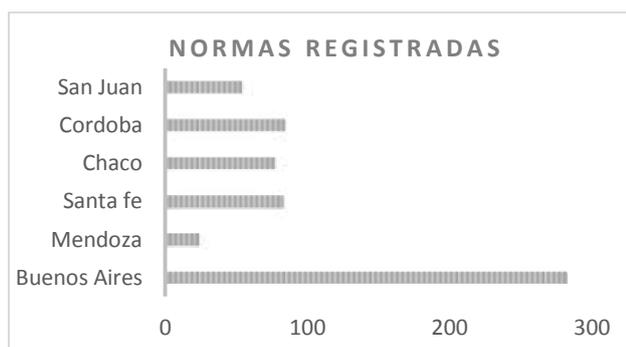


Figura 1.- Cantidad de normas registradas por Provincia

Normas analizadas en cada jurisdicción

Actualmente esta herramienta cuenta con 620 usuarios registrados y 764 normas emitidas por más de 52 organismos estatales de 8 jurisdicciones. Hasta el momento se relevaron las jurisdicciones Nacionales, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo, y de las provincias de Buenos Aires, Mendoza, Córdoba, Santa Fe, San Juan, y Chaco. Y está previsto en el Proyecto NAYE abarcar todo el territorio argentino.

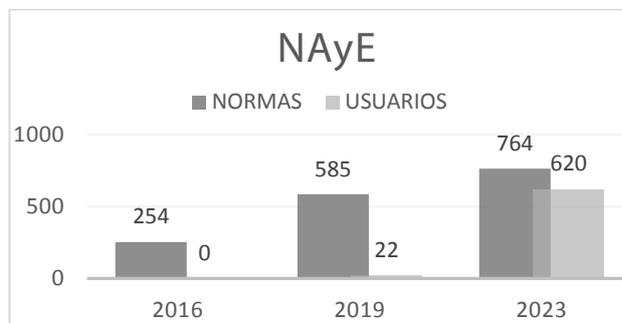


Figura 2.- Evolución, en años, de la cantidad de normas y usuarios registrados en la base de datos de Normativa de Agua y Efluentes.

Resultados y Discusiones

El Proyecto NAYE ha permitido identificar diversas posibilidades de mejora en el plexo normativo y, en ocasiones, se ha requerido su aplicación desde el INA para participar en procesos de modificación normativa, dar opinión en causas judiciales y responder a diversas consultas recibidas de usuarios.

Se destacaron diversas cuestiones en el análisis, en primer lugar, la dificultad para encontrar las normas vigentes debido a que no todas se encuentran en internet, mientras que las que sí, están diseminadas en diferentes sitios, principalmente en los correspondientes a cada uno de los organismos de control. Consecuentemente si un usuario requiere consultar la normativa relacionada a un tema específico, deberá rastrear las normas en diferentes páginas web. En segundo lugar, se encontró que la mayoría de las normas han sido modificadas más de una vez o vetadas parcialmente, mientras que en algunos casos se encontraron normas que ya no cumplen su función, aunque se encuentran en vigencia. Todas estas cuestiones mencionadas engrosan el cuerpo normativo vigente.

Un tema importante encontrado es que varias normas especifican la obligatoriedad de su revisión periódica, determinando en algunos casos los procedimientos y plazos con que esta debería efectuarse, pero en raras oportunidades han sido efectivizadas dichas revisiones. Un cuerpo normativo más conciso facilitaría el seguimiento y actualización por parte de los organismos de control que el Estado pudiera convocar a tal fin.

Se encontró también que hay superposición de normas, jurisdicciones de control y límites máximos permitidos (ver figura 3), como es el caso del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), donde conviven la Legislación Nacional, de la Provincia de Buenos Aires, la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR), y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).



Figura 3.- Superposición de Jurisdicciones de control normativo en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA)

Esta superposición eleva la cantidad de normas que recaen sobre cada establecimiento. Por lo cual, los mismos deben realizar presentaciones conteniendo la misma información, ante diferentes organismos de control. En cada caso, deben afrontar el pago de las tasas y gastos asociados.

Analizando la normativa relevada, se observó que hay diferencias en los esquemas organizacionales, terminología, límites de vertido, criterios de control y alcances de los diferentes cuerpos normativos.

En la mayoría de los casos, se adoptan límites máximos permisibles de concentración en la descarga, sin contemplar el caudal de las mismas (que determina la carga másica de contaminantes descargados) ni la especificidad de los cuerpos receptores. Se observaron diferencias en los valores regulados para algunos parámetros, como también parámetros que solamente son regulados en ciertas jurisdicciones, tales como plaguicidas o nutrientes para agua superficial, a pesar de la importancia ambiental que los mismos tienen. Por otro lado, hay diferencias en las nomenclaturas como en las técnicas analíticas establecidas para la cuantificación de determinados parámetros (como en detergentes que se regulan SRAM y SRAO, o cianuro algunos aclaran total y otros no, etc.).

Nace de acá, por ende, la importancia de unificar criterios de los parámetros y límites vigentes en las diferentes normativas aplicables a los vertidos industriales, cloacales y mixtos a los cuerpos receptores (aguas superficiales) conductos pluviales y colectoras cloacales. Como también paralelamente homogeneizar y sistematizar criterios para la toma de muestras, frecuencias de muestreo, documentación técnica relevante a presentar, sistema de pago de cánones o tasas de inspección, etc.

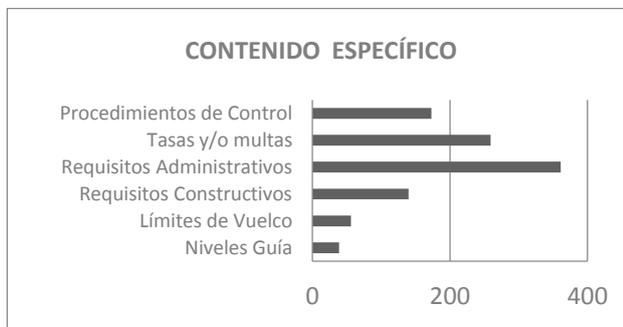


Figura 4.- Contenido específico de las normas relevadas en la base de datos.

Como se observa en la figura 4, podemos destacar que la mayor cantidad de normas poseen contenido específico en primer lugar respecto a requisitos administrativos, en segundo lugar sobre

tasas y/o multas, y en tercer lugar sobre procedimientos de control.

Todas estas cuestiones mencionadas generan que los actores, cuyos efluentes resultan objeto de control ambiental, deban cumplir normas poco claras y, en algunos casos, contradictorias ocasionando dificultades para el cumplimiento, así como también generando un mayor costo tanto para ellos, como para los organismos de control, ocasionando una ineficiente fiscalización y control por parte los organismos competentes.

Dicha dificultad metodológica para rastrear cada una de las normas, demuestra la necesidad de un registro completo y unificado como el que se pretende lograr a través de esta herramienta. La base de datos completa permite a los usuarios acceder de manera más rápida y entendible a las diferentes normas que deben cumplir y genera, de esa manera, las condiciones para un mayor cumplimiento de las mismas.

Conclusiones

Esta base es sin duda es una herramienta útil para generar conocimiento, y promover el debate crítico del cuerpo normativo vigente para así proponer mejoras que lleven a lograr un correcto cumplimiento de la normativa a fin de mejorar la preservación de los recursos hídricos.

Los resultados ponen de manifiesto la necesidad de revisar, ordenar y actualizar las regulaciones, promoviendo la articulación entre cuerpos normativos con injerencias superpuestas. Se destaca la necesidad de promover acciones que faciliten la interpretación del cuerpo normativo por parte de los sujetos competentes.

Actualmente se está trabajando la elaboración de síntesis específicas por jurisdicción, en un análisis comparado de límites de vertido, para lo cual se encuentra en desarrollo una herramienta informática específica y también se está participando en grupos de trabajo internacionales en la materia.

Se espera que la base de datos elaborada se constituya como una herramienta practica de suma utilidad para facilitar el acceso de los usuarios a los requerimientos normativos.

Referencias Bibliográficas

Hanela, S. D; Duek, A; Tagliavini, D; Gómez, C. E; Reale, M; Russian, Y; Comellas, E. A; Salinas, M. B, (2016). "Sistematización de la normativa argentina relacionada con el control de la contaminación hídrica, aplicable a establecimientos industriales y comerciales." IFRH 2016 3^{er} Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos.

Iglesias, A. N; Martínez, A. N, (2011). "Significado del recurso hídrico para el ordenamiento territorial en un país federal". Revista Geográfica de América Central. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica.

Metcalf, 3era Ed. (2018). *Ingeniería de Aguas Residuales*.

Rodríguez Bormioli, N; Reale, M; Hanela, S. D; Davico, M. A; El Kassisse, Y; Tagliavini, D; Duek, A; Comellas, E. A; Gómez, C. E, (2018). "Estudio comparativo de límites de vertido para efluentes industriales en cinco regiones de la República Argentina." IFRH 2018 4^{to} Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos.

EXPERIENCIA DEL PROGRAMA “PLANES MUNICIPALES DE CONTINGENCIA ANTE INUNDACIONES” EN LA CUENCA MATANZA-RIACHUELO

Carolina Montera¹, Christian Dibitetto², Fernando Barrera², Samanta Doudtchitzky¹, Daniela Fierro², Cecilia González Bravo¹, Nicolás Monza¹, Andrés Portas¹, Mariano Re³ y Lautaro Toth²

¹ Escuela de Política y Gobierno, Universidad Nacional de San Martín (UNSAM); Argentina

² Coordinación de Plan de Manejo Hídrico, Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR); Argentina

³ Subgerencia Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

E-mail: cmontera@unsam.edu.ar

Introducción

Entre 2022 y 2023, la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) llevaron adelante el programa “Planes Municipales de Contingencia ante Inundaciones” con los objetivos de fortalecer la gestión local ante posibles inundaciones, promover la organización de las poblaciones expuestas a dicho riesgo, y desarrollar instrumentos sostenibles en el tiempo y aplicables a distintos escenarios territoriales.

El Programa se desarrolló de manera demostrativa en Lomas de Zamora (cuenca baja), Esteban Echeverría (cuenca media) y Cañuelas (cuenca alta) (Figura 1). Estos municipios fueron seleccionados en base al riesgo hídrico asociado a inundaciones, como así también a la necesidad de obtener una experiencia piloto en distintos tramos de la cuenca.

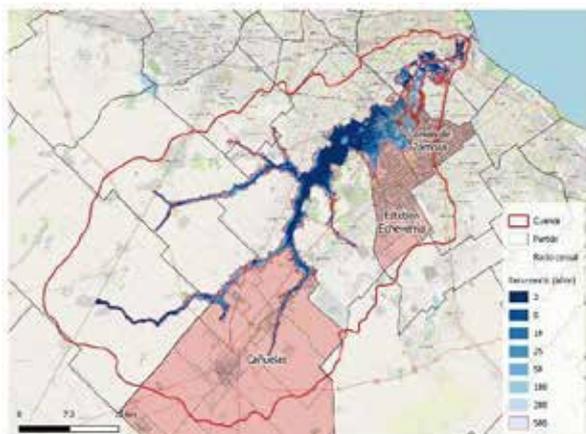


Figura 1.- Municipios involucrados y mancha de inundación simulada.

El objetivo del presente trabajo es describir el proceso de implementación y los resultados alcanzados, atendiendo a las particularidades de cada municipio. Dado el carácter novedoso de la iniciativa, este trabajo de descripción es una oportunidad para reflexionar, sistematizar y extraer lecciones que permitan desarrollar la experiencia en este u otros territorios desde una perspectiva de cuenca que sea sensible a las realidades locales.

Diseño del programa

El Programa se estructuró en tres componentes. El primero brindó asistencia técnica a los gobiernos locales para la elaboración o actualización del plan municipal de contingencia ante inundaciones. Los otros dos se orientaron a fortalecer las capacidades de preparación y respuesta de los barrios afectados mediante la realización de talleres participativos y capacitaciones con referentes locales. Puestos en relación, ambos proyectos buscaron generar espacios de diálogo, construcción de conocimiento y toma de decisiones entre los agentes gubernamentales y las comunidades afectadas.

Como punto de partida para el desarrollo del Programa, se

detectaron tres características generales en la gestión de las inundaciones en la Cuenca Matanza-Riachuelo: heterogeneidad territorial y alta complejidad del entramado institucional; informalidad y disparidad en el manejo de la emergencia; y dispersión de conocimientos, prácticas y recursos locales. Esta heterogeneidad impactó en la forma en que se desarrolló el Programa en cada municipio (Tabla 1).

En Cañuelas y Esteban Echeverría, el primer componente se implementó a escala municipal, mientras que los otros dos proyectos se ejecutaron a escala barrial (Máximo Paz Oeste en Cañuelas y El Gaucho y El Gauchito en Esteban Echeverría). En cambio, en Lomas de Zamora, los tres componentes se enfocaron en las delegaciones municipales que forman parte de la Cuenca Matanza-Riachuelo, como resultado del intercambio y las necesidades expresadas por las autoridades locales (Delegaciones Ingeniero Budge, Llavallol Sur, Santa Catalina Norte, Santa Catalina Sur, Santa Marta, Villa Albertina, Villa Lamadrid y Subdelegación Barrio Nueva Esperanza).

Tabla 1.- Síntesis de talleres realizados (T), cantidad de personas (P), áreas municipales (AM) o delegaciones (D) y organizaciones (O), por proyecto y municipio (LZ, CA y EE).

Proy	LZ	CA	EE
1	-	7 T - 26 P - 14 AM	3 T - 18 P - 9 AM
2	1 T - 26 P - 5 O	5 T - 94 P - 26 O	4 T - 52 P - 4 O
3	6 T - 47 P - 9 D	5 T - 44 P - 12 O	5 T - 26 P - 9 AM

Desarrollo de actividades

Las acciones se organizaron en tres etapas principales: análisis previo y preparación de herramientas, implementación de talleres y ajuste de productos y talleres de formación.

El Proyecto 1 (Planes municipales de contingencia ante inundaciones) se inició con un análisis de los planes existentes en cada municipio, al mismo tiempo que evaluó una propuesta metodológica para desarrollar los nuevos planes. En Cañuelas y Esteban Echeverría, se realizaron talleres sobre gestión del riesgo de inundación para sensibilizar, capacitar y validar con los agentes municipales las acciones y los responsables incluidos en la propuesta. También se relevaron las necesidades de equipamiento en caso de emergencia. Finalmente, en diálogo con actores involucrados, se trabajó en la versión final de los planes de contingencia para adaptarlos a las particularidades de cada distrito.

El Proyecto 2 (Acción comunitaria ante inundaciones) comenzó con la elaboración de una guía de abordaje comunitario, a partir del trabajo previamente realizado por ACUMAR y la revisión de experiencias nacionales y regionales. Esa guía sirvió como base para la planificación de los talleres que, a modo de prueba piloto, se llevaron a cabo en Cañuelas y Esteban Echeverría (Figura 2). En estos encuentros, se trabajaron los siguientes temas: causas e

historia de las inundaciones en el barrio, mapa comunitario del riesgo de inundación, sistema de alerta temprana comunitario y herramientas para organizar la respuesta. Por último, se elaboraron una serie de recomendaciones para la readecuación de la guía, que buscaron recuperar los aspectos que facilitaron y obstaculizaron el cumplimiento de los objetivos, así como también las externalidades que impactaron de manera positiva y negativa en cada localidad.

El Proyecto 3 (Equipos comunitarios de preparación y organización de la respuesta) inicialmente consolidó la propuesta de abordaje en los territorios seleccionados y preparó los materiales necesarios para la etapa de conformación de los equipos. La etapa final consistió en el dictado de tres cohortes del curso de capacitación universitaria para “Agentes comunitarios en preparación, respuesta y rehabilitación ante inundaciones” (aprobado por Resolución EPyG N°47/2022) y en el fortalecimiento de los equipos generados. En Cañuelas, este curso se dirigió a referentes comunitarios, mientras que en Esteban Echeverría y Lomas de Zamora se orientó hacia agentes de gobierno.



Figura 2.- Talleres de acción comunitaria (Proyecto 2).

Resultados

En relación con los resultados alcanzados, se destaca:

- (i) la confección de planes de contingencia ante inundaciones con participación de distintas áreas municipales. Estos documentos fueron puestos a consideración de los gobiernos locales para su institucionalización.
- (ii) la elaboración de cartografía social sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgo de inundación, así como también de vías seguras de evacuación (Figura 3).

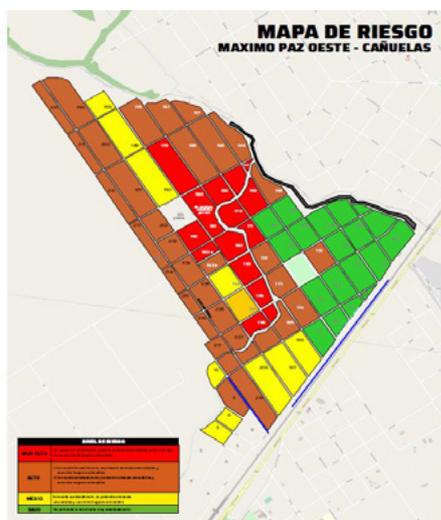


Figura 3.- Mapa del riesgo de inundación de Máximo Paz Oeste (Cañuelas), elaborado en talleres comunitarios.

- (iii) el establecimiento de bases para SAT comunitarios, que incluyen la difusión de fuentes oficiales, la provisión de pluviómetros y la facilitación de redes de comunicación entre el municipio y los barrios afectados.
- (iv) la redacción de una “Guía de abordaje comunitario ante inundaciones en la Cuenca Matanza Riachuelo”, que permita replicar y adaptar la experiencia por parte de otros equipos de trabajo.
- (v) la capacitación a más de 100 agentes en preparación y organización de la respuesta frente a inundaciones.



Figura 4.- Capacitación en RCP (Proyecto 3).

- (vi) la entrega de equipamiento para situaciones de emergencia: un desfibrilador externo automático (DEA) para el Centro Integrador Comunitario de Máximo Paz (Cañuelas), y botiquines de primeros auxilios para las delegaciones de Esteban Echeverría y Lomas de Zamora.

Reflexiones finales

La implementación del Programa deja algunas reflexiones para el análisis de la experiencia y su potencial replicabilidad en otros distritos.

El primer eje hace referencia al diseño y proceso de implementación. Llevar adelante un programa público desde un organismo interjurisdiccional enfrenta una tensión inevitable entre estandarizar procedimientos (a escala de cuenca, en este caso) y reconocer dinámicas y particularidades locales. Sin embargo, resulta valioso adoptar una postura flexible y abierta al diálogo con los actores involucrados para incorporar aspectos emergentes y generar propuestas mejor adaptadas a las necesidades de sus destinatarios.

El segundo eje deriva del bajo grado de institucionalización que la gestión del riesgo de inundación tiene actualmente en la agenda de los gobiernos locales. Como corolario, la implementación de este tipo de programas enfrenta los siguientes desafíos: (i) convertir a las inundaciones en un objeto de atención por fuera de situaciones de emergencia, (ii) adoptar una mirada integral y transversal, evitando sesgos o encuadres sectoriales (en general, hacia la emergencia), (iii) contemplar que la informalidad en los canales de comunicación y la tendencia a la personalización de los procesos de trabajo presentan riesgos para la sostenibilidad de los mismos, (iv) considerar que puede ser percibida como una iniciativa exclusivamente externa y tener niveles bajos de involucramiento, apropiación y continuidad de las acciones.

El tercer eje abre interrogantes sobre el rol de la participación comunitaria en la gestión del riesgo de inundación. ¿Qué lugar tiene la comunidad? ¿Qué roles pueden desempeñar en la gestión del riesgo de inundación? ¿Qué derechos se deben asegurar? ¿Por qué y para qué movilizar a las comunidades desde ámbitos gubernamentales? La experiencia mostró que se debe ser claro y prudente respecto al objetivo de las intervenciones, ya que llamar a la participación sin una contraparte estatal bien posicionada puede resultar contraproducente.

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE UN RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES PARA UN TRAMO DEL RÍO COLORADO, ARGENTINA

NINI, Martín¹; LEMA, Santiago¹; SCHMIDT, Federico¹; BERGAGNO, Leonel¹; PETRI, Daniel¹; SCHREIDER, Mario²; FERNANDEZ YUSTE, José³; MARTINEZ, Carolina³; CARRERO, Leticia³; MAGDALENO MAS, Fernando³

¹DPA (Río Negro, Argentina); ²FICH (Santa Fe, Argentina); ³UPM (Madrid, España)
mnini.dpa@gmail.com

Introducción

La consideración de los caudales ambientales en la planificación hidrológica de las cuencas, es una herramienta fundamental para la gestión integrada de sus recursos hídricos, asegurando una reserva de agua para la naturaleza que se apoye en criterios de sostenibilidad ambiental.

Estos criterios se han aplicado, en una instancia de análisis preliminar en un tramo del río Colorado, Argentina, utilizando metodologías hidrológicas del amplio abanico disponible, para generar una propuesta de Régimen de Caudales Ambientales (RCA), para el tramo de Punto Unido (o Puente Dique) – Descargador Catriel (Figura 1), identificado como un sector del río con alta presión sobre los diferentes usos de los caudales, principalmente para riego, pero también para la explotación del petróleo e hidroenergía (COIRCO, 2013).

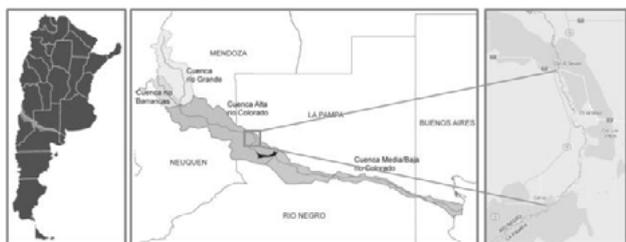


Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Información Hidrológica

Para la evaluación y conformación del régimen de caudales ambientales, se analizaron los registros de la serie histórica de datos de caudales de la estación hidrográfica de Buta Ranquil, y se realizó el tránsito de los mismos hasta Punto Unido, mediante el software HEC-HMS[®] (Figura 2), a fin de configurar una serie de caudales medios diarios ajustada al tramo de análisis. Cabe resaltar que dicho modelo se adoptó del estudio de COIRCO (2013). Dicho modelo calibrado, fue acotado para este trabajo al tramo Buta Ranquil-Pichi Mahuida.

A partir de las adaptaciones del modelo, se realizaron verificaciones para el período 1974-1989, previo al funcionamiento del embalse Casa de Piedra. A partir de la explotación del modelo se contó con una serie de caudales diarios para el período 1974-2020 en Punto Unido.

Para la definición de la longitud de serie a adoptar, se analizó la influencia que tiene la longitud de serie respecto a la clasificación en “Húmedo”, “Medio” o “Seco” (HMS) de los últimos 15 años de datos. El objetivo planteado fue encontrar la longitud máxima de serie, cuyos percentiles clasifiquen a los últimos 15 años mayormente en “medios”. Para esto, se adoptaron diferentes longitudes de registro y se determinaron los percentiles 25 y 75. Con dichos parámetros, se realizó la clasificación de HMS, y se analizó el efecto de dicha clasificación en los últimos 15 años de registro.

Luego de este análisis, se concluyó que 25 años (Serie 1995-2020) es la máxima longitud de registro “sin memoria” del pasado húmedo de la serie. A través de la misma, se consigue una

longitud próxima a 30 años de datos y percentiles que reflejan las tendencias de los últimos 15 años de registro. A partir de esta información, se realizó una caracterización de los caudales, obteniendo además la Curva de Duración de Caudales a paso anual y mensual.



Figura 2.- Esquema topológico del modelo hidrológico HEC-HMS (COIRCO, 2013)

Metodologías Hidrológicas para Estimar un RCA

Los métodos hidrológicos constituyen el abordaje más simplificado para la estimación de caudales ambientales, ya que están centrados únicamente en el análisis de información de series temporales de caudales naturales del curso de agua. Esto implica que la viabilidad de aplicación de un método hidrológico está fuertemente condicionada por el nivel de detalle de la información que requiera y su correlación con la disponibilidad que de ese tipo de datos se disponga en el curso que interesa estimar el caudal ambiental.

Estos métodos, si bien son de rápida y económica aplicación, no incorporan una relación explícita entre los componentes hidrológicos y biológicos. Por esto, debe tenerse en cuenta la imprecisión que puede significar su utilización ya que su extrapolación a otra región con diferentes características de donde se originó puede no tener validez ecológica.

Para el análisis se aplicaron diferentes metodologías:

- Métodos utilizados en el Fallo de la Corte Suprema de Justicia de la Nación (CSJN) (INA, 2018): Tennant (Montana), 7Q₁₀, Porcentaje de Excedencia, Basados en el Caudal Medio Anual, Matthey, Suizo y Asturiano.
- Métodos con variación intra-anual: Q₅₀, 70%Q₅₀, Porcentaje de Excedencia Q₉₀ y Q₉₅, % del Caudal Medio Mensual, Tennant Modificado, Normativa de Chile, NGPRP; y MTMMHC-III, Distribution Flow Method (DFM), Tessmann, Variable Monthly Flow (VMF), y Flow Duration Curve Shifting (FDCS)

De estas metodologías, el primer grupo entrega resultados sin variación intra-anual, estimando un valor único anual, y fueron utilizados en el fallo de la CSJN en el caso del conflicto por el río Atuel entre las provincias de Mendoza y La Pampa; y el segundo

grupo presenta resultados con variaciones intra-anual, de paso mensual, y algunos de ellos, con diferentes escenarios.

Resultados

La importancia del fallo de la CSJN en término de antecedentes en Argentina, motivó aplicar en este caso de estudio, idénticas metodologías que las utilizadas por el INA (2018), la cuales permitieron estimar un valor constante de RCA para todo el año (sin variación intra-anual). Además se aplicaron metodologías que que permiten definir un paso de tiempo a escala mensual (variación intra-anual). Todas, en general, presentaron bajo grado de complejidad para su aplicación. Los resultados de la aplicación se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.- RCA [m³/s] de las diferentes metodologías aplicadas.

Método	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Tennant (10%QMA)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
Tennant (30%QMA)	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
Tennant (60%QMA)	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8	73.8
25%QMA	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7
Q90% SC	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0
Q95% SC	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9
Mathey I	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Mathey II	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
Mathey III	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Suizo	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
Asturiano I	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
Asturiano II	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8	64.8
NMTM min	45.9	45.4	50.3	76.3	108.1	80.7	69.9	56.5	44.9	43.0	43.1	43.7
Kernell min	49.2	52.0	58.1	81.6	126.1	125.6	82.3	59.4	52.4	45.1	46.1	46.7
TESSMAN	49.2	49.2	49.2	56.0	94.6	104.2	72.0	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
VMF	34.7	35.5	42.0	42.0	70.9	78.1	54.0	34.3	36.1	30.8	31.4	34.0
FDC _{LEVELC}	48.7	49.6	59.9	80.6	101.9	110.1	93.4	72.6	51.1	45.6	46.0	47.6
FDC _{LEVELD}	45.3	45.7	50.9	70.2	87.7	92.3	80.4	62.7	46.2	39.3	40.2	44.2
Q ₅₀	71.7	68.7	81.6	124.5	208.5	212.2	133.6	92.0	65.5	57.9	62.4	69.2
70%Q ₅₀	50.2	48.1	57.1	87.1	145.9	148.6	93.5	64.4	45.9	40.6	43.7	48.4
Q90 SM	45.9	45.5	50.7	76.4	107.7	80.8	69.6	56.6	44.7	42.9	43.1	43.7
Q95 SM	44.2	44.5	47.6	67.2	87.4	71.7	61.5	50.8	40.4	36.5	41.0	40.6
30%QMM	23.1	23.6	28.0	42.0	70.9	78.1	54.0	34.2	24.1	20.6	20.9	22.7
Tennant _{ModAceptable} (1)	12.3	12.3	12.3	36.9	36.9	36.9	36.9	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
Tennant _{ModBueno} (1)	24.6	24.6	24.6	49.2	49.2	49.2	49.2	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6
Tennant _{ModExcelente} (1)	36.9	36.9	36.9	61.5	61.5	61.5	61.5	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
Norm.Chile(1)	22.1	22.2	23.8	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	20.2	18.2	20.5	20.3
NGPRP	56.4	56.9	81.6	124.5	208.5	212.2	133.6	92.0	53.5	48.2	49.1	50.2

■ RCA sin variación intra-anual □ RCA con variación intra-anual

La aplicación de las diferentes metodologías seleccionadas, entrega un amplio rango de valores, sobre los cuales puede resultar difícil precisar cuál es el más apropiado para el caso de estudio, considerando que no se disponen de elementos vinculados a las características bióticas del tramo de estudio.

Sobre esta base es que se aplicó la metodología que proponen Fernández Yuste y Martínez (2022). Dicha metodología evalúa el rendimiento de distintos escenarios de RCA, considerando: Caudales mínimos absolutos, Estacionalidad, Magnitud y Variabilidad intra-anual. Los resultados obtenidos se sintetizan en la Figura 3.

De acuerdo a los criterios definidos en la metodología, se eliminan aquellos escenarios extremos (es decir, los de menor puntuación global y los de mayor demanda ambiental), y se seleccionan aquellos que poseen los mejores valores en la puntuación global ambiental y una intermedia demanda ambiental.

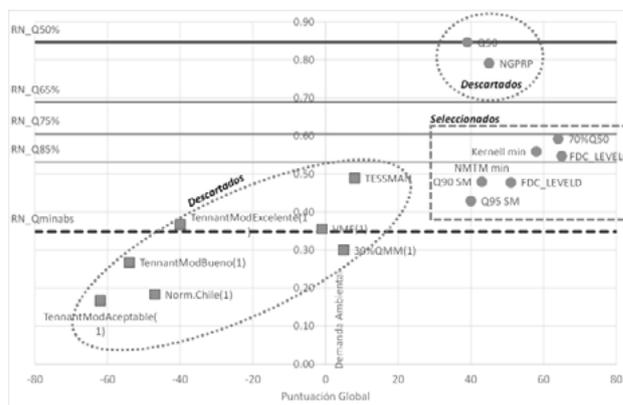


Figura 3.- Resultado de la valoración de los métodos

En virtud que se seleccionaron siete (7) metodologías, a fin de ajustar un RCA único, se adoptó el criterio de realizar el promedio mensual para obtener un valor final de referencia, considerando que la variabilidad de los métodos en sus determinaciones. Los valores propuestos para el RCA se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Propuesta de RCA [m³/s]

Método	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
RCA _{promedio}	47.1	47.3	53.5	77.1	109.3	101.4	78.7	60.4	46.5	41.8	43.3	45.0

Conclusiones

En este trabajo muestra un antecedente de aplicación de evaluación preliminar de RCA en la zona de Patagonia Norte, como una herramienta de conciliación entre las necesidades antrópicas y presiones sobre el agua, y los requerimientos ambientales.

A partir de las metodologías de cálculo de RCA investigadas y aplicadas, se proponen como valor para conformar el RAC, promedio de los resultados de las metodologías: Q90, 70%Q50 y Q95, NMTMmin, FDC_Lelvel C y D, Kernellmin. Con resultados similares entre sí, dichos RCA no implicaron mayores compromisos para ninguna de las partes, el uso antrópico del recurso y el mantenimiento del ambiente. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el monitoreo de variables ambientales contribuirá a confirmar lo expuesto anteriormente.

También, se debe tener en cuenta el contexto cambiante manifestado por tendencias de disminución de las precipitaciones y cambios en la temperatura, que podrían profundizar aún más estas tensiones. Para esto es imprescindible el monitoreo constante, y considerar evaluar escenarios de RCA con variación intra e inter-anual.

Referencias

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado COIRCO (2013). "Estudio Determinación de áreas de riesgo hídrico – Cuenca del Río Colorado", Financiamiento Dirección Nacional de Preinversión (DINAPREI). Estudio 1.EE.411; Préstamo 1896/OC-AR, BID. Informe Final Junio 2013.

Fernández Yuste, T; Martínez, C.; et al. (2022). "Caudales Ecológicos. Un patrimonio esencial para la biodiversidad de España y Portugal". Universidad Politécnica de Madrid. WWF España.

INA (2018). "Determinación de los caudales mínimos medios diarios del río Atuel". Anexo 3 – Informe Nación al CSJN. IF-2018-51907642-APN-SIPH#MI.

Magdaleno Mas, Fernando (2009). "Manual técnico de cálculo de caudales ambientales". Monografías. Medio ambiente. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, España. ISBN: 978-84-380-0411-1.

VÍNCULO ENTRE CIENCIA Y GESTIÓN PARA AFRONTAR CRISIS SOCIO-HIDROCLIMÁTICAS. CASO DE LA CRISIS HÍDRICA 2021 EN CHUBUT

Pessacg N¹, Liberoff A², Salvadores F³, Rimoldi P⁴, Brandizi L⁵, Alonso Roldan V⁶, Mac Donnell L⁷, Ambrosio M⁸, Raguileo D⁹, Malnero H¹⁰, Rius P^{10 11}, Díaz L¹²

1. Lab. EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, pessacg@cenpat-conicet.gob.ar
2. Lab. EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, liberoff@cenpat-conicet.gob.ar
3. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, salvadores.franco@inta.gob.ar
4. Universidad del Chubut, Argentina, rimoldipablo@gmail.com
5. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería, Argentina. laurabrandizi@ing.unp.edu.ar
6. Grupo de Investigación en Gestión Desarrollo Territorial y Ambiente (GesDTA) UTN FRCH, Argentina, valonsoroldan@frch.utm.edu.ar
7. Lab. EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, laramadonnell@gmail.com
8. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Argentina, mjamb@unpsjb.edu.ar
9. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, raguileo.daniela@inta.gob.ar
10. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Argentina, hmalnero@hotmail.com
11. Grupo de Investigación en Gestión Desarrollo Territorial y Ambiente (GesDTA), Facultad Regional Chubut Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, piavrius@fhcs.unp.edu.ar
12. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, diaz.lucas@inta.gob.ar

Introducción

La provincia de Chubut ha sufrido numerosas crisis hídricas a lo largo de su historia. La última crisis tuvo lugar en el periodo 2021-2022, lo que impulsó a que el 26 de agosto de 2021 se sancionara la Declaración de la Emergencia Hídrica (Ley XVII-Nº 148) para todo el territorio de la provincia. El desencadenante de esta crisis hídrica estuvo asociado a una situación de sequía de magnitud leve a moderada con una extensión temporal de 17 meses (Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías), que afectó principalmente las cabeceras de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer (Fig. 1). Estas cuencas son las principales cuencas hídricas superficiales de Chubut y abastecen de agua a más del 70% de la población provincial. El déficit de precipitación en las cabeceras de cuenca de los ríos sumada a una gestión del agua fragmentada y con instituciones débiles en la provincia (Mac Donnell et al. 2020; Olivier et al. 2018), llevaron a cortes regulares de agua potable en las principales ciudades y conflictos por el recurso.

En este contexto, el Instituto Provincial del Agua desarrolló reuniones de Emergencia Hídrica amplias donde participaron los organismos de aplicación respecto al recurso hídrico en la provincia, principales usuarios/as de las cuencas y el sector científico-técnico a través del Grupo Técnico del Comité de Cuenca del Río Chubut (GT). En estas reuniones se manifestó la necesidad de contar con información precisa y de calidad sobre la situación socioambiental a la que se estaba enfrentando la provincia y herramientas técnicas adaptadas a la problemática y al contexto local para lograr una mejor toma de decisiones. Abordar estas demandas desde las instituciones de ciencia y técnica es complejo, debido a que se requieren enfoques holísticos, interdisciplinarios e interinstitucionales, respuestas consensuadas y coordinadas en el corto plazo, y la implementación de mecanismos de comunicación efectiva.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es documentar cómo las instituciones de ciencia y técnica de la región, a través del GT, respondieron a esta demanda concreta en un contexto de crisis socioambiental compleja. Además, se busca discutir el vínculo entre ciencia y gestión y el rol de las instituciones de ciencia y técnica durante este tipo de situaciones.

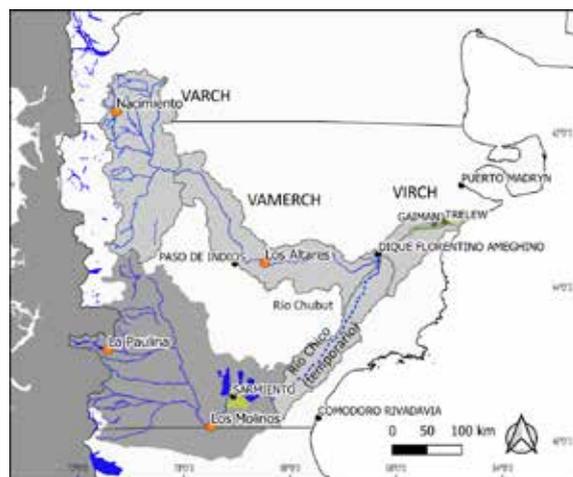


Figura 1.-Ubicación geográfica de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer (sombreados grises), cursos superficiales y lagos. Valle irrigado del VIRCh y Sarmiento (sombreados en verde).

Resultados

Desde el año 2014, investigadoras/es de ciencia y técnica de la provincia de Chubut han conformado el GT. Esta organización favoreció el diálogo interinstitucional y la interdisciplina y facilitó, en el contexto de crisis hídrica particular de 2021-2022, el vínculo entre ciencia y gestión. Esto permitió que se pudiera dar respuesta en el corto plazo a una demanda concreta de información realizada por organismos de aplicación y usuarios/as del agua. En este marco el GT realizó diferentes actividades de manera coordinada que permitieron atender a la demanda y que pueden dividirse en tres grandes ejes: Participación, Información, Comunicación.

Participación

Las y los miembros del GT participaron activamente de reuniones de Emergencia Hídrica y con usuarios/as del agua, lo que permitió por un lado intercambiar información y por otro lado favorecer una mirada amplia de la problemática, traspasando lo coyuntural y aportando elementos para favorecer no solo medidas reactivas sino también anticipatorias y transformativas, por ejemplo contextualizando esta crisis en el marco de cambio climático, sintetizando resultados de acciones frente a crisis hídricas pasadas, analizando el rol de la gobernanza del agua en reducir la vulnerabilidad frente a este tipo de situaciones, etc.

Información

El GT elaboró un informe técnico (Pessacg et al. 2021) donde se realizó un diagnóstico de la situación socioambiental histórica y actual de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer (Fig.1) con el objetivo de responder a una demanda concreta de información y aportar una herramienta que apoye la toma de decisiones en el contexto de la crisis hídrica y que permita anticiparse mejor a futuras situaciones de escasez de agua. El informe se realizó desde cuatro ejes principales: Contexto climático; Contexto hidrológico; Calidad de agua; Contexto socio-político. Los principales resultados indican que en ambas cabeceras de cuencas (regiones donde se produce el agua que alimenta los principales cursos superficiales) se han registrado precipitaciones y caudales por debajo de los valores medios históricos en años previos a la crisis hídrica. En la cabecera de cuenca del Río Chubut las precipitaciones registradas estuvieron por debajo de lo normal en el periodo 2014-2021 mientras que en la cabecera del Río Senguer entre 2017-2021. Respecto a los caudales, se registraron caudales anuales inferiores al promedio en el Río Chubut en el periodo 2010-2021 y en el Río Senguer en el periodo 2015-2021. En las nacientes del Río Chubut, al déficit hídrico, se suma además una significativa tendencia negativa en la precipitación y en el caudal que continuará en el futuro, mientras que en las nacientes del Río Senguer la marcada variabilidad interanual y la incertidumbre en las proyecciones futuras no permiten identificar tendencias ni señales de cambio climático claras. Durante el 2021 los bajos caudales de ingreso al Dique F. Ameghino (única obra de regulación del Río Chubut) y el nivel del Lago Musters (donde el Río Senguer descarga el total de sus aguas) estuvieron muy por debajo de los valores mensuales medios históricos, lo que generó numerosos inconvenientes en la disponibilidad y abastecimiento de agua a los diferentes usuarios/as de las cuencas.

Por otro lado, en contextos de escasez hídrica se ven intensificados los problemas de calidad de agua en cuencas hídricas superficiales. Sin embargo, en el informe se discutió que en la Provincia del Chubut no existen bases de datos de calidad de agua abiertas y compartidas que permitan hacer análisis cuantitativos respecto a este tema. Finalmente, en el contexto socio-político se discutieron los factores sociales, económicos y políticos que afectan estas cuencas y que son relevantes para anticiparse a futuras situaciones de escasez hídrica. Es relevante considerar por ejemplo que la población de Chubut ha registrado el doble de crecimiento relativo que el país en concordancia con el aumento de la producción en diversos sectores. Esta dinámica poblacional creciente y las evoluciones de las actividades productivas indican una mayor presión sobre el agua actual y futura.

En relación a la gobernanza, la gestión hídrica presenta una estructura multinivel que hace necesaria la coordinación y colaboración de instituciones y jurisdicciones para un abordaje integral de los problemas del agua. Sin embargo, los espacios institucionales de coordinación y planificación ante situaciones de crisis no han tenido un funcionamiento periódico, prevaleciendo estrategias de intervención en territorio aisladas o fragmentarias, que no contribuyen a una gestión adaptativa de los recursos hídricos.

Comunicación

El GT trabajó fuertemente para comunicar adecuadamente los resultados y saberes. Tanto el contenido como el diseño del informe técnico elaborado por el GT fue realizado en conjunto con especialistas en comunicación con el fin de que sea un producto simple de leer para un público amplio. El informe técnico fue presentado a la Legislatura provincial, organismos de aplicación y a la población en general, se dispuso de manera

abierta en las webs institucionales y se difundió por redes sociales.

Además, se elaboraron mensajes claves relevantes en el contexto actual pero también necesarios para anticiparse a situaciones futuras de escasez hídrica. Se buscó, por otro lado, comunicar líneas posibles de acción, mediciones y estudios faltantes y la necesidad de que se consoliden espacios de participación y colaboración amplios y diversos que promuevan la coordinación intersectorial y pluriactoral.

Se brindaron numerosas notas en medios radiales y audiovisuales y charlas abiertas con mensajes consensuados y claros. Los equipos de comunicación de las instituciones de pertenencia de las personas del GT fueron relevantes en esta instancia.

Discusión y Conclusiones

Esta experiencia permite reflexionar sobre las maneras de repensar las contribuciones de la ciencia en contextos de crisis y el vínculo entre ciencia y gestión. En el caso particular de la Crisis Hídrica en Chubut fue fundamental que las personas que trabajan en temas de agua en las diferentes instituciones de ciencia y técnica de la región y desde diferentes disciplinas contaran con una organización previa a través del GT, un mecanismo de participación en la gestión del agua disruptivo para la provincia. Esto facilitó la rapidez en la respuesta, el intercambio de información y datos, la síntesis de resultados y la participación en espacios de decisión. Por otro lado, es relevante señalar la importancia de fomentar una buena comunicación, con información clara, abierta, asequible, como práctica esencial para acercar la ciencia, la política y la sociedad. Desde la ciencia además, se puede contribuir con una mirada más amplia, más allá de la contingencia particular y brindando conocimientos y herramientas para que las lecciones aprendidas ante una situación de crisis puedan traspasar el momento puntual y transformarse en aprendizajes y acciones que aumenten la resiliencia frente a nuevos escenarios de escasez hídrica.

Referencias

- Mac Donnell, L., Olivier, T., Salvadores, F., Pascual, M.A.** (2020) Resumen de Informe: Análisis de la Gobernanza y Aprendizajes de la Crisis en la Cuenca del Valle Inferior del Río Chubut-VIRCH. Instituto SARAS. http://saras-institute.org/wpcontent/uploads/2020/11/Resumen_Chubut_web.pdf
- Olivier, T., Aigo, J., Pascual, M.** (2018) Gobernanza hídrica en el Valle Inferior del Río Chubut. Encuesta 2017-2018. Reporte Ejecutivo. <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/123456789/1270>
- Pessacg, N., Liberoff, A., Salvadores, F., Rimoldi, P., Brandizi, L., Alonso Roldán, V., Mac Donnell, L., Ambrosio, M., Raguileo, D., Malnero, H., Rius, P., Díaz, L.** (2021) Emergencia Hídrica 2021-2022: Situación socio-ambiental de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer. Informe técnico. Grupo técnico del Comité de Cuenca del Río Chubut. <https://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/handle/123456789/1485>.

GRUPO TÉCNICO DEL COMITÉ DE CUENCA DEL RÍO CHUBUT:

EXPERIENCIA Y APRENDIZAJES

Pessacg N¹, Liberoff A², Rimoldi P³, Salvadores F⁴, Díaz L⁵, Brandizi L⁶, Alonso Roldán V^{7,8}, Rius P,⁹ Kaless G¹⁰, Flaherty S¹¹, Hernández M¹², Pascual M¹³

1. Lab EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, pessacg@cenpat-conicet.gob.ar
2. Lab EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, liberoff@cenpat-conicet.gob.ar
3. Universidad del Chubut, Argentina, rimoldipablo@gmail.com
4. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, salvadores.franco@inta.gob.ar
5. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, diaz.lucas@inta.gob.ar
6. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería, Argentina, laurabrandizi@ing.unp.edu.ar
7. Grupo de Investigación en Gestión Desarrollo Territorial y Ambiente (GesDTA) UTN FRCH, Argentina, valonsoroldan@frch.utm.edu.ar
8. GEMTE IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, roldan@cenpat-conicet.gob.ar
9. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina, piavrius@fhcs.unp.edu.ar
10. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería, Argentina, gkaless@ing.unp.edu.ar
11. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina, silvia.flaherty@fhcs.unp.edu.ar
12. INTA CRPS - EEA Chubut, Argentina, hernandez.mercos@inta.gob.ar
13. Lab EcoFluvial IPEEC CCT CONICET CENPAT, Argentina, pascual@cenpat-conicet.gob.ar

Introducción

La Cuenca del Río Chubut se extiende por más de 57.744 km², con un cauce principal que nace en la región cordillerana de Río Negro y Chubut y luego atraviesa la provincia de Chubut de oeste a este recorriendo 1080 km hasta su desembocadura en el Océano Atlántico. Este río, provee agua al 50% de la población de la provincia homónima y sustenta numerosas actividades como ganadería, agricultura, minería de caolín, industrias textiles y pesqueras, generación de energía hidroeléctrica, turismo y actividades recreativas (HCA 2013). La cuenca presenta una marcada polaridad en cuanto a donde se produce y donde se utiliza el agua. Si bien más del 80 % del agua se produce en la cabecera de cuenca, el uso del agua mayoritario se realiza en la parte baja de la cuenca (Valle Inferior del Río Chubut, VIRCh). En el VIRCh se localiza la única obra de regulación, el Dique F. Ameghino, y además se desarrolla uno de los valles irrigados más relevantes de la región y un complejo de ciudades y pueblos (HCA 2013; Pascual et al. 2020). En esta cuenca los conflictos por los usos del agua ya están presentes, tanto por el volumen como por la oportunidad o momento de uso del recurso. Además, en el contexto de cambio climático y crecimiento poblacional se prevé que estas tensiones por el agua se intensifiquen debido a la mayor demanda de los sectores urbanos, industrial, agropecuario y de una menor oferta debido a la disminución de la disponibilidad de agua en el futuro en la cabecera de cuenca (Pessacg et al. 2021; Salvadores et al. 2022; Pascual et al. 2020). Dada la relevancia de este río para la región tanto en términos ambientales como socioeconómicos y la multiplicidad de usos, actores sociales y usuarios/as, la gobernanza hídrica es primordial. La gobernanza hídrica en Argentina considera por un lado la organización federal del estado e instituye un nivel nacional, uno provincial y uno municipal. En la provincia de Chubut la autoridad hídrica es el Instituto Provincial del Agua (IPA), y la autoridad de control ambiental es el Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Por otro lado, los municipios son responsables de la regulación y prestación de servicios públicos por cuenta propia o a través de las cooperativas concesionarias (Mac Donnell et al. 2020). En la Cuenca del Río Chubut la gobernanza del agua es simple, pero mantiene una estructura jerárquica multinivel y fragmentada que dificulta una gestión integrada y coordinada del agua que tenga en cuenta las necesidades y realidades locales (Salvadores et al. 2022; Mac Donnell et al. 2020; Olivier et al. 2018). Esta problemática es

similar en otras cuencas del país y, en el marco del proceso de reforma del Estado, motivó en la década del '90 la creación de los Comités de Cuenca en Argentina, como parte de una política nacional para mejorar la gestión del agua y enfrentar los desafíos relacionados con la calidad y cantidad de este recurso. Los Comités de Cuenca están integrados por representantes de las jurisdicciones autónomas y su objetivo es “*procurar acuerdos sobre el intercambio de información hidrometeorológica, sobre la priorización de problemas y oportunidades, así como sobre el diseño y la organización de la implementación de acciones relacionadas con los temas priorizados*”¹. El Comité de Cuenca del Río Chubut (CCRCH) fue creado en el año 2006 como una unidad de gestión de cuenca. Aunque el Estatuto para el CCRCh le brinda a esta organización facultades amplias (podrían compartir responsabilidad con la autoridad de aplicación), la falta de una estructura operativa y presupuesto propio sumado al rol consultivo no vinculante que ejercen las entidades participantes no ha facilitado hasta el momento que el CCRCH pueda concretar su funcionamiento y funciones (Rimoldi 2021). Sin embargo, se trata de un organismo potencialmente relevante en la gobernanza hídrica que favorece procesos de participación amplios. Rimoldi (2021) destaca por ejemplo que durante el periodo 2013-2015, los Comités de Cuenca en la provincia de Chubut ejercieron algún nivel de autocontrol entre los actores, fomentado principalmente por la discusión de la información de forma amplia y participativa. El mecanismo de participación para el sector científico-técnico en el CCRCH es de un único asiento para todas las instituciones, rotativo una vez por año. Con el fin de articular el trabajo científico y consensuar los aportes de sus representantes para la solución de los problemas de cuenca, tres de los organismos técnicos que conforman el CCRCH crearon en el año 2014 el Grupo Técnico del Comité de Cuenca del Río Chubut (GT). A pesar de que el CCRCH no ha logrado funcionar de forma regular desde su creación hasta la actualidad, el GT ha crecido y mantenido una actividad regular a lo largo de los años, independientemente del funcionamiento del CCRCH. En ese marco, el objetivo de este trabajo es documentar y comunicar la experiencia y aprendizajes resultantes de la participación de los organismos de ciencia y técnica de la región, a través del GT, en ámbitos de toma de decisión sobre la Cuenca del Río Chubut.

¹ <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/comites-de-cuencas>

Resultados

El GT está conformado en la actualidad por 5 instituciones de ciencia y técnica de la región: CCT CONICET CENPAT, INTA EEA Chubut, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Chubut y Universidad del Chubut. La ampliación y fortalecimiento del GT fue posible por varias razones. En primer lugar, las personas que constituyen el GT cuentan con el apoyo institucional de cada una de las organizaciones a las que pertenecen. En segundo lugar, las y los miembros del GT entienden que es vital trabajar interdisciplinaria e interinstitucionalmente, generando vínculos entre ciencia y sociedad, para lograr una mejor gestión de los recursos y en particular del agua. Finalmente, es relevante resaltar que el desarrollo de variadas actividades conjuntas ha favorecido el fortalecimiento del GT, los vínculos entre investigadoras e investigadores de diferentes instituciones y el trabajo interdisciplinar. Dentro de las actividades conjuntas más relevantes que ha realizado el GT desde su conformación se encuentran:

- Evaluación de Plan Director y términos de referencia para Plan Integral de Cuenca del Río Chubut
 - Diagnóstico e informe de la situación hídrica durante la Emergencia Hídrica 2021-2022
 - Numerosos proyectos de investigación conjuntos
 - Generación de un repositorio de documentación abierto (www.repositorio.cenpat-conicet.gov.ar)
 - Establecimiento de sistemas de monitoreo
 - Talleres participativos
 - Ciclo de charlas de difusión y actividades de comunicación
 - Reuniones mensuales
 - Espacio de articulación técnica para la generación del Fondo de Agua de Chubut
- Además, el GT ha participado activamente de reuniones de emergencia hídrica, reuniones ordinarias del Comité de Cuenca, pedidos de información y asesoramiento de organismos de gestión.

Durante los primeros años el GT funcionó sin una institucionalización definida. Sin embargo, en la actualidad se encuentra en un proceso de formalización e institucionalización del funcionamiento del mismo. En este proceso se trabajaron, consensuaron y definieron objetivos generales y específicos, misión, visión, valores y principios rectores. A partir de este proceso se consensuó y definió que el objetivo general del GT es: *Abordar las problemáticas asociadas al agua en la Cuenca del Río Chubut de manera interdisciplinaria y a través de la articulación entre instituciones científico-técnicas de la región.* A su vez, se definen como objetivos específicos:

- Sistematizar e integrar información disponible y resultados de investigación e intervención.
- Desarrollar proyectos de investigación y de intervención interinstitucionales e interdisciplinarios que permitan generar diagnósticos y visiones integradas de la Cuenca del Río Chubut.
- Promover la vinculación y comunicación entre ciencia, gobierno y sociedad.
- Explorar e identificar las realidades y visiones territoriales para orientar las soluciones y las investigaciones hacia las necesidades de la sociedad.
- Generar visiones consensuadas e integradas de la Cuenca del Río Chubut que aporten conocimientos técnicos y científicos para la formulación y/o implementación de políticas públicas vinculadas al agua.

A pesar de estos avances el proceso de institucionalización se dificulta por la complejidad de establecer una figura y una formalización de los acuerdos interinstitucionales acordes a las variadas estructuras y normas de los organismos participantes. Además, sin fondos para funcionamiento las tareas administrativas de la formación y funcionamiento del GT como entidad interinstitucional formal recaerían en las investigadoras e investigadores que actualmente representan a las distintas instituciones de CyT, dificultando este proceso. Es relevante resolver estas dificultades y fortalecer la identidad del GT como ente interinstitucional para facilitar la comunicación con autoridades y otros actores de la cuenca que actualmente se realiza con las instituciones que lo forman y depende de la articulación entre las mismas que permite una mejor circulación de la información.

Discusión y Conclusiones

La conformación del GT ha redundado en beneficios y resultados satisfactorios: se han fortalecido capacidades institucionales antes dispersas y se ha favorecido el trabajo interdisciplinar con una mirada socioambiental y territorial que permite un abordaje integral de problemáticas complejas como lo es el agua en ambientes áridos y semiáridos y en contexto de crecimiento poblacional y cambio climático. El vínculo con el CCRCH sigue siendo relevante pero no es excluyente, de manera de permitir ampliar las audiencias y colaborar con distintas instituciones. El GT se ha constituido en la actualidad en un organismo de referencia en temáticas de agua en la región, respondiendo a demandas y asesorías tanto de organismos de control como de usuarios y usuarias del agua.

Finalmente, es relevante mencionar que el nivel de articulación que se ha generado entre las instituciones participantes sirve como modelo de integración de capacidades técnicas orientado a la solución de problemas ambientales complejos en otras regiones y que se complementa con otras formas de gestión emergentes como los Fondos de Agua, por ejemplo.

Referencias

- Estatuto CCRCH (2006)** Estatuto para el Comité de Cuenca del Río Chubut. <https://www.repositorio.cenpat-conicet.gov.ar/bitstream/handle/123456789/563/estatuto%20ComiteCuencaRCHU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HCA Consultora S.R.L (2013)** Plan Director de Recursos Hídricos del Río Chubut. Informe Final. Consejo Federal de Inversiones. <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/plan-director-de-recursos-hidricos-del-rio-chubutprovincia-del-chubut>
- Pascual, M.A., Olivier, T., Brandizi, L., Rimoldi, P., Malnero, H.A., Kaless, G. (2020)** Análisis de Factibilidad de Fondo Agua Cuenca del Río Chubut, Argentina (p. 197). Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gov.ar>
- Mac Donnell, L., Olivier, T., Salvadores, F., Pascual, M.A. (2020)** Resumen de Informe: Análisis de la Gobernanza y Aprendizajes de la Crisis en la Cuenca del Valle Inferior del Río Chubut-VIRCH. Instituto SARAS. http://saras-institute.org/wpcontent/uploads/2020/11/Resumen_Chubut_web.pdf
- Olivier, T., Aigo, J., Pascual, M. (2018)** Gobernanza hídrica en el Valle Inferior del Río Chubut. Encuesta 2017-2018. Reporte Ejecutivo. Informe disponible en <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gov.ar/123456789/1270>
- Pessacg, N., Flaherty, S., Solman, S., Pascual, M. (2020)** Climate change in Patagonia: Critical decrease in water resources. Journal of Theoretical and Applied Climatology. 140,807-822
- Rimoldi, P. (2021)** Unidades de Gestión de Cuencas Hidrográficas en Chubut. Un intento de Planificación Participativa. I° Jornada de Investigación de la Red de Universidades Provinciales. Córdoba, 10-11 de junio de 2021. P.507-508. ISBN: 978-987-48125-5.
- Salvadores, F., Raguileo, D., Díaz, L., Cittadini, E., 2022:** Caracterización y análisis multidimensional en torno a la gobernanza del agua en el Valle Inferior del Río Chubut (Argentina). Párrafos Geográficos N° 21 vol. 2

LA MODIFICACIÓN METEOROLÓGICA COMO ARMA

Mauro Queirolo

Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino.
Provincia de Mendoza, República Argentina.
E-mail: queirolomauro@gmail.com

Introducción

En un contexto mundial de cambio climático, de incertidumbre y de agravamiento en la lucha por los recursos naturales a escala planetaria, el agua, que es fuente de vida, de riquezas y de poder, es un interés vital de las naciones (Queirolo, 2019). La Seguridad Nacional, cuyo fin último es la preservación de los intereses vitales de cada Nación, engloba a la seguridad hídrica, la cual se define como el “Acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socio-económico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación.” (Fuster et al., 2017).

Las sequías, inundaciones y/o contaminación pueden ser naturales o pueden ser antropogénicas, como son las provocadas por un agrupamiento humano usando el agua como arma contra otro agrupamiento enemigo en el ámbito de una lucha. La historia del agua en la guerra muestra que, en ciertas ocasiones, el recurso hídrico se ha presentado como causa de conflictos bélicos, y en otras oportunidades, también sirvió como un medio en la confrontación, el agua utilizada como un arma.

En éste marco se realizó la pregunta de cómo impactan las nuevas tecnologías en el empleo del agua como arma. Con el presupuesto que, como afirmó Sun Tzu, *así como el agua carece de una forma definida, en la guerra no existen condiciones permanentes*, el autor partió de la hipótesis que *el agua como arma tomó nuevas formas con los avances tecnológicos*. La hipótesis se corroboró con un caso de intervención meteorológica con intención hostil, que cambió la forma previa con el agua superficial utilizada como arma. Con el objetivo de aportar al conocimiento aplicable en la toma de decisiones para la Seguridad Hídrica Nacional y la construcción de la paz entre las naciones, se fijaron como objetivos específicos: 1) analizar los casos del agua como arma en la historia de la humanidad hasta el presente, clasificando los casos en escasez, inundación o contaminación; 2) aplicar el método geopolítico en lo referido al agua como arma para la República Argentina. El trabajo, del que se expone una muestra del avance, se está elaborando con un abordaje metodológico en el cual convergen la historiografía con la geopolítica, con el enfoque teórico del realismo político clásico.

El agua como arma

El agua como arma ha estado presente en todo tiempo y lugar en la historia de la humanidad. En la primera guerra de la que se tenga registro, hace 4.500 años en Sumeria, la ciudad-Estado de Umma desvió las aguas de los canales con los que se irrigaba Lagash. También en el territorio de la Mesopotamia, hace 2.500 años, con el mismo objetivo de producir escasez en un tiempo y lugar determinado, el rey persa Ciro desvió el curso del río Éufrates para conquistar Babilonia, liberando al pueblo de Israel y cumpliendo la profecía de “tus ríos haré secar” (Isaías 44:27).

Ambos casos históricos muestran una de las formas en que se genera escasez como medio bélico, que es el desvío del curso de agua superficial. La clave está en la relación de poder aguas arriba-aguas abajo, la cual era conocida hace más de 2.000 años por autores de distintas partes del mundo. Se la puede ver en El Arte de la Guerra de Sun Tzu en China, en el Arthashastra de Kautilya en la India y en la Historia de la Guerra del Peloponeso de Tucídides en la antigua Grecia.

Otra forma de provocar escasez es el ataque a la infraestructura hídrica para el consumo humano. Tal fue el caso de los españoles encabezados por Hernán Cortés, quienes, guiados por los nativos sublevados al Imperio Azteca, destruyeron el acueducto de Chapultepec en el asedio a Tenochtitlán. También se encuentra el caso de marzo de 2019 en Venezuela con el ataque a la infraestructura hidroeléctrica, que paralizó los sistemas de bombeo y potabilización del agua. Caracas, el principal centro urbano del país caribeño, pudo abastecerse en parte gracias a los manantiales. De éste caso surge el primer aporte a la Seguridad Hídrica Nacional: es necesario tener cartografía al alcance de la comunidad con las aguas surgentes aptas para consumo humano.

El contaminar las aguas como arma es común en la historia, siendo la más usual el arrojar cadáveres a las fuentes de agua. Entre los casos históricos de contaminación del agua se encuentra uno de los actos más atroces contra el pueblo argentino. Sucedió durante la Guerra del Paraguay. En el despacho privado al Emperador del Brasil Pedro II con fecha del 18/11/1867, el Marqués de Caxias escribió sobre el contubernio con el Presidente argentino al mando, Bartolomé Mitre, para lanzar “cadáveres coléricos” al río “Paraná, para llevar el contagio a las poblaciones ribereñas, principalmente las de Corrientes, Entre Ríos, y Santa Fe, que le son opuestas”. El hecho fue un factor que agravó –si no es que desencadenó– la epidemia de cólera del verano de 1867-68 que diezmo la población.

Respecto al uso hostil de las inundaciones, se la emplea en las guerras que suceden al momento del presente escrito, al igual que provocar escasez y contaminación. Entre los casos históricos resaltan las formas utilizadas en la Guerra de Vietnam. Una forma fue el bombardeo de los Estados Unidos a los diques del río Rojo para anegar poblados y cultivos en 1972; la otra fue inducir lluvias con el fin de impedir el abastecimiento vietnamita que se daba por la ruta Ho Chi Minh (FRUS, 1998). Como consecuencia de dicha intervención en las aguas atmosféricas, la Asamblea General de la ONU aprobó en 1976 la “Convención sobre la prohibición de utilizar técnicas de modificación ambiental con fines militares u otros fines hostiles”.

Uso hostil de la modificación meteorológica

La acción de provocar lluvias en el Sudeste Asiático cambió la forma de los 4.500 años de historia precedentes. Si bien existe la posibilidad de casos anteriores, éste es el primer y único caso indiscutido con el que cuenta la investigación, suficiente para corroborar la hipótesis que *el agua como arma tomó nuevas formas con los avances tecnológicos*. En éste caso histórico, el agua ya no es la superficial sobre la tierra tradicionalmente empleada, sino que es la atmosférica en el cielo.

La técnica que se utilizó se la denomina siembra de nubes. La primera prueba fue en Estados Unidos en 1946. Consiste en provocar la precipitación al introducir sustancias en determinadas nubes para provocar la condensación. La mayoría de las siembras utilizan yoduro de plata, pero también se utilizan hielo seco (es decir, dióxido de carbono sólido), propano y sal (STC UK, 2010). Dicha técnica tiene un uso dual, siendo utilizada principalmente con fines pacíficos. Más de 50 países modifican el tiempo meteorológico (Munoz, 2017), entre los cuales está la Argentina hace más de 50 años para prevenir el granizo.

La primera intervención del tiempo meteorológico reconocida para uso militar, operacional en éste caso, se da en la Segunda Guerra Mundial por la Royal Air Force (RAF) británica.

Despejaron la niebla de las pistas de despegue y aterrizaje con la quema de combustible. También la RAF, experimentando provocar precipitaciones con la siembra de nubes, el día 15/08/1952 en Lynmouth, Inglaterra, habría generado una inundación donde murieron 35 personas. El fenómeno meteorológico extraordinario, antes que se investigaran los documentos (no desaparecidos) y se entrevistara a las personas que intervinieron en el experimento sobre la propia población, hecho que hasta entonces negaba el Gobierno de Su Majestad del Reino Unido (BBC, 30/08/2001), fue oficialmente denominado como “la mano de Dios”.

El debate sobre la intervención en las aguas atmosféricas para uso militar resurgió tras la muestra al mundo del empleo pacífico, a una escala nunca antes vista, por el gobierno chino en las Olimpiadas en Beijing del 2008. Años antes, se publicó el escrito de dos coroneles chinos titulado *La Guerra Irrestringida*, donde mencionaron la modificación meteorológica como un “nuevo concepto de arma” (Qiao & Wang, 1999).

Luego de eso, varios países tomaron al tema como un asunto de interés. Emiratos Árabes Unidos intensificó un programa de investigación y experimentación que continúa hasta el presente junto a la Organización Meteorológica Mundial. En el año 2015 fue ganador un proyecto que propuso “usar la nanotecnología para fabricar materiales de siembra más efectivos” (Munoz, 2017). Durante 2010, en Reino Unido, la Universidad de Oxford inició un programa de Geoingeniería, los comités parlamentarios de ciencia y tecnología del Reino Unido y de los Estados Unidos publicaron el documento “La Regulación de la Geoingeniería” (STC UK, 2010), y el Ministerio de Defensa británico publicó “Tendencias estratégicas globales - hasta 2040”, donde mencionaron la “modificación meteorológica” en la categoría de “nuevas armas” (MoD UK, 2010).

No pasó mucho tiempo para que resurgieran tensiones en la política internacional por la modificación meteorológica. En el 2012 el Presidente de Irán denunció a Estados Unidos, y nuevamente en 2018 un General a Israel y a “otro país vecino”, que les “roban” y “deshidratan” las nubes; pocos días antes, el Primer Ministro israelí les dirigió un video a los persas, que comenzó con él bebiendo agua, donde mencionó que los problemas hídricos son por la inoperancia del gobierno. También el diario inglés *Daily Mail* (21/02/2016) publicó una nota sobre la acusación del gobierno de Chipre a la RAF de “robarles las lluvias”, y la respuesta del Ministerio de Defensa británico negándolo. Independientemente de quiénes tengan la verdad, alcanza con saber que existe la posibilidad real con la tecnología existente, que se pueden intervenir las aguas atmosféricas durante el ciclo hidrológico transfronterizo. En ambas acusaciones el resultado de la supuesta modificación meteorológica sería la escasez. Del mismo modo que en las ciudades sumerias hace 4.500 años se desvió el curso de agua por tierra con una intención hostil, se puede realizar lo mismo con, en un sentido metafórico, *los ríos del cielo*.

Tras exponer la investigación historiográfica de forma resumida, se presenta una muestra de resultados en la aplicación del método geopolítico. Se reconoció que del mismo modo que la relación de poder por la posición aguas arriba – aguas abajo en los cursos superficiales de una cuenca, en la intervención hostil de las aguas atmosféricas es determinante la posición relativa en el ciclo hidrológico comúnmente transfronterizo. A modo de ejemplo de la posición relativa en el recorrido de las aguas atmosféricas para su empleo como arma, están los dichos del parlamentario británico Geoffrey de Freitas durante el debate en la Cámara de los Comunes del 23 de febrero de 1954, quien expresó:

“No debemos olvidar nuestra posición geográfica. Vivimos al borde del Atlántico, y una gran cantidad de la lluvia que llega al noroeste de Europa proviene del Atlántico a través de las Islas Británicas. Es terrible contemplar, aunque no es más terrible que

la bomba atómica, privar a nuestros vecinos europeos de lluvia en la guerra con fines militares.” (Hansard, 1954)

La presente investigación en curso de ciencia política ha dado como principal resultado la siguiente previsión, a considerarse para la Seguridad Hídrica Nacional:

Durante las próximas décadas en las luchas políticas internacionales se utilizarán como arma las aguas superficiales y también las aguas atmosféricas. Las aguas atmosféricas también serán consideradas en la lucha por los recursos un objetivo a obtener por la astucia o por la fuerza.

Consideraciones finales

El curso de la investigación desembocó en preguntas dirigidas al sector científico-tecnológico argentino: ¿Se controla si se interviene en las aguas atmosféricas? Si no se hace, ¿existe la forma de vigilarlo con la tecnología existente? Y si efectivamente ya se hace, ¿se sabe lo que sucede con el agua que precipita en territorio nacional en la totalidad del ciclo hidrológico o existen puntos ciegos de control? De no controlarse, un fenómeno meteorológico extraordinario producto de una hipotética intervención meteorológica como ataque podría esconderse tras el cambio climático existente y pasar desapercibida, haciéndose invisible a la vista. También surgieron interrogantes para otros sectores estatales, ya que la preservación de los intereses vitales se hace con todos los medios.

El argentino más influyente de la historia, quien tiene una posición privilegiada para ver el desenvolvimiento de los acontecimientos de la política internacional, el Papa Francisco, se preguntó el 24/02/2017 “si en medio de ésta Tercera Guerra Mundial a pedacitos que estamos viviendo, no estamos en camino hacia la gran Guerra Mundial por el agua”. De ser así, éste es el momento para construir la paz, y se requiere agua para la paz.

Referencias bibliográficas

- BBC** – British Broadcasting Corporation (30/08/2001) *Rain-making link to killer floods*. BBC News web. Londres, Reino Unido.
- Daily Mail** (21/02/2016) *RAF stole our rain, says Cyprus as British military bizarrely accused of interfering with the weather so Tornado and Typhoon aircraft can fly*. Daily Mail web, Londres, Reino Unido.
- FRUS** (1998) Foreign Relations of the United States, 1964–1968, Volume XXVIII, Laos. Documento 274. Government Printing Office, Washington D.C., Estados Unidos.
- Fuster, R., Escobar, C., Astorga, K., Silva, K., & Aldunce, P.** (2017) *Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Hansard** (1954) *Rainfall (Research Experiments)*. Debate de la sesión del 23/02/1954. Volumen 524, Columna 361-368, Hansard Commons, Londres, Reino Unido.
- MoD UK** - Ministry of Defence, United Kingdom Government. (2010). *Global Strategic Trends – Out to 2040*. MoD, Londres, Reino Unido.
- Munoz, L.** (2017) *Seeding Change in Weather Modification Globally*. Word Meteorological Organization Bulletin Vol 66 (1)–2017, pp.12-15.
- Qiao, L & Wang X.** (1999) *Unrestricted Warfare*. Literature and Arts Publishing House, Beijing, China.
- Queirolo, M.** (2019) *El agua como interés vital: la geografía en la ciencia política*. Ed. Fundación Pedemonte, Mendoza, Argentina. ISBN: 978-987-47304-0-4
- STC UK** - Science and Technology Committee, House of Commons, United Kingdom Parliament (2010) *The Regulation of Geoengineering*. The Stationery Office Limited, Londres, Reino Unido.

8 de mayo del 2023.

TRANSFORMACIÓN DE “UN PRODUCTO CIENTÍFICO” A “UN PRODUCTO DE INTERÉS PARA LOS TOMADORES DE DECISIONES Y USUARIOS”

Silvia Rafaelli, María Rosana Mazzón y María José Müller

Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional del Litoral (INA- SCRL). Santa Fe. Argentina.

E-mail: srafaelli@ina.gob.ar, rmazzon@ina.gob.ar, mmuller@ina.gob.ar

Introducción

Para acelerar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se requiere compromisos a la acción para dinamizar, sostener y ampliar la implementación hacia las metas esperadas (Conferencia de Naciones Unidas sobre Agua, 2023 <https://sdgs.un.org/conferences/water2023/documentation>).

En este sentido, la propuesta incluye un proceso de transformación de “un producto científico” a “un producto de interés para los tomadores de decisiones y usuarios”, elaborado de manera conjunta entre los actores involucrados, para asegurar la apropiación e implementación de las estrategias que de allí surjan.

El presente trabajo se realiza desde el Instituto Nacional del Agua en el marco del Proyecto IO-2019- 284 con financiamiento de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (ASACTEI). Cuenta con el apoyo del Ministerio de la Producción, Ciencia y Tecnología de Santa Fe y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como la colaboración del INTA (Reconquista, Rafaela y Oliveros) y de la Oficina de Riesgo Agropecuario Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (ORA-MAGyP).

Desarrollo del producto científico

Como investigación de base se realiza un análisis de la información histórica relacionando disponibilidad hídrica y fenómeno ENOS (El Niño - La Niña) con rendimiento del cultivo de soja en la Provincia de Santa Fe, generando mayor conocimiento sobre el comportamiento del sistema natural y productivo.

Se utilizan dos indicadores de disponibilidad hídrica: “Precipitación menos Evapotranspiración potencial (P-ETP)” y “Agua Útil (AU)”, en 6 estaciones meteorológicas del SMN, distribuidas en toda la provincia (Ceres, Reconquista, El Trébol, Sauce Viejo, Rosario y Venado Tuerto). Se relaciona la disponibilidad hídrica con el rendimiento de la soja de primera para 19 campañas (2000/01 – 2018/19). Se identifican relaciones de disponibilidad hídrica (AU) y producción-rendimiento, asociados al fenómeno de macroescala ENOS.

Los datos de disponibilidad hídrica son resultados del Balance Hídrico Operativo (Fernández Long y otros, 2012) que se publican en forma diaria en la web del SMN y los rendimientos de cultivos del MAGyP. Para identificar eventos cálidos (El Niño) y eventos fríos (La Niña) en el océano Pacífico tropical, se analiza el Índice Oceánico de El Niño (ENOS) que utiliza la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Las relaciones de disponibilidad hídrica y rendimiento asociados al fenómeno ENOS identificadas son:

- Para campañas en períodos Niño se verifica disponibilidad de agua útil por encima del promedio y viceversas para campañas en períodos Niña.
- Para campañas en períodos Niño se verifican rendimientos por encima de la media y viceversas para campañas en períodos Niña, en particular en las zonas norte y este de la Provincia.

A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 1 la relación entre disponibilidad hídrica -en la Estación Meteorológica Ceres- y rendimiento de soja de primera -del Departamento. San Cristóbal-, asociados al fenómeno ENOS.

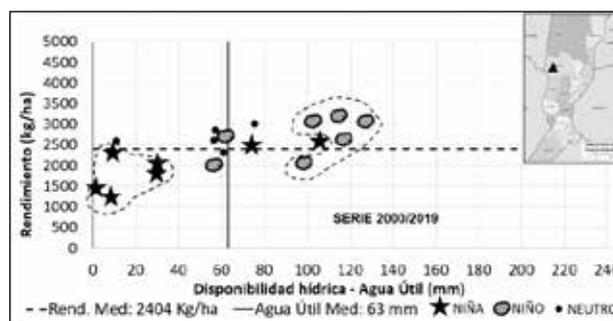


Figura 1.- Disponibilidad hídrica (Estación Ceres), vs. Rendimiento de soja de primera (Departamento San Cristóbal). Santa Fe.

Si bien estas relaciones se cumplen de manera significativa, se han identificado situaciones/años atípicos donde se infiere la influencia de otros factores. En particular se destaca que existen años atípicos donde no se cumple el patrón identificado y podría considerarse la necesidad de sumar al análisis otras forzantes meteorológicas -como podrían ser singularidades de los eventos de escala subestacional-, oportunidad de disponibilidad hídrica en los momentos críticos para el cultivo, tipo de suelo con mayor o menor capacidad de retención y/o nivel del nivel freático, entre otras. Se verifica de este modo que la caracterización del fenómeno ENOS y la conexión con sus impactos en agricultura incluye un alto grado de incertidumbre dado el número de variables propias de cada evento hidrometeorológico que a su vez, interactúan con otras variables dinámicas del desarrollo de los cultivos (fase fenológica) y tipo de suelo, entre otros.

Estos avances del trabajo se presentaron en el III Seminario de Gestión del Riesgo Agropecuario (Rafaelli et al, 2022) y el informe final del proyecto está disponible en el sitio web de INA <https://www.ina.gov.ar/archivos/eyp/crl/Informe%20FIN AL%20ASACTEI-Principal.pdf>.

Acción para la transformación

Como acción innovadora para acelerar la transformación de un producto científico a uno de interés para los tomadores de decisiones y lograr realizar este proceso de manera sostenible e inclusiva, se considera que la ciencia aliada con la comunicación al servicio de los usuarios, es un eslabón clave para concretar este desafío.

En este sentido, el proyecto define y desarrolla una encuesta, un video y dos cartillas para la difusión de los resultados obtenidos.

La encuesta en formato virtual está dirigida a productores y asesores para recopilar opinión e información de los usuarios, con vistas a generar un espacio de consulta sobre información de interés asociados a disponibilidad hídrica y pronósticos hidroclimáticos, para enriquecer aquellas identificadas por los investigadores durante el proceso de desarrollo del proyecto.

La consulta incluye sitios de referencia sobre pronósticos

meteorológicos y perspectiva climática, humedad de suelo, pronósticos agroclimáticos, pronósticos hidrológicos, alturas de ríos, entre otros; también se releva la preferencia de sitios de consulta por parte de los usuarios. La misma es acompañada de una cartilla de difusión de resultados sobre la relación de disponibilidad hídrica y rendimientos, asociados al fenómeno ENOS.

La encuesta es una herramienta muy positiva para enriquecer los resultados científicos, permitiendo que 97 productores -de toda la provincia- brindaran sus aportes y se involucraran en el producto deseable. Los resultados permiten observar:

- Perfil de quienes respondieron: La mayoría fueron productores agropecuarios de cultivos extensivos (88%). El 80% de quienes respondieron fueron varones. Sobre edad, la mayoría de respuestas corresponde a productores entre 36 y 65 años (80%)
- Espacios de consulta de preferencia de los productores:
 - * SMN para pronósticos meteorológicos, perspectiva climática y humedad de suelos;
 - * INTA y la Bolsa de Comercio de Rosario para pronósticos agroclimáticos;
 - * Prefectura Naval Argentina e INA para alturas de los ríos.
- Temas de interés de los productores: El 75% considera la perspectiva del fenómeno ENOS en su manejo productivo. En orden de prioridad, el clima ocupa el primer lugar (45%) de interés, luego la precipitación (20%), la humedad de suelo (10%) y finalmente temas como índice verde, financiamiento, manejo de cultivos, nutrición animal, plagas, entre otros.
- Medios de consulta: La encuesta indica que páginas web y correo electrónico son los más utilizados. Para el futuro la preferencia es correo electrónico y whatsapp; luego facebook y/o instagram y páginas web.

De esta manera, los resultados de la encuesta permiten diseñar los contenidos del sitio de apoyo a la toma de decisiones para los productores. Esta información forma parte de un espacio de visualización de los productos generados por distintos organismos nacionales sobre la situación actual y pronósticos de interés para el sector agropecuario.

Se elabora también un video para difusión de los resultados científicos, indicando además las referencias de sitios web con datos y pronósticos de interés para la producción agropecuaria. También se elabora una cartilla con el resumen de datos técnicos y una cartilla resumen con los mencionados sitios web de interés, ordenados por temas. Esta última, se distribuye también en formato impreso. En la Figura 2 se presenta una referencia de los productos mencionados.

Forma parte de las acciones de difusión del proyecto, la incorporación del tema como noticia en el sitio web del INA <https://www.argentina.gob.ar/noticias/datos-y-pronosticos-de-interes-para-la-produccion-agropecuaria>.

Conclusiones

El trabajo permite verificar relaciones entre disponibilidad hídrica y rendimiento asociados al fenómeno ENOS, identificando también situaciones/años atípicos donde se infiere la influencia de otros factores, quedando abierta futuras líneas de investigación para seguir sumando el análisis de otras variables y así poder brindar mayores certezas al tema de referencia.

Los avances científicos se transforman en un lenguaje amigable para los productores a través de un video de difusión. El producto final se enriquece con aportes de los usuarios, recopilados a través de una encuesta. Finalmente, el sitio web de consulta integra información asociados a disponibilidad hídrica y pronósticos hidroclimáticos generados por distintos organismos nacionales, disponibles para los tomadores de decisiones.

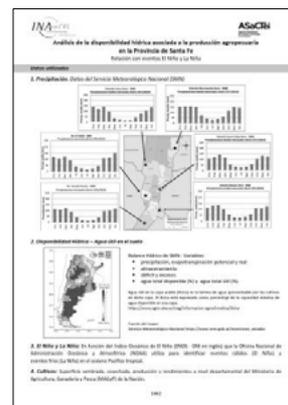
Esta transformación genera una instancia de crecimiento y aprendizaje de los sectores involucrados y promueve sinergia entre ellos. La ciencia se motiva y enriquece con los requerimientos de los usuarios y los productos finales son aplicados optimizando el desarrollo productivo y el bienestar social, en el marco del desarrollo económico ambientalmente sostenible.

Las acciones realizadas contribuyen a acercar la ciencia a la producción, colaborando con el cumplimiento del ODS 2 asociado a seguridad alimentaria y del ODS 12 relacionado a consumo y producción sostenible, entre otros.

Finalmente, sobre cuestiones de agua y género, se destaca que el equipo del proyecto son mujeres y quienes colaboraron por el SMN, Ministerio de la Producción, Ciencia y Tecnología de Santa Fe y la ORA-MAGyP de Argentina también son mujeres líderes en sus espacios laborales.



Video para difusión de resultados
<https://www.youtube.com/watch?v=atxPni7olew>



Cartilla técnica



Cartilla con referencia de datos y pronósticos

<https://www.ina.gov.ar/index.php?seccion=44&proyectos=94>

Figura 2.- Productos disponibles para los usuarios

Referencia Bibliográfica

Fernández-Long, M.E., L. Spescha, I. Barnatán y G. Murphy (2012) *Modelo de balance hidrológico operativo para el agro (BHOA)* Revista Facultad de Agronomía de la UBA, 32(1-2): 31-47, 2012. Argentina.

Rafaelli, S., M.R. Mazzón, M.J. Müller y L. Ferreira (2022). *Ciencia aplicada relacionando disponibilidad hídrica y fenómeno ENOS con producción agropecuaria.* III Seminario de Gestión del Riesgo Agropecuario (Buenos Aires, Argentina. 29 y 30 de septiembre 2022). Link del seminario: youtu.be/D_UWH3Nnq7s

ANÁLISIS ESTOCÁSTICO EN LA HIDROMETEOROLOGÍA DE CÓRDOBA PARA IDENTIFICAR INDICIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Santiago M. Reyna¹, Marta S. Juliá², Andrea Rico², Teresa M. Reyna¹, Fabián Fulginiti¹, Agustina Bonini¹, Agustina L. Morello¹ y Paula L. Bonillo¹

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, FCEfyN, UNC.

² Instituto Nacional del Agua, INA-CIRSA.

e-mail de contacto: santiago.reyna@unc.edu.ar

Introducción

El cambio climático es un tema obligado en las preocupaciones de todo ciudadano responsable y en la agenda de cualquier gobierno. La degradación del medio ambiente producto de las actividades antrópicas produce y empeora las consecuencias del cambio climático sobre el ambiente y las poblaciones. En los últimos años en Argentina se perciben cambios en las precipitaciones, en su cantidad, intensidad y en su frecuencia. Además, se aprecian cambios significativos en la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, tales como lluvias intensas y sequías de corta y mediana duración más recurrentes.

La provincia de Córdoba se encuentra en una región de estrés hídrico con una demanda con crecimiento sostenido del recurso, lo que genera frecuentes crisis. El cambio climático causará una potencial disminución de aportaciones hídricas y un aumento de la demanda de agua dulce de los sistemas de regadío.

En el presente trabajo se busca, a través del análisis estocástico de los datos hidrológicos, indicios que revelen las posibles relaciones entre el cambio climático y sus efectos sobre las variables hidrometeorológicas en Córdoba.

Datos utilizados

Se relevaron las estaciones hidrometeorológicas de la Provincia pertenecientes a la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Además, se tomó información de las plataformas digitales del Sistema Nacional de Información Hídrica del Ministerio de Obras Públicas y OMIXOM¹. Para la selección de estaciones se consideró: la cobertura y distribución de estaciones en la provincia, series sin años faltantes y registros históricos con más de 30 años ya que el clima de un lugar o una región está constituido por los datos estadísticos de la meteorología de dicho lugar analizados a lo largo de 30 años o más. Además, en los casos en que las estaciones cambiaron de operador o se modificó su ubicación por más de 8 km en distancia o 30 m de elevación, se realizaron test de homogeneidad y correlación de curva de doble masa (Linsey et. al (1997), pp. 65).

Metodología

Se realizó un análisis estadístico que constó de las siguientes etapas: (1) Recopilación y procesamiento de información meteorológica histórica; (2) Determinación del año hidrológico; (3) Obtención de registros prolongados de series de datos hidrológicos; (4) Verificación de las series mediante pruebas estadísticas; (5) Estadística Descriptiva: determinación de parámetros estadísticos; y (6) Estadística Inferencial: ajuste de modelos.

Inicialmente, se unificaron series de una misma locación, de la base de datos de APRHI en el período de 1930-1956 con la base de datos del SMN en el período 1956-2022 para poder prolongar

los registros que se deseaban analizar. Ejemplo: Cba. Observatorio (SMN) - Cba. Observatorio (APRHI) (Figura 1). Se trabajó entonces, con series de mayor longitud (aproximadamente 90 años) que proporcionaron una base más sólida para proyectar cómo puede evolucionar el clima en el futuro. En cada caso se compararon al menos 10 años de registro común entre ambas series, verificando que las diferencias fueran mínimas. Este período de superposición permitió establecer la relación entre las variables en el mismo contexto temporal y calcular el grado de correlación entre ellas. Las distancias entre estaciones unificadas fueron de unos pocos metros y se encuentran dentro de la misma isohieta o isoterma que fueron obtenidas en base a los datos del SMN (período 1956-2021) y APRHI (1940-1990). Para analizar la consistencia de las series obtenidas se realizó la curva de doble masa de la precipitación mensual acumulada, seleccionando aquellas series donde el coeficiente de correlación (R^2) fuera mayor a 0,8.

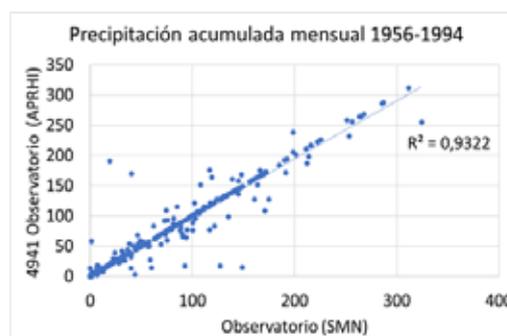


Figura 1.- Curva de doble masa Estación 4941 (APRHI) - Observatorio (SMN).

Para analizar las series de tiempo mediante estadística descriptiva e inferencial y asegurar la independencia de las variables se verificaron las series mediante las pruebas de datos atípicos de Chow, prueba de independencia de Wald-Wolfowitz, prueba de estacionariedad de Mann-Kendall y prueba de homogeneidad de Wilcoxon. Las series de totales anuales y mensuales pasaron exitosamente las pruebas estadísticas de homogeneidad.

En búsqueda de las tendencias debidas a cambios en la frecuencia de eventos extremos, o a una variación en su magnitud, se consideró el desvío en los totales anuales precipitados, los mensuales acumulados y las temperaturas medias. La prueba de tendencia de Mann-Kendall es una de las pruebas no paramétricas más utilizadas para detectar tendencias significativas en series de tiempo (Hamed, 2008). Fueron especial objeto de estudio aquellas series de tiempo que no verificaban la prueba de estacionariedad, puesto que en estas es posible buscar tendencias.

Finalmente, se planteó el análisis de las series hidrológicas mediante la utilización de modelos estocásticos. Salas et. al (1980) definen los modelos estocásticos como una herramienta importante en hidrología para describir el comportamiento de una serie de tiempo, por ejemplo, de precipitación, temperaturas,

Acceso en: <https://www.omixom.com/>

¹ OMIXOM es una empresa que se dedica al montaje de redes de estaciones meteorológicas con el objetivo de brindar información precisa a productores agropecuarios y a la ciudadanía en general.

caudales, etc., y generar pronósticos de sus próximas observaciones (pp. 97-100). Estos modelos asumen que las variables son aleatorias y están sujetas a incertidumbre. Los pronósticos pueden ser útiles para planificar el futuro y tomar decisiones que minimicen el riesgo.

Resultados

Teniendo en cuenta que el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero es prácticamente lineal al menos en las últimas décadas, los posibles efectos sobre variables climáticas debieran corresponder a tendencias lineales en el tiempo (Bazzano et al., 2017). En base a esta hipótesis se realizó el análisis de tendencias de la media móvil y prueba Mann-Kendall.

Partiendo de la base de que el Cambio Climático Antropogénico (CCA) se inicia en el período preindustrial, se buscó trabajar sobre las series de datos más extensas posibles en la región (dos empezando en 1912 y cinco desde 1930 a 2022). La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos en el análisis de tendencias en el período 1930 a 2022.

La mayoría de las tendencias calculadas para la precipitación total anual no fueron significativas estadísticamente y en algunas estaciones presentaron valores nulos. Por lo tanto, se analizaron las series de precipitación mensual acumulada de los sucesivos enero, febrero, etc. En este caso se observaron tendencias significativas para los meses de períodos húmedos y tendencias leves para los meses de los períodos secos. En función de esto se decidió promediar los totales mensuales del Período Húmedo (PH), tomado de octubre a marzo, y los totales mensuales del Período Seco (PS), tomado de abril a septiembre, observando un comportamiento similar en cuanto a crecimiento en el primero y decrecimiento en el segundo.

Tabla 1.- Resumen del análisis de tendencias de precipitación y temperatura. Fuente: Elab. propia-datos SMN y APRHI (1930-2022).

Ubicación	Análisis de tendencia		
	Precipitación total del PS	Precipitación total del PH	Temperatura media anual
Marcos Juárez	-	+	-
Laboulaye	-	+	-
Villa Dolores	-	+	-
Villa de M. del Río Seco	-	+	
Cba. Observatorio	-	+	+
Cba. Aeropuerto	-	+	-
Jesús María	-	-	
Pilar			+
Río Cuarto			+

Nota: (+) Presenta tendencia significativa. (-) No presenta tendencia significativa.

Para las series de precipitación, en la totalidad de los períodos secos las series presentaron una tendencia prácticamente nula mientras que en todos los períodos húmedos la tendencia es más significativa y creciente. En el caso de las temperaturas medias anuales, algunas series de la Provincia evidenciaron una tendencia significativa creciente (Tabla 1). En un análisis más detallado, mes a mes, se observó que en todas las localidades analizadas hubo una tendencia positiva para la temperatura mensual en diciembre.

Con respecto al análisis de la variabilidad de la precipitación entre períodos, se calcularon las isohietas para dos períodos de tiempo. En el primer período (1930-1990) la precipitación toma valores entre 450 y 950 mm anuales, mientras que en el segundo (1956-2022) las precipitaciones van desde 250 hasta 750 mm. Por otra parte, el análisis estadístico inferencial mostró, en primer

lugar, los modelos estocásticos resultaron más adecuados para determinar el comportamiento de la variable temperatura que la de precipitaciones, ya que los residuos que se determinaron entre los valores reales y los estimados son menores. Sin embargo, los modelos que mejor se ajustan difieren de región a región, mostrando la variabilidad del comportamiento de las temperaturas medias dentro de la provincia de Córdoba. En segundo lugar, en cuanto a las precipitaciones, los modelos ajustados presentan mayores residuos, lo que indica que el comportamiento de los PS y PH de la provincia no reflejan un patrón estocástico tan marcado como las temperaturas. En contraposición con las temperaturas, los modelos ARIMA obtenidos para casi la totalidad de las regiones de la provincia pueden resumirse en un solo tipo: ARIMA (0,1,1), pudiendo generalizar el comportamiento de ambos períodos y todas las regiones. Este es un tipo de modelo que no tiene términos autorregresivos (AR), pero sí un término de diferenciación y un término de media móvil (MA), lo que significa que el comportamiento de las precipitaciones en los PS y PH no depende de los valores pasados de la serie, pero sí de la componente ruido blanco de las observaciones anteriores. Por otra parte, se observa una leve mejora en el ajuste de modelos ARIMA para los períodos secos que húmedos.

Conclusiones y discusiones

Mediante la prueba de Mann-Kendall fue posible encontrar tendencias significativas en la precipitación (crecientes para los períodos húmedos) y evidenciar el aumento de las temperaturas medias anuales por lo que se la considera una herramienta útil en este tipo de estudios. Estos cambios de tendencia pueden tener consecuencias importantes para la disponibilidad de recursos hídricos en la región y deben ser considerados para la planificación y toma de decisiones relacionadas con el uso del agua y la gestión del medio ambiente.

Los modelos estocásticos del tipo ARIMA resultaron ajustables al comportamiento de las variables temperatura y precipitación. En general, los modelos estocásticos ofrecen una serie de ventajas sobre los métodos estadísticos tradicionales para generar pronósticos sobre variables como la precipitación y la temperatura. Los modelos estocásticos tienen en cuenta la aleatoriedad de los datos, pueden generar pronósticos para una amplia gama de escenarios climáticos, y pueden ser utilizados para generar pronósticos para períodos de tiempo más largos. Por lo tanto, estos ajustes permitirían generar pronósticos más realistas que las predicciones estadísticas que se utilizan usualmente en la provincia de Córdoba (por ejemplo, determinación de tiempos de recurrencia para obras hidráulicas, precipitación máxima probable para inundaciones, posibles períodos de sequía, olas de calor, etc).

Los modelos climáticos estocásticos son herramientas prometedoras para estudiar el sistema climático. A medida que mejore nuestra comprensión del sistema climático y avance la tecnología informática, cabe esperar el desarrollo de modelos climáticos estocásticos más sofisticados que desempeñarán un papel cada vez más importante en nuestra comprensión del cambio climático y en nuestros esfuerzos por adaptarnos a él.

Referencias

- Bazzano, F. M., Heredia, T., Elías, A. G., Lamelas, C. M., Forciniti, J. (2017). *Tendencias en la precipitación en Tucumán bajo efecto del cambio climático*.
- Hamed, K.H. (2008) *Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis*, Journal of Hydrology, 349, 350– 363, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.11.009.
- Linsey, R. K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H., (1977). *Precipitación en Hidrología para ingenieros*. (2da ed., pp.65). McGraw-Hill Books.

REVISIÓN DE POLÍTICAS DE GESTIÓN DE AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL DISTRITO ROSARIO (SF), ARGENTINA

Riccardi G.A.^{(1),(2)}, Stenta H.R.⁽¹⁾, Scuderi C.M.⁽¹⁾, Basile P.A.⁽¹⁾ y Zimmermann E.D.⁽¹⁾

(1) Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (DH-CURIHAM, FCEIA, UNR).

(2) Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario (CIUNR).

E-mail: riccardi@fceia.unr.edu.ar, hstenta@fceia.unr.edu.ar, escuderi@fceia.unr.edu.ar, pbasile@fceia.unr.edu.ar, erikz@fceia.unr.edu.ar

Introducción

La disminución de la amenaza de inundación de un territorio urbano o rural puede llevarse a cabo mediante el desarrollo de acciones estructurales, como así también, mediante la aplicación de medidas no estructurales. Las primeras pueden comprender: canalizaciones, terraplenamientos de protección, alcantarillas y puentes, presas de retención de crecidas, grandes conductos y obras de protección de márgenes. En tanto que, las medidas no estructurales pueden incluir: mapeos de zonas inundables, legislación y políticas públicas para control de aportes superficiales en cuenca, legislación de uso y ocupación del suelo, sistemas de alerta hidrológico y mediciones de variables hidrometeorológicas y planes de contingencia en eventos críticos. En este contexto, se presenta una revisión de políticas de gestión de amenaza de inundaciones que comprende los estudios hidrológicos a nivel de cuenca, los estudios de la hidrodinámica de la propagación de crecidas en el valle de inundación para la delimitación de zonas con amenaza asociada a diversas recurrencias y el posterior desarrollo de la legislación municipal respectiva que regula el uso y ocupación del territorio dentro del valle de inundación.

Las líneas directrices de las legislaciones por lo general definen tres zonas: (1) zona de libre escurrimiento, con prohibición total de uso y ocupación; (2) zona de impactos mayores, definida por el mapa de inundación asociado a una recurrencia $R=100$ años, con fuertes restricciones de uso y ocupación y (3) zona de impactos menores, definida entre los límites de los mapas de $R=100$ y 500 años, donde las restricciones son menores. Los casos de aplicación aquí presentados corresponden a los valles de inundación de los arroyos Ludueña y Saladillo dentro del distrito Rosario (Figura 1).

Materiales y Métodos

En ambas zonas de estudio, a partir de las inundaciones que se presentaron en el año 1986 fue desarrollada la primera ordenanza que legisló el uso y ocupación del territorio en zonas inundables, la 4557/88. El trazado de los mapas fue realizado a partir de la observación de la zona inundada por la crecida. De acuerdo a la estadística hidrológica asociada a la información registrada hasta la presentación del evento, la citada crecida se aproximó a la citada crecida a una recurrencia $R=50$ años.

En el caso de la cuenca del arroyo Ludueña, a partir de las inundaciones de 1986 se proyectaron y ejecutaron obras estructurales como una presa de retención de crecidas, canalizaciones y grandes conductos cerrados con lo que se aumentó el nivel de protección aguas abajo de la presa de retención de crecidas. Las obras fueron dimensionadas con la premisa de proveer protección de crecidas por desborde del arroyo para $R=100$ años. En el año 1995 se delimitaron los mapas de amenaza de inundaciones en función de las obras construidas a esa fecha y posteriormente en 2001, a partir de nuevos avances en la construcción de obras proyectadas, se volvieron a elaborar los mapas con lo que se elaboró la ordenanza 7477/03.

Durante el año 2007, se registró un evento de lluvia en la región

de 5 días de duración, que provocó importantes inundaciones en varias localidades de la cuenca y más fuertemente en la zona del canal Ibarlucea tributaria del Ao. Ludueña, no llegando a desbordar por pequeño margen el cauce principal. Pudo verificarse que la cuenca contenía importantes modificaciones en el uso y ocupación del territorio respecto a lo considerado a partir de 1986. Por ello, la autoridad hídrica provincial encomendó la re elaboración de estudios hidrológicos en los cuales se comienza a considerar una lluvia de diseño de esa duración (5 días). Como resultados de esos estudios se comprobó la disminución del nivel de protección asociado a cada recurrencia especialmente en la cuenca baja. Por tal motivo se planteó la terminación de obras proyectadas anteriormente y se proyectaron nuevas estructuras tendientes a restituir el nivel de protección. En el año 2009 se concluyeron obras de canalización del canal Ibarlucea con lo que trazaron los nuevos mapas de amenaza y se legisló, resultando la ordenanza 8876/11, actualmente vigente. En el año 2019, una vez concluido un nuevo conducto en la desembocadura del arroyo (conducto Sorrento), se elaboraron nuevamente mapas de amenaza y actualmente se está elaborando la respectiva ordenanza de uso y ocupación del suelo respectiva.

En todos los casos la zona de libre escurrimiento definida por las sucesivas ordenanzas fue de 80 m a cada lado del eje del arroyo, completándose con zonas de impactos mayores ($R=100$ años) y de impactos menores (entre $R=100$ y 500 años) (Figura 2).

En el caso del Ao. Saladillo, en 1993 se llevaron adelante estudios tendientes a estabilizar la cascada situada cerca de la desembocadura en el río Paraná, para detener la erosión retrogradante y, paralelamente se proyectaron obras de canalización y terraplenamiento para mantener un nivel de protección ante crecidas de $R=50$ años. Conjuntamente se llevaron adelante estudios hidráulicos para la elaboración de mapas de inundación asociados a $R=100$ y 500 años. A partir de la ejecución de los mapas, en el distrito Rosario se elaboró una nueva legislación municipal, la 7336/02, también actualmente vigente. Cabe destacar que los estudios de estadística hidrológica con que se proyectaron las obras hidráulicas y las medidas no estructurales datan del año 1989. En tanto que las obras proyectadas se culminaron en 1999. La zona de libre escurrimiento definida fue 150 m a cada lado del eje del arroyo. Debe destacarse que la legislación solamente se realizó en el distrito Rosario (margen izquierda) en tanto que en la margen derecha correspondiente al distrito Villa Gobernador Gálvez, no se legisló al respecto.

Paralelamente a las legislaciones locales, en todo el territorio de la provincia de Santa Fe está vigente desde el año 2000 la ley 11730 que legisla sobre el uso de bienes situados en las áreas inundables dentro de la jurisdicción provincial, aunque dicha reglamentación no es demasiado precisa. Además, el estado provincial sancionó en el año 2011 la ley 13246 que regula la estabilización de aportes superficiales en la cuenca del arroyo Ludueña que fija como principio rector que toda nueva intervención en cualquier sector de la cuenca no debe amplificar en términos de caudales, el flujo saliente antes de la intervención.

Ahora bien, a través del tiempo puede comprobarse que las actividades no controladas del hombre como la industrialización de actividades agrícolas y uso de agroquímicos con la

consiguiente pérdida de materia orgánica y progresiva pérdida de capacidad de infiltración en áreas rurales y, la flexibilización de normativas de uso y ocupación del suelo en áreas periurbanas inundables conjuntamente con la alteración de patrones de precipitación debido al cambio climático, hacen que tanto las respuestas hidrológicas de los sistemas hídricos resulten aumentadas, tanto en términos de caudales como de volúmenes de escorrentía. En estos sistemas hídricos se evidencia que las alteraciones del uso de suelo tienen mayor impacto que la variabilidad climática. Las citadas alteraciones van modificando también las delimitaciones de zonas con amenazas las que no pueden considerarse permanentes, agregando complejidades e incertezas. En nuestros casos de estudios, la desactualización de los estudios hidrológicos e hidráulicos, el trazado de mapas y legislación asociada, es mucho más significativo en el caso del valle de inundación del arroyo Saladillo que en el correspondiente al arroyo Ludueña.

Discusión y Conclusiones

De lo expuesto surge que, en la medida que se produzcan cambios en el uso y ocupación del suelo, como también modificaciones o alteraciones climáticas, debe realizarse un continuo seguimiento de la respuesta hidrológica a nivel del sistema hídrico integral, conjuntamente con la determinación de los mapas de amenaza y la posterior adecuación de la legislación respectiva en los territorios emplazados mayormente aguas abajo.

Por otro lado, no resulta un dato menor la evolución de la ocupación del territorio con amenaza de inundación por parte de sectores empobrecidos. Se comprueba que los antes denominados asentamientos irregulares y hoy barrios populares inventariados por el ReNaBaP (Registro Nacional de Barrios Populares), que estaban instalados en los valles de inundación de los arroyos Ludueña y Saladillo en el distrito Rosario desde la década de 1990 dentro de las zonas de amenaza de inundación, en la actualidad siguen ocupando esos territorios y en algunos sectores con mayor densidad poblacional. Si bien se ejecutaron obras y llevaron adelante acciones no estructurales, los procesos de expulsión de habitantes desde zonas de mejor calidad ambiental y de mayor poder adquisitivo hacia zonas ambientalmente deterioradas, aumentaron, y existe mucho retraso en acciones concretas de relocalización de dicha población en zonas de menor riesgo hídrico.

La evidencia parece indicar que no hay soluciones sectoriales definitivas desde la mirada de la gestión de los recursos hídricos y que las causas estructurales de empobrecimiento de la población de un territorio son determinantes al momento de evaluar la ocupación en zonas con amenaza cierta de inundaciones.

En este contexto se estima recomendable profundizar en la caracterización de las variables de población, hogar y vivienda que se encuentran relevadas en el último censo del INDEC para la elaboración de un índice de vulnerabilidad social. Este índice permitirá determinar los sectores del ejido urbano que acusan una mayor vulnerabilidad ante inundaciones, contribuyendo a lograr la asignación de recursos del Estado (económicos, equipamiento, infraestructura, personal, legales, etc.) con una mayor justicia social. Merece especial atención, la redeterminación y actualización permanente de este índice y en fase con los resultados de los censos, junto con la actualización de las manchas de inundación dado que la cuenca como las variables que caracterizan a la población, hogares y viviendas, son dinámicas tanto espacial como temporalmente.

Referencias Bibliográficas

Municipalidad de Rosario (2011). *Ordenanza 8876 Zonificación para el uso de los suelos comprendidos en el valle de inundación del Arroyo*

Ludueña, y en los respectivos valles del Canal Ibarlucea y Canal Salvat, en correspondencia con el Distrito Rosario y en el ámbito de la Jurisdicción Municipal. Rosario (SF).

Municipalidad de Rosario (2002). *Ordenanza 7336 Normas Complementarias para la regulación del Uso del Suelo, en correspondencia con la planicie de inundación del Arroyo Saladillo. Rosario (SF).*



Figura 1.- Esquema de valles de inundación de los arroyos Ludueña y Saladillo en la región de Rosario

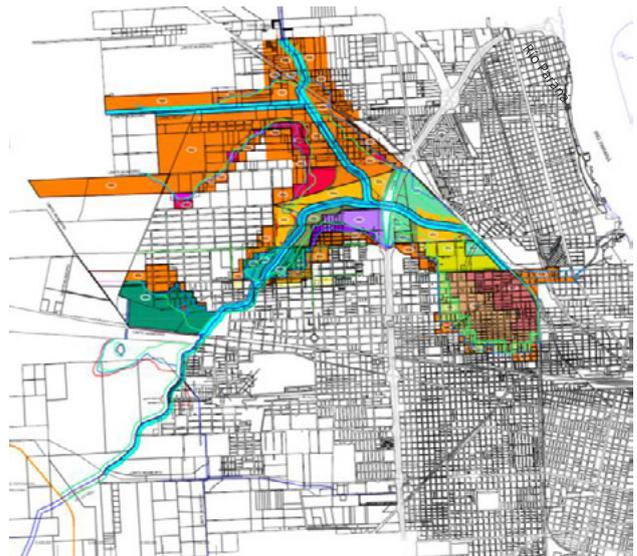


Figura 2.- Zonificación de áreas de libre escurrimiento y subdivisiones de la zona de impactos mayores del territorio en valle de inundación del arroyo Ludueña en distrito Rosario. (ordenanza 8876/11)



Figura 3.- Zonificación del territorio en valle de inundación del arroyo Saladillo en distrito Rosario (ordenanza 7336/02).

RACIONALIDADES Y LIMITACIONES EN LA AGRICULTURA IRRIGADA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

1^{er}. Riera Constanza¹, 2^{do}. Natalia Gattinoni², 3^{er}. Néstor Barrionuevo³ y 4^{to}. Cynthia Waldman⁴

¹ CONICET/ UBA – FFyL – IGEO, Argentina
consriera@yahoo.com.ar

² INTA – Instituto Clima y Agua, Argentina
gattinoni.natalia@inta.gob.ar

³ INTA – Instituto Clima y Agua, Argentina
barrionuevo.nestor@inta.gob.ar

⁴ INTA – Instituto Clima y Agua, Argentina
waldman.cynthia@inta.gob.ar

Introducción

La agricultura extensiva irrigada en la provincia de Buenos Aires ha mostrado un creciente desarrollo desde la última década del Siglo XX y principios del Siglo XXI (Barrionuevo et al. 2016). Este desarrollo es producto de la intensificación de la agricultura Pampeana que se caracteriza por niveles cada vez más altos de inversión. En Buenos Aires se observan tres zonas de riego complementario donde se concentra la superficie irrigada con agua subterránea mediante equipos de pivote central (Ver Fig.1). Cada una de estas zonas tiene características agroecológicas diferenciadas que dan cuenta de la flexibilidad que presenta esta tecnología para la adaptación a distintos entornos y tradiciones productivas, exhibiendo configuraciones territoriales heterogéneas. Dentro de esta diversidad, las dinámicas de crecimiento y retracción del riego varían de una zona a otra. Ante este complejo contexto territorial nuestro objetivo general es conocer las racionalidades en juego en la incorporación de tecnología de riego mecanizado. Para ello analizamos las relaciones entre las condiciones materiales del ambiente y las tradiciones productivas de cada zona de estudio.

Marco conceptual y metodología

Dada la tecnologización progresiva de la actividad agrícola, siguiendo a Leff (2011) tomamos el concepto de racionalidad ambiental para comprender los límites de este proceso de cambio que implica el uso y apropiación de cada vez mayor de los recursos (Harvey, 2004), y en este caso particular, del agua subterránea (Riera, 2020). Nos proponemos describir las relaciones entre, por un lado, las condiciones materiales del ambiente -entre las que se destacan las características hidrogeológicas, el clima y la incidencia del Cambio Climático- y, por el otro, el uso del suelo de cada una de las zonas de estudio (Fragaszy y Closas, 2016).

Para ello nos basamos en el análisis de datos censales, estadísticas climáticas, técnicas de teledetección y SIG, estudios etnográficos localizados y revisión de literatura especializada. Tomamos el Censo Nacional Agropecuario 2002 y 2018 para analizar los cambios en la estructura agraria y los usos del suelo en los tres partidos seleccionados. En relación al análisis espacial mediante SIG, se realizó una clasificación supervisada de formas consistentes con el riego por pivote central en base a imágenes satelitales Landsat. El análisis climático se realizó a partir del cálculo de Anomalía Porcentual de Precipitación (APP) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para períodos de 6 meses. El trabajo de campo incluyó viajes a las localidades de los tres partidos seleccionados entre noviembre 2021 y febrero de 2022. Se realizaron un total de 56 entrevistas a distintos actores vinculados a la agricultura bajo riego bonaerense, algunas de las cuales se llevaron a cabo de manera virtual.

Nuestra hipótesis de trabajo es que la adopción del riego complementario está motivada por una racionalidad moderna e

instrumental en la que el imperativo de adaptación a los condicionamientos ambientales -en el marco de cada tradición productiva- se expresa en la generación de los sistemas productivos bajo riego. En conjunto estos factores explican las dinámicas de expansión del riego mecanizado bonaerense pero también, en algunos casos, señalan sus límites.

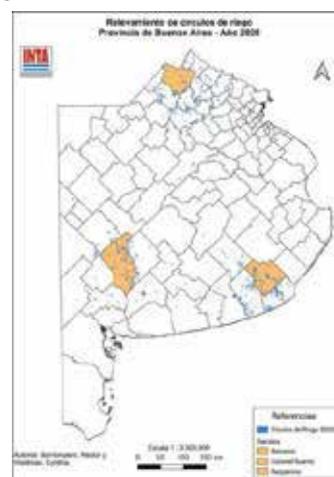


Figura 1.- Mapa de las zonas de estudio

Resultados

El análisis de la evolución del área regada entre los años 1995 y 2020 en los casos de estudio muestra un creciente incremento hasta 2015, con un periodo de relativa estabilidad entre el año 2000 y el 2005. A partir de 2015 las trayectorias de evolución de la superficie regada se separan. Mientras en Coronel Suárez y Balcarce esta tecnología se sigue expandiendo, en Pergamino se observa una notable caída de la superficie irrigada que desciende a casi la mitad de la que había en 2015 (Ver Fig.2).



Figura 2.- Evolución del área regada

En el caso de este último partido, con un régimen de lluvias que muchos años supera 1000 mm anuales, el riego es utilizado para la producción de semillas híbridas de maíz. Se abastece del acuífero Pampeano, y menor medida del Puelches, con una salinidad del agua de alrededor de 2g/l cuya capacidad de daño

está acotada a la forma de uso (sólo en verano y para pocos cultivos) (Augé, 2004). En el partido predomina la agricultura de cultivos anuales, especializado en soja, maíz y trigo. El retiro o retracción de los semilleros en el norte de la provincia, y la relocalización de sus actividades en otras zonas explican este descenso de la superficie.

Por otro lado, si observamos la evolución del área regada, Coronel Suárez ha experimentado un crecimiento vertiginoso desde el año 2005, acelerándose hacia el 2010. Con un régimen anual de precipitación media de 750 mm, cuenta con agua subterránea que nace en la sierras, cuyas características químicas la hacen de mejor calidad para riego que la que tiene origen en las planicies (Augé, 2004). El perfil productivo del partido es mixto agrícola-ganadero aunque va cediendo paso a una intensificación productiva que replica los esquemas de producción de la zona núcleo pampeana con una tendencia a la homogeneización y sojización del paisaje agrario, y perdiendo la tradicional especificidad zonal centrada en el trigo y el girasol. La disponibilidad de tecnología de riego asisten a esta intensificación productiva al mismo tiempo que habilita la diversificación en el cultivo de semillas y otras especialidades agrícolas.

Finalmente con respecto a Balcarce, el tipo de clima frío, de marcada amplitud térmica favorece la producción de papa. Allí, la productividad del acuífero pampeano de donde se extrae el agua para riego es particularmente alta (Augé, 2004). Comparte con el sudoeste bonaerense un perfil productivo mixto agrícola-ganadero. En el uso del suelo se observa una retracción del trigo y aumento del área sembrada en maíz. Sin embargo, en Balcarce riego se utiliza principalmente para el cultivo de papa, experimentando un crecimiento sostenido en los últimos años. Por las características de este cultivo, que exige un periodo de 5 años en promedio para su repetición en el mismo lote, se desarrolla una agricultura bajo riego trashumante donde productor, equipo de riego y cultivo se movilizan en procura de tierras descansadas. Adoptado para la producción de papa, el riego luego es incorporado para la producción de maíz (notas de trabajo de campo enero 2022).

A partir de datos anuales de lluvias se construyeron indicadores de sequía como la APP, donde los valores por encima de 0 indican el porcentaje anual en que llovió por encima o por debajo de los valores históricos; y el índice estandarizado de precipitación, cuyos valores negativos muestra la distribución de los periodos de sequía y orientan sobre la duración e intensidad de los eventos de acuerdo a los umbrales de este índice.

En los tres casos se observa el típico compartamiento cíclico de la región, con una oscilación entre periodos húmedos y secos. Pergamino es el que presenta oscilaciones menos pronunciadas en relación a los otros dos casos.

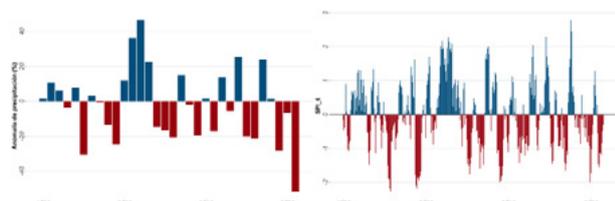


Figura 3.- APP y SPI Balcarce

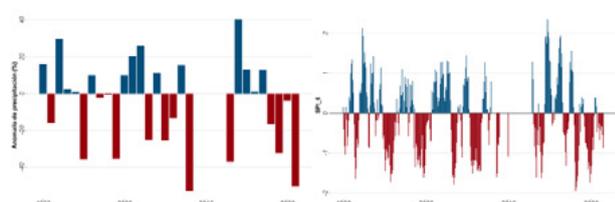


Figura 4.- APP y SPI Coronel Suárez

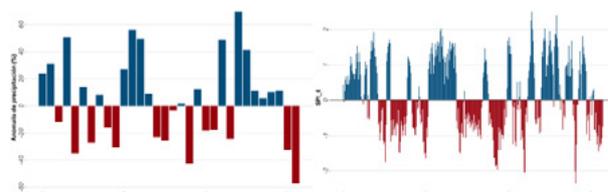


Figura 5.- APP y SPI Pergamino

Discusión

El momento de mayor aceleración en la adopción de riego, entre 2010 y 2015 no coincide con un periodo marcado de sequía, sino de oscilaciones moderadas en la precipitación. Sin embargo, se dió a continuación de una de las sequías más severas de la región en 2008, que fue particularmente intensa en Coronel Suárez. A partir del 2015, en Pergamino coincide el descenso de la superficie irrigada con el desarrollo de un ciclo húmedo y de abundancia de lluvias. Este ciclo húmedo es más acotado en Coronel Suárez, y menos marcado en Balcarce.

Al mismo tiempo, dado el perfil productivo de las zonas, y las características del agua subterránea disponible (la abundancia, los intervalos de aplicación, y la calidad del agua), justifican o no la continuidad y/o expansión del riego en cada caso. Estos factores intervienen en las dinámicas territoriales del riego mecanizado bonaerense. En Pergamino, las alternativas productivas en un régimen climático húmedo hacen poco atractivo el sostenimiento del riego con una calidad de agua subterránea no óptima. En Balcarce, la frecuencia del riego que impone la agricultura trashumante minimiza los problema de sodificación del suelo, y la alta rentabilidad de la producción papera impulsa el crecimiento de la superficie irrigada. En Coronel Suárez, por la disponibilidad de agua de mejor calidad, la adopción del riego se convierte en una solución a los limitantes ambientales al avance de la agriculturización sobre estas zonas secas del oeste bonaerense.

Conclusiones

Las particularidades en la precipitación y las características observables del agua subterránea acompañan el desarrollo de la agricultura irrigada en el marco de un proceso de agriculturización general. Se verifica una racionalidad económica que sin embargo encuentra en las condiciones materiales del ambiente cierto anclaje que permite diferenciar trayectorias en la expansión de la superficie irrigada.

Referencias

- Augé, M. (2004) Regiones Hidrogeológicas República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Mimeo.
- Barrionuevo, N., German, L. y Waldman, C., (2016). Análisis espacio temporal del riego por pivote central en la provincia de Buenos Aires en el periodo 1995-2015. *Sociedad Latinoamericana de Especialistas Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial – SELPER*, Iguazú, Misiones, Argentina.
- Fragaszy, S. y Closas, A. (2016) Cultivating the desert: Irrigation expansion and groundwater abstraction in Northern State, Sudan. *Water Alternatives* 9(1): 139-161
- Harvey D. (2004) *El nuevo imperialismo*. Madrid: Akal.
- Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia " otro" programa de sociología ambiental. *Revista mexicana de sociología*, 73(1), 5-46.
- Riera, C. (2020) La "tierra irrigada" y la mercantilización del agua en un nuevo paisaje hídrico de la agricultura pampeana: el caso del cluster de la semilla" *Revista Salud Colectiva* 16.

ACTIVIDADES, PERSPECTIVAS E IMPACTO DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA REGIÓN. CONSTITUCIÓN DEL CAPÍTULO PARA AMÉRICA LATINA Y CARIBE

^{1,2}F. Sebastian Riera; ³Guillermo Donoso, ⁴Pilar Villar, ⁵Rocio Vileña, ⁶Ariana Rossen

1. Centro de Investigación en Economía y Prospectiva. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.
2. Dpto. de Economía, Política y Administración Rural. Fac. de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. sebary@gmail.com
3. Centro de Derecho y Gestión de Aguas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. ghonosoh@uc.cl
4. Federal University of São Paulo – UNIFESP. Brazil. pcvillar@gmail.com
5. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. Ecuador. rociovichitaingles@hotmail.com
6. Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Sugerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua. Instituto Nacional del Agua. Argentina. arossen@ina.gov.ar

Introducción

La Asociación Internacional de Recursos Hídricos (IWRA, por su nombre en inglés) es una asociación internacional sin fines de lucro, no gubernamental, establecida en 1971 que reúne miembros de diferentes sectores y disciplinas con un fuerte compromiso en la difusión del conocimiento y la investigación de la ciencia y las políticas para el uso y la gestión sostenible de los recursos hídricos del mundo. El objetivo de IWRA es mejorar y ampliar la comprensión de los problemas del agua a través de la educación, la investigación y el intercambio de información entre países y entre disciplinas, promoviendo los procesos de gobernanza del agua, como aspecto clave para el crecimiento económico, la salud ambiental y el bienestar social.

En septiembre de 2022, IWRA inició su participación regional, mediante el lanzamiento del Capítulo Latinoamérica y Caribe (ALC), buscando reunir una amplia representación geográfica y disciplinaria en el continente. América Latina y Caribe se caracteriza por poseer una gran diversidad en términos de recursos hídricos donde coexisten regiones con gran abundancia de agua y con severa escasez, donde se entrelaza una significativa diversidad de ecosistemas y diferencias culturales asociadas al uso del agua. A su vez, la región presenta severos problemas relacionados con la falta de saneamiento, incluso básico, y acceso a agua potable segura, incluso en áreas con gran disponibilidad, donde predomina una dramática desigualdad social. Asimismo, presenta una dependencia considerable del agua para producir energía para satisfacer grandes poblaciones urbanas y demandas industriales. Por todo ello, es crucial y urgente alcanzar las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a fin de garantizar un desarrollo económico, social e ambiental inclusivo y equitativo. Esta diversidad de elementos naturales, aspectos sociales y económicos destaca la criticidad de la importancia de la gobernanza del agua en los países de ALC.

Descripción de la Región

Dentro de Hay 33 países de América Latina y el Caribe que presentan desafíos compartidos, pero también situaciones muy particulares. La gobernanza del agua es un aspecto clave para el crecimiento económico, la salud ambiental y el bienestar social. Con una población de 664.865.774 y una economía compuesta principalmente por dos sectores: la agricultura, que requiere volúmenes intensivos de agua y uso de agroquímicos que afectan las reservas naturales de agua dulce, y la minería, que puede comprometer grandes cantidades de agua: superficiales y acuíferas. Además de todo esto, la región presenta problemas relacionados con la falta de saneamiento, incluso básico, y acceso a agua potable segura, incluso en áreas con gran disponibilidad, por lo que es crucial y urgente alcanzar los ODS. Situaciones que evidencian una dramática desigualdad social y dificultades para el desarrollo económico. Asimismo, presenta una dependencia considerable del agua para producir energía para satisfacer

grandes poblaciones urbanas y demandas industriales, como por ejemplo la cuenca del Amazonas.

La región de ALC ha basado su crecimiento económico en la explotación del capital natural, especialmente de los recursos hídricos, lo que tiene impactos significativos en los ecosistemas regionales únicos, las comunidades tradicionales, la productividad, los ingresos y la calidad de vida. La región presenta considerables asimetrías en los esfuerzos destinados a reducir las presiones ambientales, a aumentar la eficiencia de las políticas hídricas, a mejorar el nivel de capacidad institucional o de participación de la sociedad. Por lo tanto, las partes interesadas deben intensificar sus acciones para atenuar los efectos ambientales negativos del crecimiento económico y revertir la tendencia a la escasez de recursos hídricos. En esta línea, es imprescindible revitalizar propuestas de gestión y gobernanza que incluyan los aprendizajes sobre el conocimiento ya construido en la región.

Estructura

La Oficina del Capítulo de LAC liderará el Capítulo IWRA LAC para la Gobernanza y la Seguridad del Agua basado en la ciencia para la mitigación, la adaptación y la resiliencia. La función principal de la oficina es facilitar la coordinación y la gestión, ampliar las actividades y atraer a más miembros. Además, el capítulo está dirigido por miembros del capítulo y cuenta con el apoyo cercano tanto de la Junta como de la Oficina Ejecutiva de la IWRA. El Capítulo de LAC creará una serie de grupos de trabajo (WG) que tienen mandatos, actividades y entregables claros con cronogramas asociados sobre objetivos prioritarios para el Capítulo.

Objetivos y Actividades del Capítulo

Los objetivos que persigue el grupo de trabajo del Capítulo LAC se centran en: I) Promover el conocimiento sobre la gobernanza del agua entre profesionales del agua de la academia, el gobierno y la industria, jóvenes profesionales, investigadores y estudiantes universitarios, líderes comunitarios y representantes en todos los niveles de gobierno, incluidas agencias nacionales e internacional; II) Facilitar el debate y la reflexión sobre la gobernanza del agua, promover el intercambio de ideas y experiencias entre países y motivar mejores regulaciones y políticas de agua y acciones innovadoras para enfrentar los desafíos latinoamericanos; III) Catalizador y promover un enfoque integral de seguridad y gobernanza del agua basado en la robustez de la evidencia científica para la mitigación, la adaptación y la resiliencia; y IV) Fortalecer la cooperación internacional para superar los desafíos de ALC.

Para lograr los objetivos anteriores, el Capítulo de LAC promoverá la coherencia y la coordinación con IWRA y sus grupos de trabajo a través de las siguientes actividades y grupos de trabajo:

Actividades

- Desarrollar la publicación de artículos, guías y manuales sobre temas afines.
- Organizar seminarios web, conferencias y talleres.
- Formar coaliciones con otras organizaciones internacionales y nacionales de la región.
- Promover y difundir trabajos de investigación e investigaciones.

Grupos de trabajo

- Seguridad y Gobernanza del Agua, desarrollo social y soluciones innovadoras
- Aguas subterráneas: Gobernanza y gestión sostenible
- Nexo agua, alimentos y energía.
- Gestión del agua equilibrando disponibilidad y calidad
- Acceso al agua y saneamiento
- Participación de la comunidad y la juventud

Los objetivos que persigue el grupo de trabajo del Capítulo LAC se centran en promover el conocimiento sobre la gobernanza del agua entre profesionales del agua de la academia, el gobierno y la industria, jóvenes profesionales, investigadores y estudiantes universitarios, líderes comunitarios y representantes en todos los niveles de gobierno, incluidas agencias nacionales e internacionales. Se espera estimular el debate y la reflexión sobre la gobernanza del agua, promover el intercambio de ideas y experiencias entre países y motivar mejores regulaciones de agua y acciones innovadoras para enfrentar los desafíos latinoamericanos. Se espera que el capítulo de ALC sea un centro de encuentro para ser un catalizador para promover un enfoque integral de seguridad y gobernanza del agua basado en una ciencia sólida para la mitigación, la adaptación y la resiliencia.

Conclusión

La formación del Capítulo para América Latina y el Caribe de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (IWRA) representa un paso significativo hacia la promoción y fortalecimiento de la gobernanza del agua en la región. Los objetivos delineados demuestran un enfoque integral y colaborativo, destinado a involucrar a diversos actores, desde profesionales del agua hasta líderes comunitarios y representantes gubernamentales. La iniciativa busca promover el conocimiento, fomentar el intercambio de ideas y experiencias, y motivar la implementación de regulaciones y políticas innovadoras para enfrentar los desafíos específicos de América Latina y el Caribe. La coherencia y coordinación con la IWRA y sus grupos de trabajo asegurarán una base sólida de evidencia científica para abordar la seguridad y gobernanza del agua, así como para desarrollar soluciones sostenibles y resilientes. Las diversas actividades y grupos de trabajo propuestos, como la publicación de artículos, guías y manuales, la organización de seminarios y conferencias, la formación de coaliciones con otras organizaciones y el impulso de investigaciones, permitirán avanzar hacia una gestión hídrica más equitativa y sostenible en la región. La participación activa de la comunidad y la juventud también garantizará una visión inclusiva y a largo plazo para afrontar los desafíos del agua y el saneamiento en la región latinoamericana y caribeña. En conjunto, esta formación del Capítulo LAC representa una oportunidad valiosa para fortalecer la cooperación internacional y lograr avances significativos en la superación de los desafíos hídricos en América Latina y el Caribe.

PROPUESTA DE ACCIONES LOCALES PARA UNA GESTIÓN INTEGRADA DE CRECIDAS EN LUJÁN, BUENOS AIRES

Leonardo Máximo Rivero¹, Viviana Graciela Zucarelli² y María José Denegri¹

¹Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Argentina
²Facultad de Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Argentina
leorivero1229@gmail.com

Resumen

Existen evidencias de que uno de los efectos más perjudiciales atribuibles a la variabilidad climática es el aumento de valores extremos en las intensidades de las precipitaciones (Trenberth, 2003), con las consecuentes crecidas e inundaciones que impactan localmente en áreas densamente pobladas, afectando el desarrollo de las poblaciones expuestas. Debido a esto, la actuación de los tomadores de decisión locales cobra un papel muy relevante y, por ello, deben hacer mucho para comprender y manejar más efectivamente los riesgos actuales y futuros (Jha, 2012).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2009) dando respuesta a esta problemática, ha planteado el abordaje de la comprensión de estos fenómenos mediante la Gestión Integrada de Crecidas (GIC) entendiéndola como un proceso que promueve un enfoque integrado y no fragmentado en materia de gestión de crecientes, que integra el desarrollo de los recursos de suelos y aguas de una cuenca fluvial en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), y tiene como finalidad reducir al mínimo las pérdidas de vidas y económicas causadas por las inundaciones (Paoli, 2015).

Este trabajo busca identificar los eventos de inundaciones más impactantes producidos en la ciudad de Luján entre 1982 y 2017, con el fin de registrar a los actores involucrados y analizar la gestión institucional local ocurrida para que, bajo la mirada de la GIC y el Marco de Gestión de Riesgos de Desastres (FAO, 2009), se intente proponer acciones locales que aporten ideas útiles que guíen a funcionarios y a la población hacia una gestión integral del problema.

Descripción de la problemática

Las inundaciones del Río Luján registradas en la ciudad homónima han sido un problema desde los inicios de su fundación como villa (Figura 1). Datos históricos recuerdan crecientes y desbordes del río que llegaban hasta el casco céntrico produciendo una inevitable conmoción de los habitantes; (Haas, 1995).



Figura 1.- Imagen de área vulnerable

Las características hidráulicas del Río Luján lo posicionan como un factor de amenaza natural cuando en su cuenca alta se registran acumulados de uno o varios días continuos de más de 100 mm de precipitaciones. Cuando dichos eventos se producen es inevitable el aumento de los caudales, y, como consecuencia de ello, probables desbordes, que, frente a su paso por la ciudad

de Luján, pueden producir inundaciones en zonas densamente pobladas.

Se han contabilizado 31 eventos de crecidas, desbordes e inundaciones del río en el periodo de 1982 a 2015 esto equivale a 0.9 eventos por año (Figura 2), todos ellos han producido algún tipo de impacto social en la ciudad de Luján, registrándose actuaciones de los actores locales, tanto institucionales como de la sociedad civil, de manera descoordinada. La problemática surge en la necesidad de ampliar la mirada de actuación de los actores locales en los momentos de preparación, respuesta y recuperación de los eventos de crecidas, configurando un marco normativo claro, con la participación de la comunidad y de todos los actores relevantes para que éstos sean facilitadores y copartícipes de una ciudad que debe tender a la resiliencia de todas sus amenazas.



Figura 2.- Eventos de crecidas y desbordes del Río Luján (Fuente: elaboración propia)

El objetivo general de este trabajo se está abordando en una Tesis de la Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, y es formular lineamientos para la Gestión de Crecidas en la ciudad de Luján, Provincia de Buenos Aires, en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. En particular en este Congreso trabajaremos sobre el objetivo particular de identificar los eventos de desbordes y crecidas más relevantes en la ciudad de Luján en función de la información relevada en medios locales de comunicación, en el cuartel central de Bomberos Voluntarios de Luján y en la estación agrometeorológica de la UNLu.

Metodología

Las acciones metodológicas de la propuesta de este trabajo se dividen en tres etapas:

En primer lugar, se realizó una selección de eventos para analizar (Tabla 1). De los 31 eventos de desbordes y crecidas ocurridos en el periodo de investigación y mostrados en la figura 1, se seleccionaron los diez más relevantes. Para ello, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos relacionados a la mayor afectación que hayan tenido para la sociedad:

A. Mayor altura medida del río frente a la ciudad de Luján. Este dato es certero y nos podría indicar aproximadamente, la afectación total de viviendas y personas con el mapa de evacuación que poseen los Bomberos Voluntarios y Protección Civil.

B. Mayor cantidad de personas afectadas. Para este dato serán

ponderadas las informaciones referidas a cantidad de evacuados y auto evacuados. También se consultarán los mapas que han elaborado los Bomberos Voluntarios de Luján y Protección Civil acerca de la mancha territorial de la inundación.

C. Mayor acumulación de precipitaciones en la ciudad de Luján. Este dato se ubica en último lugar debido a que, si bien es muy importante esta información, no existe una serie de datos para el período de estudio que describan lo ocurrido río arriba. La cuenca superior tiene una superficie aproximada de 220_000 hectáreas.

En la segunda etapa, los eventos más relevantes, serán analizados utilizando la metodología denominada CLIP (Chevalier y Buckles, 2009). Esto permitirá observar cómo ha sido la gestión de crecidas a nivel local, para el período de estudio de esta investigación. Con dicha información, se hará un análisis general donde se confronten las gestiones de crecidas de los diez eventos más relevantes y el marco conceptual de la GIC, la GIRH y el MGRD.

Finalmente, en la tercera etapa, se diseñarán, a partir del diagnóstico general, propuestas y recomendaciones sobre cómo llevar a cabo una gestión integrada de crecidas en la ciudad de Luján. Como resultado de estas se obtendrá un documento de trabajo con recomendaciones para gestionar un plan de contingencia de crecidas integral en la ciudad de Luján. Este documento podría ser tomado como modelo para otros gobiernos locales, con situaciones análogas, a los que les pueda ser de utilidad.

Resultados

Los eventos de crecida que más impacto tuvieron sobre la población, teniendo en cuenta el número de habitantes evacuados, fueron el 5 y el 4. Una diferencia apreciable entre ambos eventos es la precipitación acumulada en Luján. Si bien en el evento 5 se registraron acumulados del orden de 100 mm menos que en el evento 4, la altura alcanzada por el río fue 15 cm mayor y hubo 100 evacuados más. Esta diferencia se debe a que río arriba los acumulados fueron mayores para el evento 5 que para el 4, de aquí la importancia de monitorear las precipitaciones río arriba y en toda la cuenca.

Tabla 1.- Crecidas más relevantes en la ciudad de Luján durante el período 1982-2017.

Evento	Altura del río (metros)	Población evacuada (N° de habitantes)	Precipitaciones Luján (mm)
1	3,90	208	131,0
2	4,84	401	216,0
3	4,41	200	154,0
4	6,25	500	295,4
5	6,40	600	182,0
6	4,79	300	213,0
7	3,85	26	137,0
8	5,52	300*	178,0
9	3,68	15	104,0
10	2,69	0	68,5
11	5,23	350	169,0
12	4,16	101	181,0
13	2,99	0	125,0
14	3,12	0	127,0
15	3,95	468	183,6
16	4,42	100	204,0
17	3,26	0	148,0
18	3,07	11	113,5
19	3,50	0	119,2
20	2,50	0	179,5
22	4,00	100*	126,0
23	4,40	0	257,5
24	3,43	67	73,0
25	3,50	0	102,5
26	3,17	0	108,0
27	4,59	0	169,0
28	4,26	150	102,5
29	5,32	140	128,0
30	5,15	170	152,0
31	5,43	450	223,5

De acuerdo con la metodología propuesta, las actividades programadas para avanzar en las etapas 2 y 3 y los resultados esperados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2.- Cuadro de Actividades y resultados esperados

Actividades	Resultados esperados
1. Identificación y caracterización de actores involucrados en cada evento de crecidas. 2. Entrevistas con actores que posean información relevante de cada evento de crecidas.	1. Mapeo de actores para cada evento crecida. 2. Análisis CLIP para cada evento de crecida. 3. Análisis CLIP integral de todo el período de estudio de la investigación. 4. Informe diagnóstico sobre el análisis CLIP integral.
1. Diseño de recomendaciones para gestionar de manera integrada las crecidas en la ciudad de Luján.	1. Documento de trabajo para un plan de contingencia integral de las crecidas.

Conclusiones

Para que la gestión integrada de crecidas sea parte de la agenda institucional de los gobiernos locales, afectados por estos eventos, resulta indispensable llevar a cabo un trabajo de análisis participativo con todos los actores expuestos al riesgo hidrometeorológico. Cobra real importancia, para llevar a cabo acciones destinadas a este fin, contar con documentos, guías de apoyo, lineamientos, normativas, al respecto.

En este trabajo se identificaron los 10 eventos de crecida que más impacto tuvieron sobre la población de la ciudad de Luján. En 7 eventos se tuvieron más de 100 evacuados, creciendo este número hasta 600 en el peor evento de crecida.

Al comparar los eventos, se pone en evidencia la importancia de monitorear las precipitaciones no sólo en Luján, sino también río arriba.

Cabe mencionar además que una altura de río similar a las alcanzadas en crecidas anteriores podría tener mucho mayor impacto sobre la población hoy en día, ya que la zona ribereña de la ciudad ha crecido en las últimas décadas. Esto refuerza la necesidad de contar con herramientas que sirvan para la toma de decisiones y la gestión de las crecidas.

Referencias

- Chevalier, J; Buckles, D.** (2009): Guía para la Investigación Colaborativa y la Movilización Social, Ottawa, Canadá.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación División de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía** (2009). Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres, Roma.
- Hass, C. A.** (1995). Inundaciones en áreas urbanas e impacto social. El caso de la ciudad de Luján, Buenos Aires, Argentina. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 15, 393.
- Jha, A. K.; Bloch, R.; Lamond, J. Banco Mundial** (2012). Ciudades e Inundaciones: guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21. Resumen de hacedores de políticas. ISBN 978-0-8213-8866-2
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM, 2009).** Gestión Integrada de Crecidas: Documento Conceptual. OMM N° 1047. OMM –GWP – PAGC. Ginebra, Suiza. ISBN 978-92-63-31047-7.
- Paoli, C. U., Unión Europea** (2015). Coordinadores del eje temático RALCEA. Mapeo de actores y desarrollo de capacidades, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. ISBN 978-92-79-52198-0
- Trenberth, K. E., A. Dai, R. M. Rasmussen y D. B. Parsons** (2003): "The changing character of precipitation", en Bulletin of the American Meteorological Society, 84, 1205–1217.

CUENCAS HIDROGRÁFICAS, TERRITORIO Y PAISAJE

HERRAMIENTAS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL AMBA

Dra. Arq. Daniela Rotger
CIUT, CONICET, FAU-UNLP, Argentina
dvrotger@gmail.com

Introducción

El manejo del agua es uno de los grandes desafíos para alcanzar el desarrollo sostenible. Argentina tiene una amplia oferta de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, aunque desequilibrada territorialmente. Es de importancia estratégica el manejo sostenible, no sólo por razones sanitarias y productivas, sino para el control del riesgo hídrico por inundaciones y sequías. Las inundaciones son el mayor desastre natural que amenaza a la Argentina, y representan el 60% de los desastres naturales y el 95% de los daños económicos (Informe del Banco Mundial, septiembre de 2016). En el abordaje del riesgo hídrico ha primado el criterio de realización de obras de infraestructura hidráulica (medidas estructurales) por sobre las medidas no estructurales, entre las que se ubica el ordenamiento territorial. En el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) el principal peligro natural que afecta la región son las inundaciones, fenómenos de naturaleza compleja que incluyen causas naturales y antrópicas; sin embargo las propuestas carecen de la necesaria comprensión de la dinámica natural, así como de la incidencia que pueden tener las acciones antrópicas sobre esa misma dinámica (Pereyra, 2014). Se busca estudiar la implementación de políticas de ordenamiento territorial en base a cuencas hidrográficas en el AMBA, considerando a la cuenca como unidad organizativa del territorio, poniendo énfasis en el paisaje como categoría de análisis e intervención territorial.

Gestión histórica de las cuencas del AMBA

El AMBA refiere a un área geográfica conformada por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el Gran Buenos Aires y un conjunto de partidos aledaños, que conforman el principal conglomerado urbano del país. El territorio no presenta grandes accidentes geográficos; sin embargo, está condicionado por su relación con el río de La Plata y por las cinco grandes cuencas hidrográficas que definen franjas perpendiculares a la costa. De norte a sur se sitúan las cuencas del río Luján y Reconquista, la cuenca del río Matanza-Riachuelo hacia el suroeste, las cuencas de la Ciudad de Buenos Aires —con cursos totalmente entubados— y, por último, la cuenca de la zona sur (Figura 1).

El crecimiento metropolitano ha ido en paralelo al deterioro del sistema de cuencas. La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y la impermeabilización de las planicies de inundación se han incrementado al compás del crecimiento de la urbanización, desde la fundación de la ciudad de Buenos Aires como epicentro del conglomerado. La armonización entre el medio natural y el medio construido no es sencilla, considerando que se trata de un territorio ocupado por 14.800.000 habitantes (Censo 2010) -el 35% de la población nacional-, dividido por 41 jurisdicciones diferentes, donde los ríos y arroyos discurren en sentido perpendicular al río de La Plata, mientras la urbanización se desarrolla en forma anular alrededor de la ciudad de Buenos Aires. Esto se evidencia en el impacto creciente de las inundaciones urbanas por precipitaciones, además del fenómeno denominado sudestada, que afecta cíclicamente a la región, cuando los vientos procedentes del cuadrante sudeste impiden el normal escurrimiento de las aguas del Río de la Plata.

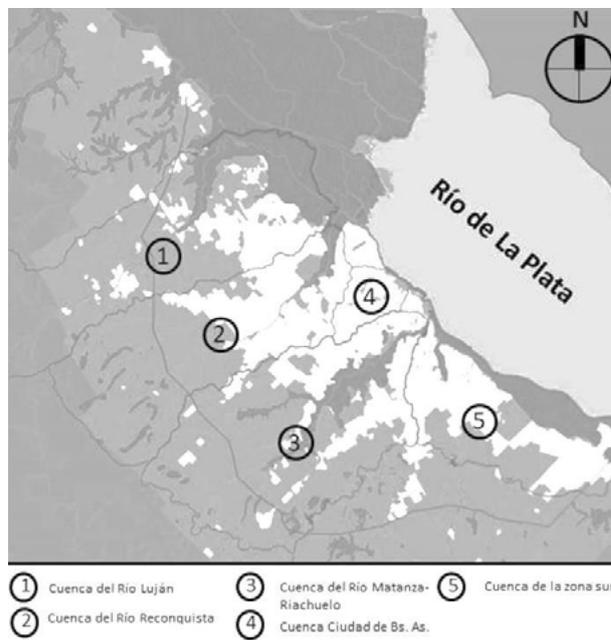


Figura 1. Cuencas del AMBA. Fuente: elaboración propia en base a Subsecretaría de Urbanismo y Vivienda- DPOUT (2007)

Dada la falta de una coordinación interjurisdiccional en el AMBA que guíe el ordenamiento del territorio desde un criterio ambiental, sumada a la dispersión de instrumentos normativos y a la falta de instrumentos de planificación de carácter vinculante, la gestión ambiental es dificultosa, y se expresa claramente en la falta de una gestión integral de las cuencas hidrográficas (Rotger, 2018).

El paisaje como enfoque para la integración de las cuencas en el ordenamiento del territorio

Hacia fines del siglo XX, junto con la generalización de dinámicas urbanas propias de la mundialización económica, el aspecto de los territorios, y más aún, la preocupación por la pérdida de autenticidad del paisaje autóctono, comienza a ser un tema de preocupación de los estudios urbanos. En este marco, la noción de “paisaje” dentro de la planificación del territorio emerge como concepto capaz de incorporar el trinomio ambiente, patrimonio y participación pública (Rotger, 2017).

Comienzan a cobrar valor los paisajes de la cotidianidad, como por ejemplo áreas naturales que no necesariamente contaban con una ley de protección, o cursos fluviales metropolitanos, que comienzan a visibilizarse como áreas de oportunidad para mejorar la calidad ambiental urbana desde una concepción que va más allá de las aproximaciones únicamente naturalistas o ingenieriles, y que considera la complejidad del territorio por el que discurren los cursos (Ribas Palom, 2006).

Los ríos y arroyos empiezan a tener un papel estratégico, por los múltiples beneficios que pueden aportar: desde el mejoramiento del paisaje, la recuperación de ecosistemas, la gestión del

riesgo hídrico a la creación de espacios verdes públicos. Comienza a ganar terreno la idea de que los cursos de agua, más allá de la degradación que los afecte, aportan mayores beneficios a las ciudades cuando se integran a ellas, en lugar de estar aislados mediante obras de infraestructura hidráulica del tipo “gris” como entubamientos o canalizaciones (Rotger, 2017).

Desde las normativas que emergieron desde el Convenio Europeo del Paisaje (2000) comienzan a instrumentarse medidas de tratamiento para los paisajes cotidianos y degradados. Desde el diagnóstico de paisajes, se plantea la necesidad de reconocer los valores paisajísticos de los cursos fluviales de un modo amplio, considerando los aspectos naturales, pero también el proceso de configuración territorial que ha definido la relación agua - ciudadanía. Desde el proyecto de paisajes fluviales, los cursos y sus planicies de inundación -asimismo la cuenca como red hidrográfica- comienzan a interpretarse como áreas de oportunidad para el desarrollo de espacios públicos asociados a la revitalización del patrimonio natural y cultural, la mitigación del riesgo de inundación y la amenidad urbana. Pueden ser parte de las llamadas infraestructura verdes, como una “red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos” (Unión Europea, 2014: 7); así como de las infraestructuras azules; elementos estrechamente vinculados con las infraestructuras verdes, en los que las componentes o procesos relacionados con el agua cuentan con una especial relevancia (Figura 2).

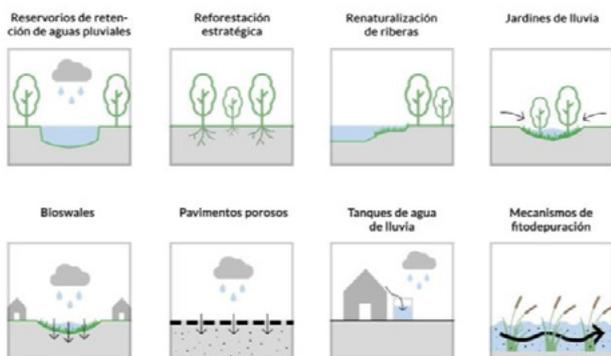


Figura 2. Ejemplos de Infraestructuras azules y verdes. Fuente: elaboración propia en base a AEP (Autoridad del espacio público CDMX), de Urbanisten (2016)

El AMBA posee áreas de potencial ecológico y paisajístico; un sistema de grandes áreas verdes, que Garay y Fernández, (2013) clasifican en: “límites” (compuestos por los tres grandes ecosistemas de la región, es decir, el Río de La Plata, el Delta del Paraná y el Área rural); los “elementos” integrados por corredores viales, ferroviarios y fluviales; y la “estructura” que constituyen los límites y elementos y sus relaciones. En esta estructura, los ríos y arroyos vinculan los grandes espacios verdes, que en su mayor parte están aislados, funcionando además como ejes que articulan los distintos componentes que se desarrollan sobre las cuencas hidrográficas.

Reflexiones finales

Hacia una gestión territorial del AMBA que tome en cuenta la complejidad ambiental del territorio, es necesario un

ordenamiento en base al estudio de los procesos ambientales, donde la regionalización en base a cuencas sería adecuada, no solo para la gestión del riesgo, sino para el tratamiento integral de los sistemas hídricos urbanos: las fuentes de agua, el almacenamiento y distribución, el saneamiento y el drenaje de las aguas, enfatizando en la necesidad de mejorar la calidad paisajística de ríos y arroyos, como un modo de mejorar la calidad ambiental metropolitana (Rotger, 2021).

Desde lo físico-natural, la cuenca es unidad sintética de los procesos ambientales, siendo especialmente relevante su consideración para el análisis de un territorio urbano como el del AMBA; pero también es tejido conectivo configurado a partir del agua, que desde lo físico-natural vincula los fragmentos territoriales que configuran al conglomerado, siendo el elemento que desde el medio natural resume con mayor claridad las relaciones entre naturaleza y cultura que se dan en el AMBA.

Referencias Bibliográficas

AEP (Autoridad del espacio público CDMX), de Urbanisten (2016) *Hacia una ciudad de México sensible al agua: El espacio público como una estrategia de gestión de agua de lluvia*. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2018/01/Hacia-una-Ciudad-de-M%C3%A9xico-sensible-al-agua.pdf>

Convención Europea del Paisaje (2000). *Convenio Europeo del Paisaje*. Recuperado de <http://www.coe.int/>

INDEC (2010). Censo nacional de Población y Vivienda. Disponible en: https://www.indec.gov.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135

Pereyra, F. X. (2014). Inundaciones en el Área Metropolitana Bonaerense (AMBA) y Gran La Plata (GLP): causas, evaluación del riesgo y ordenamiento territorial. In *XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente (UPE 11)*(La Plata, 2014).

Ribas Palom, A. (2006). Los paisajes del agua como paisajes culturales. Conceptos, métodos y experiencias prácticas para su interpretación y valorización. Versión adaptada de la ponencia “Naturaleza y cultura en la creación y valorización de los paisajes del agua”. *VII Coloquio Ibérico sobre Planificación y Gestión del Agua*. Faro, Portugal. Recuperado de <http://web2.udg.edu/aigua/material/apogeo.pdf>

Rotger, D. (2017). Paisaje fluvial y planificación del territorio. Perspectivas de integración en la Región Metropolitana de Buenos Aires. *Revista De Urbanismo*, (37), 1–15. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2017.47085>

----- (2018). Gestión de cuencas en la región Metropolitana de Buenos Aires. Historia y actualidad de un territorio en conflicto ambiental: El caso del Gran La Plata. *Cuaderno urbano*, 24(24), 7-26. <https://dx.doi.org/10.30972/crn.24242919>

----- (2021). *El paisaje fluvial en el AMBA*. Buenos Aires: Prometeo.

Subsecretaría de Urbanismo y Vivienda- DPOUT (2007) *Lineamientos Estratégicos para la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Buenos Aires: Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.

Unión Europea (2014). *Construir una infraestructura verde para Europa*. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/GIBrochure-210x210-ES-web.pdf>

IMPLEMENTACIÓN DE LAS ÁREAS DE RIESGO HÍDRICO LEY 11730 EN NUEVAS URBANIZACIONES PROVINCIA DE SANTA FE.

José Luis Sánchez

Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, Almirante Brown 4751, 3000 Santa Fe.
Gorostiaga 2379, 300 Santa Fe, TE : 342 6134928, ingjosesanchez@yahoo.com.ar

Introducción

El presente trabajo propone una metodología y criterios hidrológicos a seguir, para la determinación de los límites físicos de las áreas de riesgo hídrico definidas en la Ley 11730 que regula el uso del suelo en zonas inundables, aplicado a nuevas urbanizaciones en la Provincia de Santa Fe, para las diferentes áreas de riesgo: AREA I, los cauces naturales y artificiales y cuerpos de agua permanente; AREA II, las vías de evacuación de crecidas y área de almacenamiento y AREA III, las áreas con riesgo de inundación no incluidas en las Áreas I y II.

Desde el año 2013 se implementa la normativa que impone criterios de intervención en sectores urbanos, aplicables a nuevas urbanizaciones tanto de viviendas, sectores industriales, servicios, comerciales, etc. que impliquen un cambio de uso del suelo. En una primera instancia a través de la Resolución N° 292/13 y posteriormente la vigente Resolución N° 736/16. En particular esta última, involucra 3 etapas a saber: el análisis de inundabilidad de la fracción conforme los alcances de la Ley 11730 que regula el uso del suelo en áreas inundables, el análisis de aptitud del proyecto de drenaje, y una tercer etapa los planos conforme a obra del emprendimiento.

Metodología y criterios normativos

La delimitación de áreas de riesgo por inundación, Áreas I, II y III, implica básicamente el desarrollo de tres partes o etapas de estudio:

- La determinación de las características morfológicas del medio físico (estudios básicos topo cartográficos, batimétricos).
- La determinación de las crecidas de diseño a utilizar, basado en criterios preestablecidos para cada clasificación del medio físico.
- La demarcación en el terreno, mediante el replanteo de las curvas determinadas en la etapa dos.

Los criterios que se enuncian podrán variar según las características y magnitud del proyecto y de su lugar de emplazamiento. No obstante, a manera orientativa y no limitativa se indican a continuación los parámetros y lineamientos considerados en prácticamente todo el territorio de la Provincia: Las Áreas de la Ley Pcial. N° 11.730 se delimitarán bajo las siguientes Recurrencias:

Área I: su límite superior es para Recurrencias de 2 años.

Área II: su límite inferior es de TR: 2 años y su límite superior es de TR: 25 años.

Área III: su límite inferior es de TR: 25 años y su límite superior es de TR: 100 años.

Tales límites pueden variar según el ámbito geográfico. De igual manera cuando resulte imposible arribar a un valor de Recurrencia fiable, podrán utilizarse otros parámetros (edafológicos, gemológicos, etc.) que técnicamente resulten sustentables.

No obstante lo fundamental, respecto a la viabilidad de ejecutar un proyecto, resulta el uso que se asigne al mismo, siendo más restrictivos los proyectos habitacionales y en menor medida los espacios recreativos, turísticos.

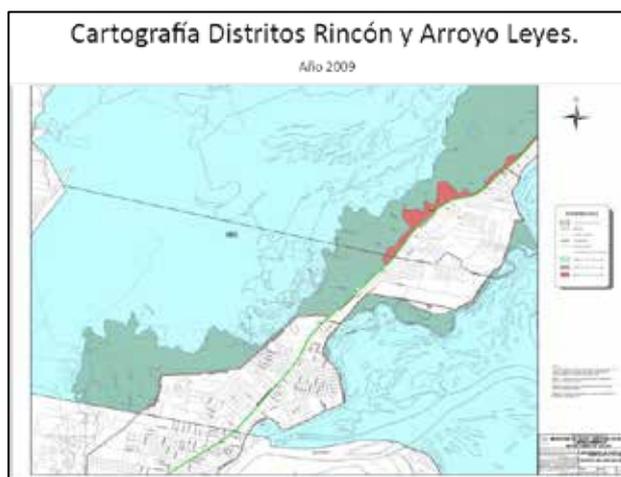


Figura 1.- Ejemplo carta de zonificación Ley 11730

En algunos casos, amplios sectores urbanos se ubican en **sectores defendidos** frente a crecidas de los cursos de aguas como el río Paraná y Salado entre otros. Para tales casos los criterios definidos son:

1) Estas zonas, pueden verse afectadas por inundaciones que superen los parámetros de diseño con que fueron construidas las obras de protección o por colapso de las mismas ante efectos naturales o antrópicos. Ante tales situaciones las inundaciones serán abruptas y la primer prioridad será salvaguardar las vidas de las personas que habiten dentro de las zonas defendidas, para ello los niveles que puedan alcanzar las aguas ante el colapso de las defensas en ninguno de los casos debe ser superior a 1,50 m. del terreno donde se asienta la vivienda.

2) Otro aspecto a considerar son los niveles freáticos ante situaciones extremas (niveles altos de los ríos y/o precipitaciones de magnitud), por lo tanto el terreno natural en ningún caso podrá ser inferior a la cota correspondiente a 10 años de recurrencia para distancias superiores a 300 m. del terraplén de defensa o de 15 años de Recurrencia para distancias menores a 300 m.

3) Un tercer elemento a considerar será la normativa fijada por el Municipio o Comuna para la ocupación de esos sectores.

Todas las elevaciones o rellenos que se practiquen, además de cumplir con los artículos 14 y 15 de la ley provincial N° 11.730 (no obstruir el normal escurrimiento de las aguas) deben ser "compensadas" con suelo extraído dentro del propio emprendimiento. La profundidad máxima de extracción será de 0.50 m respecto al terreno natural. La Autoridad podrá considerar un mayor valor, en casos de excepción y debidamente fundado.

Todo emprendimiento no contemplado en las categorías

mencionadas o que por su localización o condiciones especiales merezca un análisis en particular deberá contar con la aprobación debidamente justificada de la Autoridad de Aplicación.

Para el caso de los **sectores no defendidos**, se adoptan los siguientes criterios. Los parámetros más exigentes (altas recurrencias) se corresponden con obras públicas o privadas de alto impacto social tales como: Centros de Salud, Centros Educativos, Planes de viviendas colectivas (de alta densidad), etc. Para estos proyectos solo se permitirá su ejecución en aquellos predios cuyas cotas del terreno natural estén, como mínimo, dentro del Área III y sean superiores a los niveles de inundaciones (fluviales o pluviales) para recurrencias de 50 años (como mínimo), pudiendo ser mayor en función del tipo y magnitud del proyecto. En estos casos la cota mínima de edificación será para recurrencias de 100 años (como mínimo), pudiendo ser mayor en función del tipo y magnitud de proyecto.

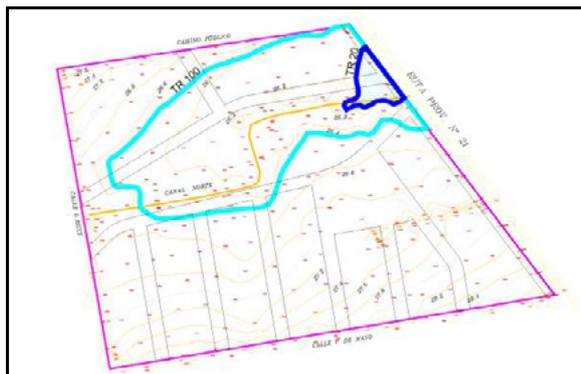


Figura 2.- Ejemplo mancha de inundación proyecto urbanístico en Localidad de Gral. Lagos.

Para los proyectos urbanísticos (viviendas permanentes) de mediana a baja densidad y Áreas Industriales y servicios: solo se permitirá su ejecución en predios que no se vean afectados por inundaciones (fluviales o pluviales) de recurrencias de 25 años como mínimo (límite superior del Área II) y la cota mínima de edificación será para 100 años de recurrencias (límite superior del Área III). De esta forma, el Área II es restricción de asentamientos urbanos de carácter permanente.

Para los emprendimientos turísticos en zonas ribereñas (cabañas, bungalós, etc.). Se permitirá su ejecución en predios que se vean afectados por inundaciones (fluviales o pluviales) de recurrencias de 5 años como mínimo (próximo al límite inferior del Área II), ya que el atractivo turístico, en numerosas oportunidades, radica en estar muy próximo a un curso de agua independientemente de la afectación que pueda sufrir periódicamente. Se podrán ejecutar viviendas de tipo palafíticas, cuyo umbral de construcción sea no inferior a las crecidas centenarias definidas para el caso.



Figura 3.- Ejemplo de construcciones Palafíticas para viviendas no permanentes en zonas inundables.

Conclusiones:

Al presente un poco más de 8 de cada 10 Santafeños vive en zonas urbanas, de las cuales un 76 % de los centros con más de 10.000 habitantes, presenta periódicos problemas de inundaciones por causas de diversa índole. La toma de conciencia por parte de los sectores políticos y organismos técnicos que entienden en la materia, de la necesidad de establecer normativas claras respecto al uso de estas áreas de riesgo, como la de la comunidad de aceptar convivir con las inundaciones, traerá como resultado un mejor aprovechamiento de los recursos económicos y humanos involucrados. Se deberá poner el mayor esfuerzo en lograr que toda la comunidad se familiarice con las normativas específicas, a través de planes de acción tendientes a la divulgación y educación en forma directa.

La Ley 11730 constituye para la Provincia de Santa Fe un instrumento de incuestionable valor estratégico para el desarrollo sustentable del territorio. La metodología de zonificación propuesta en el presente trabajo, apunta a consolidar un mecanismo práctico y de carácter genérico, que permita sentar criterios de mínima a adoptar en la definición de las áreas I, II y III identificadas por la Ley. De esta forma los límites sugeridos son umbrales mínimos propuestos, los que podrán ser superiores o más restrictivos a criterio de las Autoridades Jurisdiccionales Municipales o Comunales, si tales lo consideran conveniente.

Referencias

- Cano G. et al** (CFI 1988) "Estudio sobre línea de Ribera. Informe Final". Consejo Federal de Inversiones
- Litwin C., Paoli C.** (1993). "Prevención y control de Inundaciones: Un proyecto de Ley para delimitar el espacio público fluvial, la vía de evacuación de inundaciones y áreas de riesgo hídrico en la República Argentina".
- Provincia de Corrientes LEY N° 5.588** (2004), sancionada por El Honorable Senado y Cámara de Diputados. Determinación de la Línea de Ribera y Régimen de uso de los Bienes Inmuebles en áreas inundables. Publicado en el B.O. el 21 de septiembre de 2004 Decreto N° 2001 del 16 de septiembre de 2004.
- Provincia de Santa Fe LEY 11730** (2000) y Decreto Reglamentario 3695 (2003) "Régimen de uso de bienes en áreas inundables".
- Sánchez José Luís** (2001) "La Regulación del Uso del suelo en áreas urbanas". I Seminario de Drenagem Urbana do Mercosul e V Seminario Nacional de Drenagem Urbana-Soluciones para a Drenagem Urbana em Países da América Latina", 11 a 13 de julio de 2001, Porto Alegre, RS., Brasil.

UNA RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA: ACTORES SOCIALES Y USOS DEL AGUA EN EL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT

Zahira Amira Santos¹

¹IIGG-UBA. Argentina - amirasantos4@gmail.com

Introducción

En los últimos cinco años parecería que la problemática hídrica en el Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH) ha ido tomando un espacio central en la agenda política de la provincia del Chubut. Ello se evidencia en la regulación creciente del Instituto Provincial del Agua y del Ministerio de Ambiente Provincial sobre los usos y la calidad del agua del Río Chubut. La emergencia hídrica 2021-2022 (Pessacq et al., 2021) mostró la falta de planificación en la gestión del agua y visibilizó la tensión e intereses contrapuestos entre demandas urbanas y rurales. De esta forma, la regulación sobre el agua se ha vuelto un eje de intervención urgente frente al crecimiento urbano sin planificación y la diversificación productiva, en un contexto de disminución de precipitaciones en la cuenca alta del río, producto del cambio climático, y la extensión del sistema de riego en la cuenca media (Pessacq et al., 2021). Si bien algunas de estas problemáticas se replican en diversas regiones del país, un factor que caracteriza y complejiza el escenario local es que los diversos usos del agua -producción, generación eléctrica y abastecimiento domiciliario- recaen sobre un único curso de agua dulce. Sumado a ello, se ha identificado una ampliación y diversificación de los usuarios que ejercen nuevas demandas sobre la gestión del recurso.

El presente trabajo busca realizar una reconstrucción histórica de la transformación de los usos del agua y de su gestión en la zona en estudio, identificando actores sociales y formas de organización para la utilización del recurso. Se tomarán en cuenta las producciones predominantes de los diferentes periodos históricos y se prestará atención a las dinámicas construidas entre las zonas urbanas y rurales del VIRCH. Finalmente se analizarán, desde una perspectiva cualitativa, fuentes documentales provenientes de diarios locales y otras fuentes bibliográficas que registren eventos sobre el manejo del curso de agua.

Los usos del agua y su gestión a través de la historia

El VIRCH es una región socioeconómica que puede definirse como dinámica en términos de intercambios territoriales, políticos y culturales entre sus localidades. Geográficamente se ubica en una región semiárida al noreste de la provincia de Chubut y se compone por las localidades de 28 de Julio, Dolavon y Gaiman - en el departamento de Gaiman - y las ciudades de Trelew y Rawson - en el departamento de Rawson. Es una zona en la que se produce bajo riego y en la que se identifican diversas producciones agropecuarias con distintos niveles de capital, tipos de organización del trabajo (trabajo familiar y trabajo asalariado) y con grupos de productores que pueden distinguirse de acuerdo a su residencia urbana o rural (Crovetto, 2016). En la actualidad se identifican producciones agrícolas como la siembra de pasturas (principalmente alfalfa); la horticultura (a campo y bajo cubierta) y la producción de cerezas. Además se desarrollan producciones pecuarias como la cría de ganado ovino (para faena y para lana); reciente desarrollo del clúster ganadero bovino y cría industrial de pollos. Todas estas producciones requieren del recurso hídrico y en el caso de la agricultura al utilizarse distintos sistemas de riego según el tipo de producción suelen generarse tensiones en la administración cotidiana y comunitaria del recurso (Díaz, Raguileo, Hernández y Salvadores, 2021).

En este trabajo se identifica que las transformaciones históricas de los usos y de la gestión del agua se han articulado con cambios político-institucionales, económico-productivos, sociodemográficos y culturales. Con propósitos de identificar estas transformaciones se distinguen analíticamente cuatro periodos sociohistóricos en los usos y la gestión del agua del VIRCH.

El primer periodo va desde mediados de 1860 hasta la década de 1910. El sistema de riego del VIRCH tiene su origen en el siglo XIX a partir de la llegada en 1865 de colonos Galeses, como estrategia del Gobierno Argentino para incorporar tierras al territorio nacional desplazando a los pueblos indígenas (Dumrauf, 1992; Martínez Ruiz, 1977). El crecimiento poblacional y económico de Chubut, fundamentalmente agrícola (Crovetto, 2016), estaba en extremo condicionado por las características geográficas (pocas tierras cultivables) y climáticas (escasas lluvias) (Beltran y Linqueo, 2017). El mayor obstáculo geográfico era el acceso al recurso hídrico de manera constante (Martínez Ruiz, 1977) causado por la inherente variabilidad en los caudales del Río Chubut. En consecuencia eran frecuentes los desastres agropecuarios causados por sequías e inundaciones repentinas (Martínez Ruiz, 1977). Desde la dimensión político-institucional el periodo involucra el pasaje desde la creación autogestiva de canales de riego para productores individuales sin apoyo externo, a un segundo momento también autogestivo pero de gestión asociativa en grupos de pequeños productores; y finalmente un tercer momento de consolidación en un sistema con tres núcleos de organización aislada con distintas infraestructuras, sistemas y reglas de riego (Dumrauf, 1992; Martínez Ruiz, 1977; PROSAP, 2008). En cuanto al acceso a financiamiento y apoyo técnico, a partir del segundo momento iniciado en 1883, el Estado Nacional es un actor que comienza a incrementar su participación mediante la institución ferroviaria como planificadora y ejecutora de sistemas de riego en los Territorios Nacionales creados a mediados de 1880 (Dumrauf, 1992). Pasando a la dimensión económica-productiva, el periodo se caracteriza por la producción de trigo para consumo interno y comercialización en bruto primero mediante intercambios comerciales con Buenos Aires y luego su exportación (Williams, 2015). En relación a esta dimensión el sistema de riego fue diseñado para un modelo de propiedad de la tierra de 100 ha. En cuanto a la dimensión sociodemográfica y cultural se caracteriza por la presencia de inmigrantes galeses con concepciones individualistas de crecimiento, de propiedad privada de las infraestructuras de canales y del recurso hídrico (Williams, 2018).

El segundo periodo inicia en la década de 1910 y se extiende hasta mediados de 1940. Su inicio está marcado por dos cuestiones. Por una parte, desde lo político-institucional se debe a la conformación de la Compañía Unida de Irrigación (CUI) del Chubut en 1912 que significó la unificación de los varios sistemas de riego en uno solo (PROSAP, 2008; FAO, s.f.) y la creciente intervención del Gobierno Nacional mediante financiamiento de obras en 1916 en la zona Boca Toma como el Azud Nivelador y la red de canales al norte y sur del Río Chubut (Beltran y Linqueo, 2017). Por la otra, desde lo económico-productivo se debe al descenso en la producción de trigo, el incremento del cultivo de forrajes (alfalfa) y la consolidación de la cría de ovinos para lana. Esta

transformación productiva en la que la alfalfa se conviene en el principal cultivo del valle en 1910 se debe al cierre de la perspectiva que presentaba la exportación del grano causada por la baja de los costos del trigo y el establecimiento de grandes molinos en la región pampeana (Williams, 2015). A nivel local una proporción cada vez mayor del trigo cultivado se orientaba a la producción de harina en molinos regionales (Williams, 2015). Este periodo además involucra cambios sociodemográficos y culturales vinculados a las migraciones de contingentes europeos que en el ámbito de producción agrícola empiezan a reclamar la propiedad pública de los recursos e infraestructuras hídricas como así también la gestión del Estado Nacional de estas instituciones (Williams, 2018).

El tercer período va desde mediados de 1940 hasta mediados de 1990 y está marcado por la administración nacional de los recursos hídricos y de los sistemas de riego por parte de la empresa pública Agua y Energía Eléctrica mediante la Intendencia de Riego (PROSAP, 2008). Esta acción generó disputas por parte de los productores que administraban la CUI que se oponían a la gestión pública del sistema de riego (Williams, 2015). Una vez superados los conflictos en la década de 1950 se reactiva la inversión en el sistema de riego mediante la realización de algunas obras en los canales, obras de drenaje (PROSAP, 2008), se reacondicionan las infraestructuras existentes y se finaliza la obra del Dique Ameghino en 1963 (Beltran y Linqueo, 2017). De esta forma, el periodo se va a caracterizar por una mayor presencia del Estado Nacional. A nivel económico-productivo se genera un estancamiento en el desarrollo agrícola causado por el abandono generacional del campo (Owen y Sassone, 2020). Además se da una consolidación de la ganadería ovina vinculada al desarrollo urbano de la industria textil local. La obra fundamental del periodo fue la construcción del Dique Ameghino que permitió el control definitivo de variables que habían limitado el desarrollo desde 1880 (Beltran y Linqueo, 2017). Desde los sociodemográficos destaca la llegada de migrantes bolivianos en la década de 1980 que van a ser un actor muy importante para reactivar la dinamización productiva del valle mediante la horticultura (Owen y Sassone, 2020).

Finalmente el cuarto periodo inicia a mediados de 1990 con la descentralización administrativa nacional que en la gestión del agua se puede identificar la provincialización de los recursos hídricos y la administración privada de los productores del sistema de riego. En este periodo se crea la Compañía de Riego que es administrada por los productores. Sin embargo a partir de su creación se ha transitado constantemente momentos de intervención provincial con momentos de carencia de autoridades institucionales (Díaz et al. 2021). A partir de 2001 inició el tránsito de un periodo de normalización que concluyó en 2021 (Díaz et al. 2021). En este periodo se identifican tensiones rurales y urbanas por el recurso hídrico.

Referencias Bibliográficas

Beltran J. y Linqueo, W. (2017). Río Chubut. Un eje de vida en la Patagonia. Editorial Universitaria de la Patagonia. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Crovetto, M. M. (2016). Movilidad espacial cotidiana rural urbana y migraciones temporarias en torno a producciones agropecuarias en diferentes regiones de Argentina: Patagonia Norte, Tucumán y Misiones. LASA Congress (Vol. 27).

Díaz, L. D., Raguileo, D. A., Hernández, M., y Salvadores, F. J. (2021). Caracterización del sistema de riego del Valle Inferior del Río Chubut: análisis desde las representaciones y opiniones de quienes riegan.

Dumrauf C. I. Historia de Chubut (1992). La historia de Chubut. Plus Ultra.

FAO (sin fecha) ÁREAS DE RIEGO EN LA PROVINCIA DE

CHUBUT.

Martínez Ruiz, B. (1977). La colonización galesa en el valle del Chubut. Galerna.

Owen, O. M., y Sassone, S. M. (2020). Caminos para el diálogo intercultural: colectividades migrantes en el Valle Inferior del Río Chubut. Multiculturalismo Multiculturalism, 61.

Pessag, N., Liberoff, A., Salvadores, F., Rimoldi, P., Brandizi, L., Alonso Roldán, V., y Díaz, L. (2021). Emergencia Hídrica 2021-2022: Situación socio-ambiental de las cuencas de los ríos Chubut y Senguer.

PROSAP (2008) VOLUMEN I Proyecto de Modernización del Sistema de Riego y Drenaje del Valle Inferior del Río Chubut. Provincia del Chubut.

Williams F., (2015) Energía hidráulica y molinos harineros en el valle del Chubut. En Cuadernos de Historia Patagónica nro. 3. Centro de Estudios Históricos y Sociales Puerto Madryn.

Williams, F. (2018). Infraestructura y paisaje en la Patagonia argentina: hacia una perspectiva histórica centrada en el recurso hídrico. Paula Nuñez, María Andrea Nicoletti y Andres Nuñez (coords.), Araucanía-Norpatagonia: la fluidez, lo disruptivo y el sentido de la frontera. Bariloche: IIDYPCA CONICET.

DECISORES HÍDRICOS DE BASE FÍSICA. COMITÉS DE CUENCAS.

Teresa María Reyna* y Javier Fernando Schlegel**

* teresa.reyna@unc.edu.ar, ** schlegel_javier@hotmail.com

Introducción

La conformación de decisores hídricos a nivel de cuenca o región están presentes en la mayoría de los lugares del mundo, de diferente integración y estadio llegan a gestionar total o parcialmente el medio hídrico, y mayormente son la solución posible para una gestión integral coordinada cuando el recurso de carácter indivisible posee varios titulares.

La necesidad de formular decisiones integrales a los efectos de resolver problemas relacionados con el sistema hídrico conduce a adoptar unidades de decisión que coincidan con fronteras físicas para una intervención acotada en el territorio. Desde la perspectiva socio-eco-sistémica, la cuenca impactada por la porción de influencia establecida por el hombre es un sistema complejo humano-bio-físico integrado. La naturaleza y diversidad de sus componentes hace que el comportamiento del agua en el espacio físico adoptado no sólo sea producto de las leyes y procesos naturales, sino también de las normas y procesos sociales (Mass Moreno, 2015).

En Argentina a lo largo de los años se fueron conformando un buen número de entidades hídricas, como respuesta a distintas circunstancias y necesidades. Aunque con algunas excepciones, se trata en general de iniciativas independientes, que no responden a un patrón común (Pochat, 2009).

El Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO) formado en 1976, es la muestra de una solución práctica y novedosa en su creación, un antecedente valioso como herramienta administrativa con fronteras físicas.

Enfoques para la Gestión

En la práctica existe una gran diversidad de expresiones a los efectos de materializar las decisiones en el medio hídrico, dependerán del lugar, el enfoque, contexto y demás factores; que terminan por plasmarse en un órgano o plan que en mayor o menor medida se encargará de la gestión del agua. Se expone a continuación una clasificación variable al enfoque que se desee.

A - Orden de desempeño

-Macro-escala: Internacional o Trans-nacional. El acuerdo de Naciones en el manejo de un medio hídrico específico generará órganos transnacionales. Mientras que a nivel internacional el enfoque es orientado al agua en general.

-Meso-escala: Nacional o Intra-nacional. Podrán ser enmarcados y coincidentes con la esfera Nacional; o con predominancia interjurisdiccional, unión de jurisdicciones estatales o provinciales contenidos dentro de una Nación pero con posibilidad de articulación o inclusión del estado Nacional.

-Micro-escala: Predominancia Local, municipios o partidos. Con posibilidad de articulación o inclusión del estado Provincial o estadual.

B - Posibilidad de modificación en el área de incumbencia

-Estructurales. El órgano interviene en la materialización de los proyectos.

-No estructurales. De gestión o acuerdo de estados.

C - Nivel de organización

-Acuerdo de partes entre estados o jurisdicciones.

-Órganos de gestión hídrica.

-Órganos hídricos de decisión total. Le atañe cualquier medida sobre el medio hídrico.

B - Grado de incumbencia en la cuenca

-Hídricos.

-Hídricos + ambientales.

-Hídricos + ambientales + diferentes actividades del hombre (energía, de desarrollo, y demás).

E - Forma de intervención

-Directa.

-Coadyuvante. De concientización y educación, y/o de financiamiento.

F - Amplitud en la participación de las decisiones

-Solo conformado por organismos del estado.

-Con participación en las decisiones de la sociedad civil, a través de consejos, consorcios y/o demás.

-Con participación de órganos no gubernamentales (ONGs, fundaciones, asociaciones, y demás).

Gestión Hídrica

En diferentes sitios en el mundo se ha aplicado una forma de gestión en conjunto ante problemas de interjurisdiccionalidad en el uso del medio hídrico, de esta manera ya desde principios del siglo pasado y aunque no existía una cantidad profusa de normativa como la actual, se recurrió al mecanismo asociativo por cuenca en pos de la coordinación para la resolución del conflicto hídrico. Cabe destacar el Colorado River Compact (CRC), acuerdo firmado en 1922 entre siete estados americanos de la cuenca del río Colorado en el sureste de los Estados Unidos, que regula y asigna cupos del río. La Confederación Hidrográfica del Ebro en España constituida por decreto el 5 de marzo de 1926 e integrada por una Asamblea, Juntas de Explotación, Comisión de Desembalse, Juntas de Obras, Consejo del Agua de la Cuenca, Comité de Autoridades Competentes y la Junta de Gobierno, siendo un organismo federal con la participación real de los actores de la cuenca (CHEBRO). Y la Tennessee Valley Authority (TVA) concebida como una agencia fue aprobada en mayo de 1933 por el Congreso de los EE. UU., con el enfoque de cumplir su misión de gestión integral de los recursos en el Valle de Tennessee (TVA).

De igual forma en Argentina los conflictos, problemáticas o planificación hídrica entre estados suscitaban búsquedas de diferentes formas de soluciones que iban por delante de normas generales establecidas a los efectos regulatorios. Como por ejemplo el acuerdo entre Argentina y Paraguay creando una comisión mixta en 1939, o el primer estatuto aprobado por reunión de cancilleres por la Cuenca del Plata (CIC) en 1968. Mientras que en forma interna se generaban conflictos como el de La Pampa con Mendoza con la elaboración del sistema de presas los Nihules (1947) derivando en el fallo de 1987 que establecía en su primer enunciado que el Río Atuel es

interprovincial. Problemáticas de inundaciones como en las localidades de El Bolsón y Epujén en 1969 que termino en la formación del ACRA, o la búsqueda de una planificación hídrica adecuada en la provincias del Río Colorado (Neuquén, Mendoza, Río Negro, La Pampa y Buenos Aires) a través de un programa único de distribución de caudales elaborados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y consecuente órgano para su aplicación y contralor el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO).

La reforma de la Constitución Nacional (CN) en 1994 lejos de tratar la temática hídrica interjurisdiccional genero una división administrativa del recurso hídrico presente en más de un estado en su art. 124. Esto dio por resultado la ley 25.675 Ley General del Ambiente (LGA), y la ley 25.688 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas (RGAA) ambas del 2002.

En Argentina hasta la fecha no se posee una ley Nacional de Aguas, pero se debe resaltar en 2003 en el marco de lo que luego sería el COHIFE el acuerdo de casi todas las jurisdicciones (con excepción de San Luis y Catamarca) que componen el país en la creación de los Principios Rectores de Política Hídrica (PRPH) de la República Argentina, como también la presentación en 2007 del Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos (PNFRH) y en 2010 del Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas (PNFAS).

Respecto a la intervención cada vez más frecuente de la Corte Suprema de Justicia (CSJ), en lo que va del siglo XXI se da en casos diversos sobre el mismo río o cuenca, o en el mismo caso, que se mantiene abierto sine die, y puede tener como objeto principal diferentes dimensiones como escasez o disponibilidad, inundación, contaminación, preservación, y demás. El conflicto puede originarse en un tema puntual, pero luego se mantiene indefinidamente en tribunales, ya sea por su falta de resolución, por la mutación de las pretensiones o por la incorporación de otras nuevas. Tal vez sobrepasada por este nuevo rol, la CSJ se muestra errática en cuanto a la asunción de su competencia y en la gestión de estos conflictos, aceptando su intervención en ciertos casos, declinándola en otros como los del río Reconquista o disponiendo medidas y sustanciando ciertos aspectos de la causa para luego rechazar la competencia en forma distinta a lo reglado por el Código Procesal Civil y Comercial de la Nación (art. 196), como ocurrió respecto del río Santa Cruz. Al final del día, ese proceso de intensa y creciente judicialización sobre la gestión de los principales ríos y cuencas interprovinciales del país parece no detenerse ni encontrar un cauce adecuado (Liber, y otros, 2020). Y es que la CSJ cae en el proceso de gestión atendiendo a la problemática sobre la cual se le solicita resolución, sin dilucidar su real rol de estamento juzgador, sentenciador de los responsables.

En cuencas o regiones interjurisdiccionales las titulares hídricas son las provincias (todas por donde discurre el recurso), con la Nación como actor articulador necesario, y todos en un sistema de gestión son culpables si no existe resolución de los problemas, pero munidos del empoderamiento necesario para ser los decisores reales sobre todo el medio hídrico indivisible.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado

La cuenca del río Colorado, involucra a las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, atravesando la Patagonia argentina desde la Cordillera de los Andes hasta desaguar en el Océano Atlántico. Su principal curso de agua, que le da el nombre, nace de la confluencia de los ríos Grande (que le aporta un 70% de su caudal) y Barrancas.

De régimen nival, su período de crecientes se inicia en octubre, alcanza su máximo en diciembre y retoma en marzo con niveles menores a la media anual. El caudal medio anual histórico es de

148 m³ /s (Buta Ranquil), con el cual se abastece de agua para consumo humano a todas las áreas ribereñas; se riega en la cuenca una superficie que ha llegado a las 150.000 hectáreas, especialmente en las provincias de La Pampa, Río Negro y Buenos Aires, con sistemas de riego de considerable infraestructura; y se cubren otros usos consuntivos vinculados a actividades petroleras, mineras e industriales (Pochat, 2009).

El estudio de modelación del Río Colorado realizado por miembros de la División de Recursos Hídricos del Departamento de Ingeniería Civil del MIT, se inició en septiembre de 1970 y los resultados fueron presentados en una serie de informes a la Secretaría de Estado (después Subsecretaría de Recursos Hídricos) que se completaron en 1973. Luego se llegó a un acuerdo sobre un plan de desarrollo para el Río Colorado en base a los resultados del estudio en 1976, que se plasmó en el "Programa Único de Habilitación de Áreas de Riego y Distribución de Caudales del Río Colorado", transformándose en ley acuerdo aprobada por las cinco jurisdicciones Provinciales (1976) y por ley Nacional en 1977 (Ley Nacional N° 21.611) con el nacimiento aparejado de la autoridad de control del COIRCO.

Como mecanismo administrativo de control y fiscalización del programa de áreas de riego, el COIRCO es el primer organismo de cuenca del país, conformado por dos estamentos, el Comité Técnico, constituido por un representante titular y alterno de cada provincia de la cuenca más un representante del gobierno Nacional que oficia de presidente del cuerpo en el nivel técnico, y el Consejo de Gobierno, conformado por los cinco gobernadores junto al Ministro del Interior de la Nación, que a la vez ostenta la presidencia del Consejo. En agosto de 1956 en Santa Rosa, La Pampa, se da la 1ª Conferencia de Gobernadores de las provincias pertenecientes a la cuenca del Río Colorado, esto abre una etapa técnica-política que desencadena en la 6ª Conferencia de Gobernadores en octubre de 1976 en Buenos Aires, con todas las provincias que integran el Río Colorado presentes, se firma el acuerdo del Río Colorado.

Conclusiones

En materia de aguas compartidas la Argentina posee experiencia tanto o más que respecto a otros países de la región o en otros sitios del mundo.

El cumulo de acciones, en pos de resolver conflictos, o problemas de escases o exceso hídrico ha hecho que las decisiones no confluyan a una receta única y sea más bien un abanico de posibilidades ante los hechos que ameritan una resolución. Esto responde a la escasa normativa existente en la materia, hecho que se intenta revertir en el presente siglo, pero la vida de las instituciones y sus necesidades de acuerdos pueden ser lentas en consideración a los problemas en cuencas con más de un titular.

Referencias

- Ley Nacional N° 21.611 (1977).** ACUERDOS PROVINCIALES. Apruébese el acuerdo celebrado entre las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro. "Programa Único de Habilitación de Áreas de Riego y Distribución de Caudales del Río Colorado". **Código Procesal Civil y Comercial de la Nación.** Artículo 196.
- Liber, M., & Juan, J. (2020).** DPI Cuántico. (R. Arrúa, J. Galoto, M. Palacios, C. Papini, & D. Corbani, Edits.) Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de Diario Administrativo.
- Mass Moreno, J. M. (2015).** *El manejo de cuencas desde un enfoque socioecosistémico.* Cuencas de México, 3-8.
- Pochat, V. (2009).** *Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: experiencia de Argentina.* En CEPAL, Serie Recursos Naturales e Infraestructura (pág. 59). Santiago de Chile.

FORTALECIMIENTO A DOS ASOCIACIONES DE ACUEDUCTOS VEREDALES DEL MUNICIPIO DE ANORÍ, COLOMBIA. EPM-UDEA, 2021-2023

Davinson Salazar¹, Tatiana Sierra², John Soto³, Adriana Torres⁴ y Camila Jiménez⁵

¹ UdeA, Cra 43 N° 63-29 Int 102- Medellín, Cel.: 3016509698, E-mail: davinson.salazar@udea.edu.co

² UdeA, El Carmen de Viboral, Cel.: 3117472135, E-mail: tsieracano@gmail.com

³ UdeA, Cra 107B N° 44-39 Medellín, Cel.: 3108441522, E-mail: johnf.soto@udea.edu.co

⁴ EPM, Cra 33 N° 01-48 C160 Medellín, Cel.: 3005764744, E-mail: adriana.Torres@epm.com.co

⁵ EPM, Diagonal 50ª N° 32-200, apto 1503 Bello, Cel.: 3014534446, E-mail: camila.jimenez@epm.com.co

Introducción

Los acueductos veredal El Limón y multiveredal El Retiro, La Hondoná y El Roble, se encuentran ubicados en el municipio de Anorí, en la subregión Nordeste del departamento de Antioquia, en área de influencia directa de la hidroeléctrica Porce III de Empresas Públicas de Medellín (EPM), aproximadamente a 147 kilómetros de la capital del Departamento (EPM, 2011).

Los sistemas abastecen en la actualidad a 263 familias, 77 en la vereda El Limón y 186 en las veredas El Roble y El Retiro.

Desde el momento de la operación de los sistemas, estos han sido administrados por dos asociaciones de usuarios, una para el veredal y, otra, para el multiveredal, cuyas mesas directivas se componen por personas de la comunidad que, a su vez, se dedican a actividades agrícolas, pecuarias, oficios del hogar y contratistas para EPM en formación técnica. Son múltiples los retos que han enfrentado desde el inicio de la operación de los sistemas.

EPM, en convenio con la Universidad de Antioquia, ha acompañado desde el año 2017, la gestión de las asociaciones de usuarios, propendiendo por el fortalecimiento de las mesas directivas y, a través de ellas, de la comunidad en general. Dicho fortalecimiento, se brinda por medio de capacitaciones y asesorías en aspectos técnicos, operativos, administrativos, legales, financieros, contables, ambientales y sociales.

Objetivo general

Fortalecer a las asociaciones de usuarios de los acueductos veredal El Limón y multiveredal El Retiro, La Hondoná y El Roble en los aspectos técnicos – administrativos por medio de capacitaciones, asesorías y acompañamiento a los integrantes de las mesas directivas y a los fontaneros, con el propósito de dejar capacidad instalada para la sostenibilidad presente y futura de los sistemas.

Marco teórico

Según el pronunciamiento de la ONU A/64/L.63/ Rev.1, resolución del 26 de julio de 2010, el agua potable y el saneamiento son un derecho humano esencial, lo cual genera para los Estados obligaciones exigibles por parte de los particulares (Echeverría Molina & Anaya Morales, 2018).

Históricamente, los acueductos han sido una necesidad en el país debido a la falta de acceso a agua potable y a la presencia de enfermedades relacionadas con el agua, especialmente en zonas rurales y marginales (Sánchez Talero & Torres Serrano, 2001).

Las comunidades organizadas por su parte, se ubican principalmente en las áreas rurales y las periferias de las ciudades, siendo la respuesta de la comunidad a la ausencia del Estado y a la imposibilidad de un mercado para expandirse a lo rural (Torres Serrano & Sánchez, 2021); es por esto que, la gestión que realizan para prestar el servicio público del agua potable es de gran importancia, aunque no sean significativamente visibles (Cadavid, 2009).

Metodología

Proceso de fortalecimiento institucional y comunitario dirigido a

las asociaciones de usuarios de los acueductos veredal El Limón y multiveredal El Retiro, La Hondoná y El Roble, mediante espacios de asesoría, capacitación, acompañamiento y entrenamiento técnico administrativo.

Ejes de acción



Figura 1. Ejes de acción del proceso de fortalecimiento con las asociaciones de usuarios

Resultados

Cumplimiento de normatividad sanitaria

Se evalúan cinco aspectos principales: Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), Índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp), Buenas Prácticas Sanitarias - BPS, Buenas Prácticas Sanitarias en el Sistema de Distribución - BPSRED y Buenas Prácticas Sanitarias en Documentos y Comunicación – BPSDYC; evalúa y asigna un valor para cada uno de los ítems que contiene cada uno de estos aspectos, en la **Tabla 1** se definen los rangos y el nivel de riesgo al que corresponde el servicio de agua suministrado por la persona prestadora del servicio.

Tabla 1. Puntajes de cumplimiento en la visita de inspección sanitaria al sistema de tratamiento de agua potable.

Cumplimiento de la visita de inspección sanitaria	
Índice de Calidad del Agua (IRCA)	
Índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp)	
Calificación de la Persona Prestadora por Buenas Prácticas Sanitarias – BPS, BPSRED y BPSDYC	
Sin riesgo	0
Riesgo bajo	10,1 - 25
Riesgo Medio	25,1 - 40
Riesgo alto	40,1 - 70
Riesgo muy alto	70,1 - 100

Desde el año 2022 se han realizado diferentes intervenciones técnicas y operativas para mejorar la calificación sanitaria, las cuales han permitido aumentar el puntaje de cumplimiento en las visitas de inspección sanitaria, tal como se puede observar en la **Tabla 2** y **Tabla 3**, excepto en IRCA del acueducto Multiveredal que tiende a aumentar debido a la ausencia del tratamiento óptimo al agua.

Tabla 2. Puntajes de cumplimiento de visita de inspección sanitaria al sistema de tratamiento de agua potable del acueducto El Limón.

Aspecto	Resultados			
	2022	Riesgo	2023	Riesgo
1. Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA)	65	Alto	0	Sin riesgo
2. Índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp)	35	Medio	15	Bajo
3. Buenas Prácticas Sanitarias - BPS	16	Bajo	6	Sin riesgo
4. Buenas Prácticas Sanitarias en el Sistema de Distribución - BPSRED	4	Sin riesgo	4	Sin riesgo
5. Buenas Prácticas Sanitarias en Documentos y Comunicación - BPSDYC	15	Bajo	4	Sin riesgo

Tabla 3. Puntajes de cumplimiento de visita de inspección sanitaria al sistema de tratamiento de agua potable del acueducto El Retiro, La Hondoná y El Roble.

Aspecto	Resultados			
	2022	Riesgo	2023	Riesgo
1. Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA)	72.4	Muy Alto	97.9	Muy Alto
2. Índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp)	30	Medio	30	Medio
3. Buenas Prácticas Sanitarias - BPS	14	Bajo	14	Bajo
4. Buenas Prácticas Sanitarias en el Sistema de Distribución - BPSRED	4	Sin riesgo	0	Sin riesgo
5. Buenas Prácticas Sanitarias en Documentos comunicación - BPSDYC	17	Bajo	4	Sin riesgo

Fortalecimiento técnico administrativo

Mediante las asesorías brindadas a las mesas directivas se ha logrado el fortalecimiento técnico administrativo de las asociaciones y el cumplimiento de los requerimientos legales exigidos por las entidades competentes; es de aclarar que, la figura de asociación sin ánimo de lucro conlleva a ser objeto de inspección, vigilancia y control por las entidades competentes desde el principio de asociatividad consagrado en la Constitución Política de Colombia, sin embargo, para dar cumplimiento a la Ley sería necesaria la inscripción en Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y cumplir la reglamentación de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, instancias en las cuales, para las asociaciones de interés, no es posible en el momento realizar dicha inscripción por la falta de recurso y la imposibilidad de dar cumplimiento a los requisitos exigidos.

Tratamiento del agua, control y seguimiento de la calidad

Las acciones más frecuentes que se han realizado en compañía de los fontaneros - operarios de las plantas de tratamiento son las siguientes:

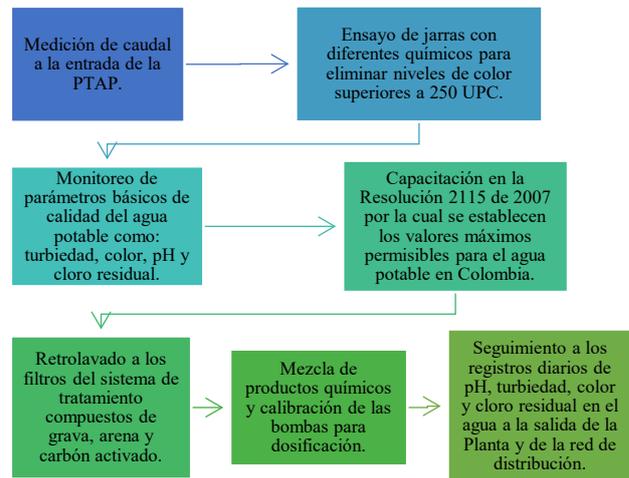


Figura 2. Acciones de seguimiento y control a los sistemas de tratamiento de agua.

Análisis y viabilización de alternativas de sostenimiento

Se han realizado diferentes reuniones con las mesas directivas de los acueductos para analizar el sostenimiento, donde se ha concluido que, bajo el contexto actual, vía tarifa no son sostenibles, debido a que, a la fecha son pocos los usuarios comparado con el número de suscriptores requerido para alcanzar el equilibrio financiero; subir la tarifa en el momento no es viable por las condiciones socioeconómicas de las familias.

Se avanza en la instauración de una mesa interinstitucional de diálogo, análisis y reflexión para buscar alternativas de sostenimiento futuro con las entidades interesadas en la prestación eficiente del servicio público de agua potable.

Conclusiones

- Actualmente, de acuerdo a la capacidad de pago de las familias de las veredas El Limón, El Roble y El Retiro y dado el bajo número de suscriptores, es insostenible la operación y funcionamiento de los sistemas vía tarifa.
- Por medio del fortalecimiento se ha logrado avanzar de manera significativa en el cumplimiento de la normatividad sanitaria.
- A la fecha las asociaciones cumplen con los requerimientos legales que desde el principio de asociatividad le exige la normatividad colombiana.
- Las mesas directivas, actualmente, se encuentran gestionando una mesa de análisis, reflexión y propuestas de solución con las instituciones competentes e interesadas en el correcto funcionamiento de los sistemas, para hallar los mecanismos de financiación que garanticen a largo plazo la sostenibilidad.

Referencias

- Cadavid, N. (2009). Acueductos comunitarios: Patrimonio ambiental y social del Valle de Aburrá. *Avances en Recursos Hidráulicos*(20), 57-64.
- Echeverría Molina, J., & Anaya Morales, S. (30 de mayo de 2018). El derecho humano al agua potable en Colombia: decisiones del estado y de los particulares. *vniversitas*(136). doi:https://doi.org/10.11144/javeriana.vj136.dhap
- EPM. (2 de septiembre de 2011). Porce III empezó en plena operación comercial. obtenido de boletín informativo EPM: https://www.epm.com.co/site/portals/0/medios_de_comunicacion/boletines_de_prensa/porceiii_op_ccial.pdf
- Sánchez Talero, J. F., & Torres Serrano, R. M. (2001). experiencias de acueductos comunitarios en Colombia, 1994-2020. *administración & desarrollo*, 51(1), 110-124.
- Torres Serrano, R., & Sánchez, J. (2021). Experiencias de Acueductos Comunitarios en Colombia, 1994-2020. *administración & desarrollo*, 51(1), 110-124.

APLICACIÓN DE LOS DATOS DE LA RED HIDROLÓGICA NACIONAL ARGENTINA EN LA GENERACIÓN DE UN MAPA PRELIMINAR DE OBSERVACIÓN DEL ODS 6.3.2

Sosa, M.; Jakomin, L.M.; Panepucci, M.; Sanzone, Y.

Dirección de Sistemas de Monitoreo de los Recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas. Argentina
msosa@obraspublicas.gob.ar, mjakomin@obraspublicas.gob.ar, mpanepucci@obraspublicas.gob.ar, ysanzone@obraspublicas.gob.ar

Resumen

Desde junio de 2018 la Red Hidrológica Nacional dependiente de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, Dirección de Sistemas de Monitoreo de los Recursos Hídricos (Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal, Subsecretaría de Planificación y Gestión Operativa de Proyectos Hídricos, Ministerio de Obras Públicas) ha generado información de calidad de agua a través de la medición de los parámetros involucrados en el indicador 6.3.2 de la Agenda 2030. En más de 120 estaciones de monitoreo a lo largo del territorio argentino, los datos son relevados usando Buenas Prácticas de aseguramiento y control de calidad tanto en campo como en laboratorio. La armonización de métodos analíticos y de toma de muestras asegura la generación de datos comparables en toda la extensión nacional. El uso de una base de datos relacional, BICA, construida *ad hoc* facilita el ordenamiento sistemático, los cálculos y la opción de selección de valores objetivo específicos para los componentes, a la espera de que los diferentes Comités de Cuenca decidan sus propios valores objetivo en un país federal en el cual los Recursos Hídricos son, por ley, propiedad de las provincias. El uso de la herramienta SIG permite la rápida visualización de un Mapa Nacional de Observación del ODS 6.3.2. sobre cuerpos de agua en buen estado, dinámico y actualizado. Simultáneamente la Red Hidrológica Nacional, en un proceso activo, se retroalimenta, mejora, actualiza y optimiza sus recursos hacia un Nivel 2 de observación del ODS 6.3.2 en lagos, lagunas y embalses con la inclusión de nuevos parámetros como clorofila, sólidos suspendidos y alcalinidad en agua.

Introducción

Las mediciones de calidad de agua realizadas en estaciones de la Red Hidrológica Nacional (Fig. 1), la forma en que los datos se organizan y su posterior manipulación inciden en la posibilidad de un análisis fructífero. En este marco se construyó una base de datos relacional (BICA) que ofrece un formato consistente para el almacenamiento y consulta de datos de calidad de agua relevados en más de 120 estaciones de monitoreo del país desde el 2018 a la fecha.



Figura 1.- Medición de parámetros en campo en estaciones de la RHN

Con la posibilidad adicional de albergar datos de otros proveedores, resulta una forma novedosa de organizar y

sistematizar información superando obstáculos inherentes al manejo de datos provenientes de fuentes diversas almacenados en archivos de otros formatos. En este trabajo se presenta el diseño lógico de una Base de Datos de Calidad de Agua interna, que a través de modelos relacionales permite acceder a series de tiempo y manipularlas facilitando la obtención de información a través de la organización de consultas específicas y flexibles, el aprovechamiento de toda la información adicional que rodea a un resultado y la elaboración de informes. En este caso la herramienta BICA se aplica a la elaboración de un Mapa Preliminar de Observación del ODS 6.3.2. El uso de esta base de datos representa una nueva herramienta para abordar la gestión, publicación y análisis de datos pasando sistemáticamente de colecciones de archivos de hojas de cálculo a un modelo de datos relacional que elimina la carga desde diferentes archivos.

Diseño de la Base de Datos BICA

Conforme a las buenas prácticas de construcción de bases de datos, la Base de Datos BICA se diseñó para contener varias tablas que almacenan información respetando su atomicidad, es decir cada tabla representa solo un aspecto específico de los datos (Fig. 2). Así la tabla central *Muestreos* reproduce la información contenida en las Planillas de campo del Manual de Muestreo de la RHN. La tabla reúne los conceptos de *Muestreo*, o sea toda la información relacionada con la presencia en un sitio en una fecha dada, la toma de muestras por parte de un determinado personal, condiciones que se encontraron y una serie de medidas que se toman en campo. La tabla *Muestras* reúne la información almacenada en la Planilla de Cadena de Custodia. Cada muestra corresponde a una serie de resultados de análisis informados por el laboratorio responsable. A cada muestra le corresponderá un *Valor_Informado* así como también un conjunto de valores ingresados por un técnico de la Supervisión de la RHN directamente de los protocolos de laboratorio o *Valores_Fuente*. De esta manera la base también constituye una herramienta de control de calidad (QC) ya que cada *Valor_Fuente* debe tener una imagen especular en *Valor_Informado*. Del mismo modo, el resto de las tablas que componen la base contienen información de Parámetros, Métodos, Tipo de Métodos, Laboratorio, Analista, Instrumentos involucrados, Calificación de Equipos, Registro de número de series, metadatos o información contextual, etc.

La conformación en tablas por temas evita la redundancia de la información. Las tablas están unidas por flechas que indican una relación única, direccionalidad y cardinalidad, así, por ejemplo, 1 a ∞ indica que se pueden asociar infinitas variables con un dato, con ese dato exacto. Esto permite, por ejemplo, que muestreos múltiples estén asociados a un único lugar de monitoreo asegurando la integridad de los datos. De esta forma se pueden generar consultas *ad hoc* o utilizar las existentes almacenadas previamente. La base BICA se caracteriza por estar construida con el uso de lenguaje controlado con una definición única e inequívoca. De esta forma se favorece la precisión en las búsquedas y la descripción de variables que pueden ser no objetivas. El diseño de la base asegura la integridad de los datos ya que las relaciones establecidas la están reforzando, evitando cambios no intencionados en la información (los datos se registran exactamente como se pretendía y, al recuperarlos más tarde, los datos se definen sin ambigüedades, por ejemplo, por ubicación y el parámetro que representan).

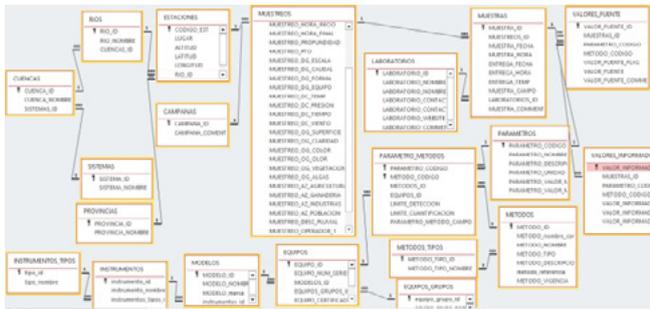


Figura 2.- Relaciones en la Base de Datos BICA RHN

Cálculo del Indicador del ODS 6.3.2

El Indicador 6.3.2 de los ODS tiene como objetivo hacer un seguimiento del progreso hacia la Meta 6.3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible, que se formula como: 'Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertido y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de agua no tratada y aguas residuales, y aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial'. Esto se hace siguiendo la proporción de cuerpos de agua que tienen un origen principalmente antropogénico, comparándolos con los valores objetivo de calidad del agua elegidos por los propios países, que representan una calidad de agua "buena" según sus estándares. Para el presente trabajo se establecieron valores objetivo utilizados por varios países indicados en el Tabla 1 (Warner, 2020). Como Argentina es un país federal, cada provincia es dueña de sus Recursos Naturales teniendo potestad para escoger sus propios valores objetivo. Los valores aquí presentados podrían reemplazarse por otros adoptados por las respectivas provincias o por Comités de Cuenca.

Tabla 1.- Valores Objetivo ODS 6.3.2

Cond.	pH	O. D.	N total	P-PO4
[µS/cm]	[Unidades]	[mg/l]	oxidable [mg/l]	[mg/l]
P25-P75	7 - 9	6,0 - 12,0	< 1	< 0,100

La consulta realizada a la Base BICA arrojó el valor del 61,42% de agua de buena calidad para todo el país para el periodo de reporte actual entre 2020 y 2022. Estos resultados están en línea con el estado mundial, donde el 60% del total de los cuerpos de agua se reportan como de 'buena' calidad de agua (UNEP, 2021). Estos resultados se obtuvieron utilizando solo los datos de la RHN y solo un conjunto de valores objetivo estándar recomendados que no tienen especificidad con respecto a los valores objetivo individuales que podrían elegir las provincias argentinas. Por lo tanto, anticipamos la potencialidad de la inclusión de otras fuentes de datos para agregar información y generar valores más representativos en el Mapa de Observación Preliminar de ODS 6.3.2. en Argentina (Figura 3).

Conclusiones

El mapa preliminar de Observación de ODS 6.3.2 en Argentina es el primer producto a nivel nacional que se presenta como una herramienta práctica para estudiar la evolución del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua en diferentes periodos. Permite además identificar las zonas de mayor incumplimiento, los vacíos de información y proyectar su uso para, mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica, estudiar la incidencia de otros efectos deletéreos sobre el agua como la escasez de plantas de tratamiento o

tratamiento de baja efectividad, industrialización, agricultura e impacto antrópico en zonas de la Argentina con una diferencia climática y de uso de suelo bien marcada. También ejemplifica la importancia de un buen manejo de datos, la necesidad de una herramienta integradora para almacenar o compartir información, trabajando en conjunto provincias y jurisdicciones con el objetivo de reflejar de manera representativa el estado de la calidad las masas de agua de nuestro país. El estado reflejado aquí, solo contempla los ríos del país. Sin embargo, moviliza a la materialización de futuros monitoreos de calidad de agua no solo de lagos, lagunas y embalses, sino, además, de agua subterránea. Asimismo, incentiva a iniciar actividades que permitan evaluar la condición de los cuerpos de agua en un Nivel 2 de Monitoreo del ODS 6.3.2 con la incorporación de parámetros específicos de medición in situ y que involucren, entre otras cosas observaciones de la tierra. Para lograr esto, estamos solicitando a las autoridades provinciales su cooperación para definir valores objetivo de calidad del agua que nos permitan evaluar el estado de los cuerpos de agua en sus respectivas jurisdicciones con respecto al Indicador 6.3.2 de los ODS y cumplir con nuestros reportes y compromisos asumidos con Naciones Unidas.



Figura 3.- Mapa Nacional Preliminar de Observación del ODS 6.3.2

Agradecemos al Profesor PhD Dmytro Lisniak, perteneciente al conjunto de excelentes profesores de la Maestría Freshwater Quality Monitoring and Assessment y miembro de GEMSWater, por su permanente enseñanza e incondicional presencia para el logro del manejo de datos calidad de agua de la RHN y la producción de material que resulte un estímulo y refleje el esfuerzo de todos los responsables de la ejecución de las actividades de nuestra Red Hidrológica Nacional.

Bibliografía

- United Nations Environment Programme (2021).** Progress on ambient water quality. Global indicator 6.3.2 updates and acceleration needs.
- University College Cork-GEMSWater (2022).** Data Handling, Assessment & Presentation for Freshwater Quality Monitoring. From MSc Freshwater Quality Monitoring and Assessment.
- Warner, S. (2020).** SDG Indicator 6.3.2 Technical Guidance Document Nro 2. Target Values.

PORTAL DE INFORMACIÓN HÍDRICA DE CÓRDOBA (PIHC)

César Suaya¹ - Alejandro Aleksinkó¹ - Victoria Chiodi¹ - Tomás Agustín Moyano Reartes² - Gino Mosconi² - Guido Briones² - Jonas Olmos²

¹ Administración Provincial de Recursos Hídricos APRHI. Humberto 1° 607, Córdoba, CP 5000 Provincia de Córdoba
Tel. 0351-4321200 cesarsuaya@gmail.com alejandro.aleksinko@cba.gov.ar ingvictoriachiodi@gmail.com

² Ciampagna. Pasaje Santo Tomás 341, Córdoba, CP 5000 Provincia de Córdoba Tel. 0351-4259096
tomas.moyano@ciampagna.com gino.mosconi@ciampagna.com.ar guido.briones@ciampagna.com jonas.olmos@ciampagna.com.ar

Introducción y objetivos

La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership – GWP) define la gestión integrada del agua como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. (GPW, 2000)

Las intervenciones humanas, los sistemas socioeconómicos cambiantes, y los sistemas naturales cambiantes, son procesos que hacen necesario el seguimiento de las variables de cantidad y calidad de los recursos hídricos, y el manejo sistematizado de la información para que la toma de decisión permita elaborar y proponer alternativas, basadas en el conocimiento del medio sobre el cual se gestiona.

Es así que el proyecto PIHC de la Administración Provincial de los Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (APRHI), surge de reconocer la relevancia del agua para la sociedad, su valoración como recurso fundamental para la vida y el desarrollo, y la necesidad de gestionarla de manera integrada.

Se trata de un portal web el cual tiene como objetivo general ofrecer herramientas con información hídrica de la provincia de Córdoba, disponible desde cualquier lugar y momento en forma permanente, y que se adopte como instrumento de soporte para la toma de decisiones.

Los objetivos específicos sobre los que se trabaja son:

- La implementación de un Portal con información hídrica de la provincia.
- La sistematización de la información proveniente de las distintas áreas de la APRHI.
- La integración y validación de los datos procesados.
- La optimización del registro y catastro del recurso hídrico.
- La implementación de buenas prácticas de trabajo para el manejo de datos.
- El desarrollo de sistemas de información temáticos.
- El desarrollo de visores o visualizadores temáticos.
- El desarrollo de aplicaciones de edición específicas.

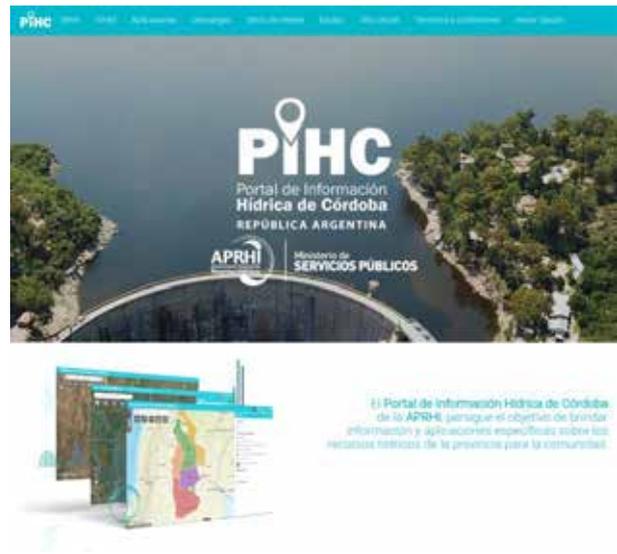


Figura 1.- Portada del PIHC.

Desarrollo

La administración provincial de Recursos Hídricos APRHI, en el año 2017 se propuso desarrollar, a través de la Dirección de Planificación y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, un portal de información hídrica georreferenciada, cuyo fin fuese la integración de la información dispersa en la Administración, y ponerla a disposición de la comunidad profesional interna, y externa, accesible desde cualquier lugar y momento, y además se transforme en una herramienta útil para la toma de decisiones, con la información procesada y validada por las diferentes áreas de la repartición.

Actualmente el desarrollo del Portal se encuentra en etapa de actualización, y en proceso de revisión constante para lograr una mejora en su funcionamiento. Si bien en un principio, se planteó la necesidad de desarrollar, solo un sistema de información geográfica (SIG), se decidió ampliar el desarrollo a fin de obtener un Portal que pudiera contener, no solo un SIG, sino también aplicaciones diversas que puedan ser útiles a la gestión de los recursos hídricos y al público en general. De esta manera, el Portal se estructuró en una versión pública y una versión interna.

El PIHC en su versión pública, tiene como finalidad brindar información para la comunidad en general, la cual se presenta agrupada en aplicaciones desarrolladas para las distintas temáticas abordadas desde la APRHI. En cambio, el Portal en su versión interna, busca brindar herramientas de trabajo específicas para cada área de la repartición y así responder de manera más eficiente al tener la información sistematizada y organizada.



Figura 2.- Esquema de la estructura del PIHC.

Conclusiones

La APRHI a través del PIHC publica datos, productos y servicios relacionados a los recursos hídricos de la provincia de Córdoba, facilitando el acceso, siguiendo los estándares que aseguran la interoperabilidad y el uso de los mismos.

Disponer de un sistema de gestión del agua, que permita intervenir sobre el recurso, y el territorio (cuenca), responde a las acciones que delimitan los principios rectores de la política hídrica de la República Argentina, y sobre la cual la APRHI viene trabajando desde 2017, con un trabajo conjunto con otras reparticiones de la provincia, y también a nivel nacional.

El PIHC ha contribuido a identificar la interrelación territorial con otras áreas de las ciencias, en pos de planificar, implementar y evaluar políticas públicas que contribuyan, y promuevan, el cumplimiento del ODS 6 para garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible.

Link: <https://portal-aprhi.opendata.arcgis.com/>

Referencias

GWP (Global Water Partnership) (2000), Manejo integrado de recursos hídricos, septiembre de 2000, Estocolmo, Suecia. Revisado en: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>

EL ACUÍFERO LIBRE DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA,

¿ES APTO PARA EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS?

Tarditti, Andrés Jesús¹, Heredia, Olga Susana¹ y Casas, Cecilia^{1,2}

¹ Catedra de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

² IFEVA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina

E-mail de contacto: atarditti@agro.uba.ar

Introducción

El acuífero subterráneo es uno de los recursos hídricos más utilizados en explotaciones agropecuarias. El desarrollo de la ganadería está íntimamente ligado a la disponibilidad de agua de calidad (Fernández Cirelli et al., 2010) mientras que el riego complementario es clave en la intensificación agrícola en regiones áridas y subhúmedas nacionales (Giubergia y Rampoldi 2017). El estudio de la hidroquímica de los acuíferos subterráneos nos provee el conocimiento necesario para tomar decisiones acerca de su uso.

Algunos acuíferos subterráneos no pueden utilizarse dada su alta salinidad o por la presencia de elementos tóxicos de origen natural o antrópico. El arsénico (As) es un metaloide de alta toxicidad presentes de manera natural en los acuíferos de llanura Chaco-pampeana (Smedley et al., 2002). El sudeste de Córdoba es una de las zonas más afectada con concentraciones entre > 10 a 2000 ppb en aguas subterráneas (Blarasin et al., 2014).

Utilizar acuíferos no aptos reduce la productividad debido a procesos de salinización de suelos (Rengasamy 2010) y, a enfermedades en animales que podrían afectar la salud humana (Heredia 2016, Volpeo et al., 2016, Ali y Khan, 2019). Se plantea como objetivo caracterizar hidroquímicamente el acuífero libre del sudeste de la prov. de Córdoba y determinar su aptitud de uso.

Materiales y Métodos

En el departamento Unión, entre las localidades de Chazón, Páscanas y Laborde, dentro la Planicie fluvio-eólica central se seleccionaron tres áreas altimétricas contrastantes siguiendo la pendiente regional (E1 > E2 > E3, Figura 1, superficie total 1518 km²). En cada área se identificaron 5 ambientes (15 sitios) según el comportamiento superficial del suelo: Loma (L): de mayor cota, Media Loma (ML): transición hacia zona deprimidas topográficamente (ambas de uso agropecuario), Cynodon (C): ambiente dominado por *Cynodon dactylon* (L.) Pers (Gramón), Distichlis (D): dominado *Distichlis spicata* (L.) GREENE (Pelo de Chancho) y Salino (S): ambiente costra salina superficial de 2 cm aproximadamente (Figura 2). C, D y S se encuentran en ambientes topográficamente deprimidos. En cada sitio se instaló un frentímetro. Se hicieron muestreos estacionales, desde febrero de 2019 hasta diciembre de 2021. Se midió la conductividad eléctrica (CE), el pH y se determinó cationes y aniones mayoritarios que fueron analizados a través de diagramas de Piper (Piper, 1944) y diferentes relaciones iónicas. En la primavera 2019 se determinó la concentración de As a través de ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma acopado Inductivamente)

Resultados

Los valores de CE y pH indican que el acuífero libre fue salino y ligeramente alcalino a alcalino en todas las áreas y ambientes. Los valores de CE estuvieron entre 3000 y 33000 uS.cm⁻¹ (Figura 3). El área de mayor altitud (E1) tuvo valores medios de 11637 uS.cm⁻¹ siendo salino sin diferenciarse entre ambientes. Las menores CE se encontraron en la Loma y Media Loma de altitud intermedia (E2; 4457 uS.cm⁻¹) aumentando hacia los ambientes deprimidos siendo todos salinos. Los ambientes del área de menor altitud (E3) tuvieron los valores más alto de CE con

valores medios de 12084 uS.cm⁻¹ en la Loma, Media Loma y Cynodon y, de 24340 uS.cm⁻¹ en Distichlis y Salino. Los valores medios de pH fueron de 7,8 en el área de mayor altitud. En el área intermedia y baja fueron, Loma y Media Loma los más altos con 8,32 y 8,1, respectivamente. En los demás ambientes los valores disminuyeron, siendo más alcalinos en el área intermedia (8,1 y 7,8; Figura 4)

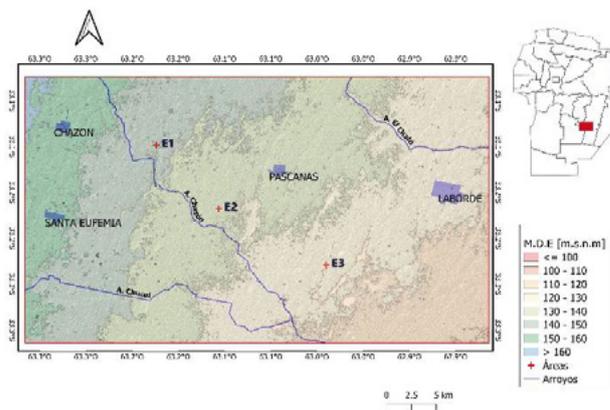


Figura 1.- Ubicación del área de estudio sobre Modelo Digital de Elevaciones (M.D.E) en m.s.n.m. Colores diferentes muestran intervalos de cota con una equidistancia de 10 m.s.n.m.

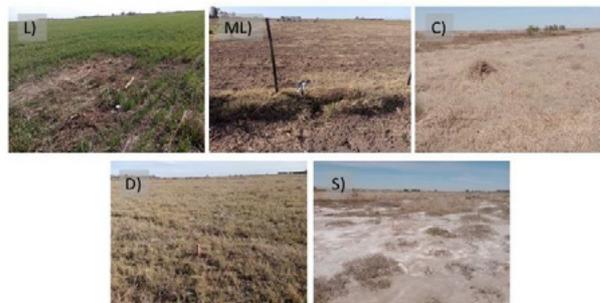


Figura 2.- Fotografía que representa los diferentes ambientes dentro de las áreas de estudio (ver descripción en Materiales y Métodos)

Las sales fueron principalmente sódicas, variando el anión acompañante (Figura 5). En el área alta fueron sulfatada-clorurada sódica. En las áreas intermedia, bicarbonatada sódica en la Loma y Media Loma y, en las áreas deprimidas de este (E2) y en todos los ambientes del área baja (E3), sulfatadas-cloruradas sódicas.

En la relación rSO_4^{2-}/rCl^- se identificó mayor presencia de cloruros en el área baja (E3) sugiriendo que es una zona de descarga. Esta área, posicionada en el sector de menor cota dentro del sitio de estudio, que junto con la mayor presencia de Cl^- y el grado de mineralización (Blarasin et al., 2014), suma información para corroborar esta hipótesis.

Las concentraciones de As en el acuífero libre estuvieron entre >10 a 304 ppb (Tabla 1). El 40% de los sitios superaron el valor de 150 ppb de riesgo de intoxicación crónica en animales (Bavera, 2011). En el área alta (E1) todos los sitios, en el área intermedia (E2) solo el ambiente Salino y en el área baja (E3) los

ambientes C y D tuvieron valores de As por debajo de 150 ppb.

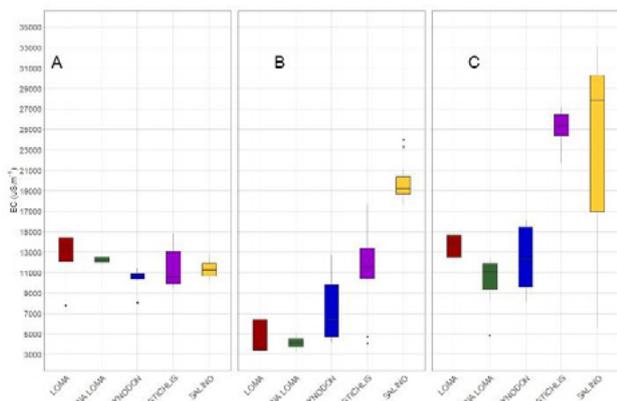


Figura 3. Conductividad eléctrica [uS.cm⁻¹] en los ambientes (rojo, verde, azul, violeta y amarillo para Loma, Media Loma, Cynodon, Distichlis y salino, respectivamente) y A, B y C indican áreas altas (E1), intermedias (E2) y bajas (E3) del sudeste de Córdoba.

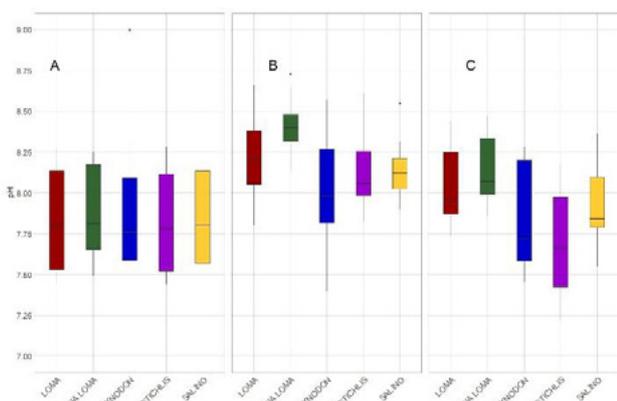


Figura 4. pH en los ambientes (rojo, verde, azul, violeta y amarillo para Loma, Media Loma, Cynodon, Distichlis y Salino, respectivamente) y A, B y C indican áreas altas (E1), intermedias (E2) y bajas (E3) del sudeste de Córdoba

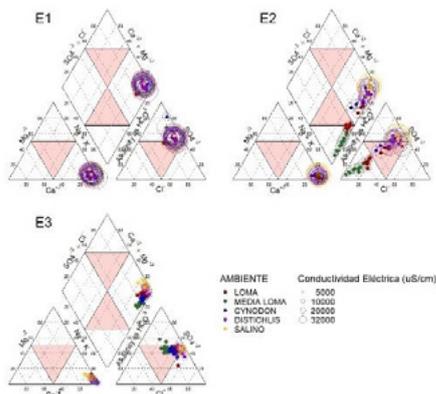


Figura 5.- Diagrama de Piper para las áreas altas, intermedias y bajas (E1, E2, E3, respectivamente) del sudeste de Córdoba. Los colores indican los ambientes (ver Figura 3). El tamaño de los círculos es proporcional a la CE.

Tabla 1. Concentraciones As [ppb] en los diferentes sitios. Negritas indican valores >150 ppb (umbral de riesgo)

	As [ppb]		
	E1	E2	E3
LOMA	<10	202	41
MEDIA LOMA	61	290	62
CYNODON	109	166	304
DISTICHLIS	87	185	283
SALINO	93	133	69

Discusión

La principal limitante, y que engloba a todos los ambientes y áreas analizadas, es la alta salinidad (i.e., CE). Convirtiendo los valores de CE a Total de Sólidos Disueltos (TSD) (Krishan et al., 2021) y utilizando los límites de Volpedo et al., 2016 (4000 mg.L⁻¹ y 2500 mg.L⁻¹ para bovinos de carne y leche, respectivamente), solo Loma y Media Loma de área intermedia (E2) serían los aptos para uso en bovinos de carne, pero no lo son por la alta concentración de As. Para el planteo de sistemas de riego este acuífero no es apto por el nivel de salinidad (CE > 2500 uS.cm⁻¹) y por la predominancia del Na⁺ sobre los otros cationes. El riego con agua de CE > 2500 uS.cm⁻¹ generó un aumento significativo en la CE de los suelos hasta los 60 cm de profundidad. Además, la dominancia de sales bicarbonatadas sódicas en el agua de riego no desencadena niveles de salinidad peligrosos, pero sí aumentos importantes de pH y sodio intercambiable que deteriora la estructura de los suelos (Marano y Pilatti, 2017).

Conclusiones

El uso de este acuífero en explotaciones agropecuarias de la región desencadenaría grandes problemas productivos y ambientales. Como bebida animal, las altas CE lo hace inadecuado, sumándole a esto las altas concentraciones de As que en algunos casos supera al doble de lo aceptado. El riego llevaría a procesos de halomorfismo de gran importancia, disminuyendo la productividad y calidad de los suelos.

Referencias Bibliográficas

Ali H. y Khan E. (2019) “Trophic transfer, bioaccumulation and biomagnification of nonessential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs- Concepts and implications for wildlife and human health”. Human and ecological risk assessment 2019. Vol 25, NO. 6, 1353–1376

Bavera, A.B. (2011). Aguas y aguadas para el ganado. 4ta edición. Libro Ed. Imberti-Bavera. Río Cuarto 2011. ISBN 978-987-27332-2-3

Blarasin M., Cabrera A. y Matteoda E. (2014) Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. Editorial UniRío (Río Cuarto) ISBN 978-987-688-091-6

Giubergia J.P y Rampoldi A. (2016). “Riego complementario en la provincia de Córdoba”. En: Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina, editores Edit Taleisnik y Raul Lavado. Editorial: Orientación grafica editorial. 211-226.

Heredia O.S. (2006). “Calidad de agua para bebida animal”. En: Agua Subterránea, explotación y utilización agropecuaria. Editor: Antonio J Pascale. Editorial: Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 101-115

Marano R. y Pilatti M.A (2016). “Riego suplementario con aguas de mediana a baja calidad en la ecorregión pampeana y del espinal (Argentina). Santa Fe”. En: Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina, editores Edit Taleisnik y Raul Lavado. Editorial: Orientación grafica editorial. pp 183-193.

Piper, A. M. (1944). “A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses”. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25(6), 914-928.

Rengasamy P. (2010). “Soil processes affecting crop production in salt-affected soils”. Functional Plan Biology. 37, 613-620.

Smedley P.L., Nicolli H.B., Macdonald D.M.J., Barros A.J., Tullio J.O. (2002). Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. Applied Geochemistry 17 (2002) 259–284

Volpedo A.V, Perez Carrera A.L, Fernández Cirelli A. (2016). “Importancia del agua en el desarrollo de los sistemas de producción animal”. En: Calidad de agua para la producción agropecuaria. Editoras: Alicia Fernández Cirelli y Alejandra V Volpedo. 9-50

DIEZ MIL MÓDULOS FAMILIARES DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN ARGENTINA. EL DESAFÍO DE AVANZAR HACIA LA SEGURIDAD HÍDRICA

Lucas Javier Vazquez ⁽¹⁾, Roger Alejandro Benitez ⁽²⁾

(1) INTA, Dirección Nacional Asistente de Transferencia y Extensión. Argentina. vazquez.lucas@inta.gob.ar

(2) INTA, Coordinador Proyecto Estructural Acceso al Agua. Argentina. benitez.alejandro@inta.gob.ar

El acceso al agua en zonas rurales aisladas de Argentina

Es posible estimar que hacia fines del año 2023 en las zonas rurales más aisladas del campo argentino habrá alrededor de 10.000 hogares que tengan sus módulos familiares con cisternas de placas para almacenar agua de lluvia. Más allá de estos números, nos preguntamos: ¿estamos en condiciones de hablar de seguridad hídrica?

Según la UNESCO, la seguridad hídrica consiste en tener una disponibilidad de agua que sea adecuada en cantidad y calidad para usos múltiples (consumo humano, la protección de los ecosistemas y la producción), el tener la capacidad para acceder y aprovechar dichos recursos de forma sostenible, y que haya un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía (Paris 2020).

Sin dudas, avanzar hacia la seguridad hídrica nos interpela a conocer en qué medida la población argentina accede al agua en cantidad y calidad adecuadas. Esto nos obliga a cuestionarnos si existe capacidad institucional, financiera y de infraestructura para poder acceder a esos recursos y distribuirlos de manera equitativa y sostenible.

Según la Plataforma del Agua, el 22% de las viviendas del país, es decir 3 millones, no tienen red de agua potable, y de ellas son 448 mil los hogares que además de que falta el acceso, tampoco tienen cubiertas sus necesidades básicas. Estas familias en su mayoría viven en zonas rurales aisladas del norte del país y en el Gran Buenos Aires.

El INTA y el acceso al agua

En el Plan Estratégico Institucional (PEI) 2005-2015 se incorpora el enfoque de desarrollo territorial, abriendo el camino para que el INTA, en conjunto con todos los actores de un territorio, gestione y brinde respuestas a las demandas no sólo técnico-productivas, en donde el acceso al agua para usos múltiples es prioritario para la Agricultura Familiar y los Pueblos Originarios (INTA, 2004). Al poco tiempo de la implementación del PEI, se crea el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar. Simultáneamente se incorporan proyectos nacionales transversales que abordan la temática, llegando a institucionalizarse el Plan Nacional Agua del INTA.

Entre 2006 y 2013, la alianza estratégica con el Ministerio de Desarrollo Social de la Nación (MDS) en la implementación del Programa Pro Huerta, hace posible la inversión financiera y la ejecución de proyectos denominados “especiales”, donde los que abordaban obras de acceso al agua, eran priorizados para su ejecución. Complementariamente se trabajó en la formación para el fortalecimiento de las capacidades técnicas con el personal institucional.

En la búsqueda de desarrollos tecnológicos que dieran respuestas a gran escala a la problemática del acceso al agua, comenzaron los contactos con la Articulación del Semiárido Brasileño para poder traer a la Argentina la experiencia del programa “Un millón de cisternas rurales” del noreste de Brasil. Fue en la provincia de Córdoba, en la ciudad de Cruz del Eje, donde se materializó la primera capacitación.

Desde el 2013 a la actualidad, hubo proyectos y programas de financiamiento nacional e internacional que permitieron al INTA, Secretaría de Agricultura Familiar, Campesina e Indígena (SAF) ⁵, ONG's, Organizaciones de la Agricultura Familiar y de Pueblos Originarios, gobiernos provinciales y municipales, comenzar a multiplicar las experiencias. Esto posibilitó llegar a tener cerca de 5.000 cisternas de placas hacia fines de 2019, principalmente ubicadas en el norte del país.

Los cimientos de una política pública estaban ya construidos, la tecnología probada, validada, equipos de constructores/as formados en diferentes provincias, experiencias de autoconstrucción, financiamiento y obras en lugares de difícil acceso. A partir de esto, se propuso llevar esta iniciativa a un ámbito nacional que gestione este ambicioso y necesario desafío.

Plan de Acceso al Agua para la Agricultura Familiar, Campesina e Indígena

En plena pandemia del COVID19, entre julio y agosto del año 2020, se lanza la primera convocatoria pública de proyectos para el Plan de Acceso al Agua para la Agricultura Familiar, Campesina e Indígena del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Este Plan nacional conjuga la experiencia y la experticia técnica del INTA, la decisión política del Ministerio a través de la SAFCI y el rol fundamental de la Dirección General de Programas y Proyectos Sectoriales y Especiales (DIPROSE) para gestionar y administrar el financiamiento internacional.

Los plazos para la ejecución de los fondos internacionales y la necesidad de universalizar el derecho al acceso al agua para una mayor cantidad de familias, exigió repensar las estrategias de autoconstrucción hasta aquí planteadas.

Desde la experiencia de la red de técnicas y técnicos nucleados/as en el Proyecto Estructural I043 de acceso, uso, re-uso y manejo del agua con fines múltiples y la trayectoria de la Dirección Nacional Asistente de Transferencia y Extensión, se realizó el diseño de un módulo estandarizado de captación de agua lluvia para uso familiar mediante cisterna de placas. De este modo, las especificaciones técnicas generadas en este proceso fueron incorporadas a los pliegos de licitaciones públicas nacionales del Plan, para que las empresas o cooperativas adjudicatarias implementen las obras en territorio con la modalidad “llave en mano”.



Figura 1.- Módulo estandarizado de captación de agua de lluvia

Junto con las especificaciones técnicas también se produjo un

material audiovisual, en el cual se explican en forma detallada los componentes del módulo y los aspectos a tener en cuenta para su adecuado funcionamiento y mantenimiento. Esta serie de diez videos (de aproximadamente 1 minuto de duración cada uno) fue diseñada como material de apoyo para trabajar con las familias participantes del Plan.

Durante los años 2021 y 2022, se avanzó en la ejecución de 2.183 módulos familiares de captación de agua de lluvia en las provincias de Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Mendoza, La Rioja, Catamarca, Salta y Jujuy. En el año 2023 se construirán 3.047 módulos más en las mismas provincias mencionadas agregándose San Juan, San Luis, Misiones y Tucumán. Estas obras implicaron en total una inversión de 35 millones de USD. De esta forma, estaremos en condiciones de afirmar que habrá más de 10.000 hogares en zonas rurales aisladas de la Argentina que accederán al agua para usos múltiples.

Reflexiones finales

Es difícil asegurar que se logrará la tan buscada seguridad hídrica, pero no tenemos dudas de que el camino que conduce a un acceso más equitativo a los derechos universales, requiere del compromiso y la participación activa de los diversos estamentos del estado nacional, provincial y municipal.

Es evidente que la gran movilización de recursos del Estado Nacional y la intervención de un ministerio nacional posibilitaron escalar esta experiencia. Ahora bien, lo que se logrará hacia fines del año 2023 (10.000 módulos familiares de captación de agua de lluvia) puesto en perspectiva con la cantidad de hogares con dificultades para el acceso al agua (448.000), pone en duda alcanzar el objetivo que propone el concepto de seguridad hídrica.

Si el desarrollo de esta incipiente política pública demandó un trabajo de 10 años, y atento a los resultados que se expusieron, si quisiéramos llegar a cumplir el objetivo definitivamente deberán tomarse otro tipo de decisiones en la agenda política de la Argentina que aborde esta temática en el corto, mediano y largo plazo.

Referencias Bibliográficas

INTA (2004). Plan Estratégico Institucional 2005 - 2015. Ediciones INTA.

Paris, M. (2020). La seguridad hídrica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Manual de capacitación para tomadores de decisión. PHI - VIII / Documento Técnico N° 42. América Latina y el Caribe. Programa Hidrológico Internacional Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNA REVISIÓN DE POLÍTICAS DE GOBIERNO PARA EL FOMENTO DE LA COSECHA DE AGUA DE LLUVIA URBANA

Villanueva D. G.¹; Alonso F.J.^{1, 2},

¹ Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Departamento de Hidráulica de la F.C.E.F. y N. de la Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Córdoba, Argentina.
E-mail: daniela.villanueva@unc.edu.com

Introducción

El enfoque tradicional de manejo del agua de lluvia en las ciudades implica desperdiciar un recurso valioso y contaminar su calidad. Si queremos recuperar y hacer que el agua sea segura, necesitamos llevar a cabo un costoso proceso de adaptación.

Además, las grandes ciudades manifiestan una tendencia poblacional a migrar hacia áreas suburbanas lo que plantea desafíos en términos de ampliación del sistema centralizado de distribución de agua potable, lo cual contradice los ideales de ciudades sustentables. La cosecha de agua de lluvia se reconoce como una práctica histórica en zonas rurales y puede desempeñar un papel significativo en comunidades comprometidas con el desarrollo sostenible.

Como paso inicial, este trabajo se centra en la revisión de antecedentes y la exploración de políticas públicas relacionadas con la inversión en cosecha de agua de lluvia en entornos urbanos de diferentes países donde esta técnica se ha implementado. Esta revisión es fundamental para comprender cómo se ha incorporado la cosecha de agua de lluvia y cuál ha sido su impacto en la promoción de prácticas más sostenibles y resilientes en las ciudades. El objetivo es analizar cómo las políticas públicas respaldan las iniciativas de cosecha de agua de lluvia, a fin de obtener conclusiones y recomendaciones que impulsen su implementación efectiva.

Es importante destacar que este trabajo surge como parte de un proyecto de investigación más amplio cuyo objetivo es desarrollar una herramienta práctica para los gestores en entornos urbanos que deben tomar decisiones sobre la inversión en el aprovechamiento del agua de lluvia. Durante nuestra investigación, hemos identificado la existencia de indicadores que proporcionan a los gestores urbanos herramientas cuantitativas para analizar y evaluar la implementación de prácticas de cosecha de agua de lluvia en áreas urbanas. Estos indicadores son aplicables tanto a nivel de una urbanización específica como a múltiples áreas urbanas dentro de un país. Son los que se utilizan en el proyecto de investigación mencionado.

Uno de los indicadores más simples Ghisi et. al.(2006) considera la función básica de recolección de agua de lluvia y se representa en la ecuación 1. Este indicador proporciona una visión clara del volumen de agua que podría ser cosechado en el área urbana considerada.

$$RCHP = TRA \times CR \times R/1000 \quad [1]$$

dónde RCHP (Potencial de captura y cosecha de agua de lluvia) es el volumen de agua de lluvia que podría ser cosechado a la escala urbana considerada (m³/año), TRA (superficie total cubierta) es la superficie total cubierta a la misma escala urbana (m²), CR (coeficiente de escorrentía) es el coeficiente de escorrentía indica una pérdida del agua de lluvia que se desecha para limpieza y evaporación de techos (no dimensional) y R (precipitación) es la precipitación anual a la misma escala urbana (mm/año).

Existe un indicador más interesante, que va más allá de la función de recolección y tiene en cuenta la utilización y el almacenamiento adecuados del agua de lluvia. Considera un equilibrio óptimo entre el volumen del tanque y la eficiencia de ahorro de agua.

$$RUP = U_{E3} \times D \quad [2]$$

Dónde RUP es el potencial de aprovechamiento de agua de lluvia (m³/año), U_{E3} es la eficiencia para la demanda de agua (%) y D es la demanda de agua (m³/año).

Posteriormente, utilizando las ecuaciones 1 y 2 a escala urbana y aplicando una metodología interesante, se obtiene el indicador "Potencial de Ahorro de Agua Potable mediante Cosecha de Agua de Lluvia" (PPWS) Belmeziti et al.(2014), que cuantifica el ahorro de agua potable al utilizar la cosecha de agua de lluvia como fuente alternativa. Sin embargo, la descripción detallada de esta metodología excede el alcance de esta publicación.

En resumen, este trabajo se basa en la revisión de antecedentes de políticas públicas relacionadas con la cosecha de agua de lluvia en entornos urbanos. Además, forma parte de un proyecto más amplio que tiene como objetivo desarrollar una herramienta práctica para los gestores en la toma de decisiones sobre el aprovechamiento del agua de lluvia.

Metodología

Para organizar la información recopilada, se ha adoptado el criterio de clasificación basado en una línea de trabajo específica que constituye el principal respaldo bibliográfico de este estudio preliminar, según se expone en el trabajo de Gouvello et al. (2014). Esta investigación propone cuatro elementos que sirven para caracterizar la implementación de la cosecha de agua de lluvia a nivel urbano en diferentes países, particularmente en sus principales centros urbanos. Es importante aclarar que, al mencionar países, nos referimos a la implementación de la cosecha de agua de lluvia en los principales centros urbanos de esos países donde se implementó la cosecha de agua de lluvia.

Tras examinar la bibliografía citada, se ha llevado a cabo una investigación sobre los avances realizados desde 2014 hasta la actualidad en centros urbanos seleccionados de diversos países, como Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Brasil, Sri Lanka, Australia, Uganda, India, Francia y Argentina. Es importante destacar que las poblaciones urbanas de estos países difieren en términos de acceso al agua segura, capacidad de recolección de agua de lluvia, calidad de las superficies de captación y disponibilidad de áreas para el almacenamiento, entre otros aspectos. Se espera que esta heterogeneidad le atribuya un sólido respaldo a este estudio ya que, al considerar países con escenarios tan diversos, las conclusiones obtenidas podrán ser más generalizables. Por ende, esta investigación nos permite comprender las políticas de aprovechamiento del agua de lluvia implementadas a nivel urbano en cada país y facilita la posterior comparación entre ellos. Los elementos analizados en este estudio son los siguientes:

- (i) Reglamentos y normas técnicas: Este elemento se refiere a la normativa elaborada para guiar la implementación de la técnica de cosecha de agua de lluvia. Por lo general, existe una Ley a nivel nacional que establece los principios rectores para el uso y manejo del agua, mientras que a nivel local se emiten Decretos y se elaboran Ordenanzas que especifican cómo se incorpora la técnica en cada edificación. Estas normativas abarcan aspectos como la

obligatoriedad de implementación, penalidades y otros detalles relevantes.

- (ii) Usos y calidad requerida: Este elemento se relaciona con los usos del agua de lluvia recolectada y las consideraciones relacionadas con su calidad. En la mayoría de los países, la implementación de la cosecha de agua de lluvia no es obligatoria, a excepción de aquellos con una extrema escasez de agua potable. No obstante, existen buenas prácticas y estándares recomendados para cada uso, que pueden ser considerados como referencia.
- (iii) Factores de desarrollo de la cosecha de agua de lluvia: Este elemento abarca los programas desarrollados por diversos actores gubernamentales, organizaciones o instituciones que fomentan el uso de la técnica. Estos programas actúan como incentivos para promover la implementación de la cosecha de agua de lluvia en diferentes contextos.
- (iv) Interacción con otros recursos de agua alternativos: Comúnmente, se considera el uso de agua de lluvia de forma aislada. Sin embargo, este elemento busca evaluar todos los recursos de agua alternativos posibles para optimizar el uso del agua como recurso primario. Por ejemplo, se exploran opciones como el aprovechamiento de aguas grises, sistemas de drenaje sostenible en la ciudad, recarga de acuíferos y riego para techos verdes, entre otros.

Resultados y discusión

A partir de la comparación de la información recopilada, se observan patrones comunes y particularidades regionales, lo que permite identificar líneas de acción replicables en diversos contextos. En la Tabla 1, se resumen las experiencias urbanas relacionadas con Reglamentación y Usos y calidad requerida. Se indica el cumplimiento de reglamentaciones en los centros urbanos seleccionados, y se detallan los usos promovidos para la cosecha de agua de lluvia. En cuanto a las reglamentaciones, se distinguen las Ordenanzas paracada edificación (O), que especifican la implementación de la técnica en el edificio, las Normas técnicas (NT) dirigidas a los instaladores, donde se detalla la forma de realizar las instalaciones, y la Normativa con Umbrales máximos de contaminantes físico-químicos y microbiológicos (U), acorde al uso establecido. Las opciones de usos son: “no potables” (NP), que abarcan descargas de inodoros, lavado de pisos, riego de jardines y otros usos no destinados al consumo humano, y “todos los usos” (T), que incluyen usos no potables y también usos domésticos, como higiene personal y lavado de alimentos.

Tabla 1.- Cumplimiento de elementos para la implementación de la cosecha de agua de lluvia a nivel urbano por país.

País	(i) Reglamentación			(ii) Usos y calidad	
	O	NT	U	NP	T
Australia	x	x	x		x
Argentina	x			x	
Uganda					x
Estados Unidos	x	x	x	x	
India	x				x
Reino Unido	x	x	x	x	
Alemania		x			x
Francia	x	x		x	
Sri Lanka	x		x		x
Brasil		x	x		x

La Tabla 1 proporciona una descripción cualitativa de los enfoques de cada país en relación a la cosecha de agua de lluvia. Sin embargo, la bibliografía amplía algunas cuestiones relevantes. Se destaca que los gobiernos locales que promueven el uso de esta técnica tienen directrices claras en sus Ordenanzas como Códigos de edificación y normativas técnicas, que indican cómo realizar la instalación y qué estándares de calidad se deben cumplir para cada uso. En aquellos países donde se permite el uso de agua de lluvia para todos los fines dentro de la vivienda, se establecen umbrales máximos de calidad para cada uso, con la excepción de Uganda, donde la promoción de la técnica no proviene del Estado, sino de organizaciones que subsidian la inversión inicial y enfatizan la importancia de mantener la instalación en condiciones adecuadas para su uso doméstico.

En cuanto a los factores de desarrollo que incentivan el uso de la cosecha de agua de lluvia, se destacan las políticas de obligatoriedad establecidas por el Estado en edificios que superan cierta superficie cubierta, como ocurre en India y Sri Lanka, incluso con la imposición de penalidades en caso de no incorporar la técnica en las instalaciones del edificio. Es importante mencionar que, en estos países, la técnica aún no ha sido adoptada en edificios públicos, pero según la experiencia de otros países como Australia, Estados Unidos, Reino Unido y Argentina, puede ser un enfoque útil como política de incentivo. Además, en Francia y Alemania, los impulsores de la técnica han sido las industrias especializadas en tecnología de cosecha de agua de lluvia.

En cuanto a la permeabilidad con otras fuentes alternativas de agua, se destaca el uso conjunto de la cosecha de agua de lluvia y el reuso de aguas grises en países como Reino Unido, Australia y Brasil, los cuales tienen normativas que regulan esta práctica combinada. El drenaje urbano sostenible actúa como un motor global para la cosecha de agua de lluvia, ya que no solo implica ahorro de agua potable en edificios residenciales, comerciales e industriales, sino que también tiene un impacto en el paisaje, modificando la temperatura y los niveles de sombra en las ciudades. Los espacios verdes diseñados con este propósito retienen parte del agua de lluvia, lo que retrasa la salida del caudal pico después de fuertes lluvias.

El requerimiento de disponibilidad de agua para satisfacer la demanda impuesta por el crecimiento poblacional manifiesta la urgencia de incorporar cambios en las políticas de agua actuales, de lo contrario el suministro de agua se agotará a corto plazo. Es menester atacar el problema con un abordaje inteligente y multidisciplinario.

Referencias Bibliográficas

- Campisano A., Butler D., Ward S., Burns M. J., Friedler E., DeBusk K., Fisher-Jeffes L. N., Ghisi E., Rahman A., Furumai H., Han M.** (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115(2017):195e209. Elsevier
- Belmeziti, A., Coutard, O. & de Gouvello, B.** (2013). A new methodology for evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by using rainwater harvesting at the urban level: the case of the municipality of Colombes (Paris region). *Water* 5 (1), 312–326.
- de Gouvello B., Gerolin A. and Le Nouveau N.** (2014). Rainwater harvesting in urban areas: how can foreign experiences enhance the French approach? *Water Science and Technology: Water Supply*, 14(4), 569-576.
- Ghisi, E., Montibeller, A. & Schmidt, R.-W.** (2006) Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment* 41 (2), 204–210.
- Radcliffe J. C., Page D.** (2020) Water reuse and recycling in Australia - history, current situation and future perspectives. *Water Cycle* 1 (2020) 19–40.
- Raimondi A., Quinn R., Abhijith G.R., Becciu G., Ostfeld A.** (2023) Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water* 2023, 15, 1518.

DISTRIBUCIÓN DE RIEGO EN FUNCIÓN DE LA DEMANDA – CUENTA DE AGUA

Rubén Villodas, M. Marcela Andino, María T. Baduí, Sergio Marinelli

A Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina.
marcelaandino71@gmail.com, libadui@gmail.com, slmarinelli@yahoo.com, arvillo1@gmail.com

Introducción

Desde hace años, y en especial en la última década, se ha presentado una de las sequías más importantes registradas en la Provincia de Mendoza, la que, a través del Departamento General de Irrigación (DGI), demostró ser capaz de grandes avances para cambiar la realidad, con el objetivo estratégico de la Seguridad Hídrica, utilizando herramientas que la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) brinda, tanto para mejorar en la adaptabilidad al Cambio Climático como para mitigar los crecientes efectos de las sequías.

Las precipitaciones nivales, única fuente de oferta del recurso hídrico, han disminuido más de 20% en el último decenio, conduciendo a una escasez de agua y a una economía agrícola más vulnerable. Se estima el impacto de la sequía en un 1% del PIB, en los próximos 10 años.

Para aumentar la disponibilidad de agua se debe avanzar hacia: el uso conjunto del agua superficial y subterránea, el reúso de las aguas residuales, en el acondicionamiento de aguas subterráneas salobres y fundamentalmente en la mejora en la eficiencia de todos los usos.

Es por esto que el DGI ha implementado el Plan de Gestión de la Oferta y la Demanda, en el que se dan las bases para una distribución de caudales en función de la demanda de los cultivos, tendiente a mejorar la eficiencia agrícola general de los sistemas.

Antecedentes

Definir previamente las características del año hidrológico y las demandas que se presentarán en las distintas cuencas, es fundamental para la planificación y gestión de los sistemas de riego de la provincia.

En tal sentido, el Departamento de Hidrología del DGI confecciona, a fines del mes de setiembre, el Pronóstico Anual de Escurrimiento. Se trata de un análisis de la oferta probable y disponible, en los siguientes 12 meses, del sistema hídrico de cada cuenca y, con ese cúmulo de información (pronóstico y demandas), se confeccionan los diferentes Planes de Erogación y de manejo de embalses.

Cabe mencionar que pocas regiones áridas acumulan tantos años de registro de las acumulaciones anuales de nieve, y de los caudales de los principales ríos que atraviesan su territorio, como los que posee el DGI. El registro, validación, análisis de esa información y su aplicación a diversas metodologías estadísticas de pronóstico, permite una estimación del comportamiento futuro de los escurrimientos.

A los efectos de facilitar la interpretación de los resultados, el derrame (volumen) anual pronosticado, se relaciona con el Derrame Anual Medio histórico de la cuenca, utilizando la reciente clasificación de los años hidrológicos según el Índice de Derrame Estándar (IDE), desarrollada por el DGI, siguiendo la metodología propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el Índice de Caudales Entandar (ICE) ó Standardized Streamflow Index (SSFI).

El otro aspecto mencionado, las demandas hídricas de los distintos usos, representan el volumen de agua necesaria, en el

caso del uso agrícola (utiliza \cong 90% del recurso disponible), para que los cultivos rindan al 100%. Es por ello que resulta relevante entender cómo se determina esta demanda.

A través de datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, heliofanía y viento) de distintas estaciones meteorológicas, con su respectiva área de influencia, se obtiene la evapotranspiración de referencia, con la metodología utilizada por FAO. A partir de este dato, de relevancia agronómica, se estima la “demanda neta” por cada tipo de cultivo. Esta demanda neta (DN) de un cultivo se refiere a la cantidad de agua que necesitan las plantas para cumplir con su ciclo vital, sin tener en cuenta parámetros de “eficiencia” de aplicación parcelaria u otros usos culturales del agua.

Resulta necesario realizar la consideración de las pérdidas que se producen en la captación del agua, en la conducción por canales e hijuelas y en la aplicación del riego en la finca. También hay que agregar a la demanda el uso cultural del agua (necesaria para llevar adelante los cultivos), siendo una cantidad extra de agua que cubre las mencionadas pérdidas y que en su conjunto se denomina demanda bruta (DB).

La conducción del agua por los distintos causes no posee una eficiencia del 100%, debido a las pérdidas de agua que se producen, tanto en la conducción primaria (grandes canales) y en las conducciones secundarias, principalmente por infiltración y deficiente distribución. Se la evalúa como la relación entre el volumen de agua entregado a cada propiedad y el volumen derivado a la cabecera del sistema, o dique derivador, de cada zona de riego. Para este trabajo, este parámetro involucra las Eficiencias de Conducción (en el sistema primario, gestionado directamente por el DGI) y de Distribución (para el sistema secundario, gestionado por las Inspecciones de Cauce), o sea, contempla las eficiencias fuera de las fincas.

Por último, la Eficiencia de Aplicación es la relación entre la cantidad de agua que queda almacenada en el suelo disponible para el cultivo y la que llega a la propiedad. Es la eficiencia del uso del agua por parte del productor y contempla el movimiento del agua en las regueras internas de la propiedad y el sistema de riego utilizado.

Por último, se debe tener en cuenta la disponibilidad de agua a suministrar a cada usuario, que son las acciones estructurales y no estructurales que permiten poner a la oferta del recurso (escurrimientos en los ríos) disponible para ser llevadas y entregadas a las distintas demandas. Esta disponibilidad puede ser mejorada a través de nuevas infraestructuras, del uso conjunto del agua superficial y subterránea, del reúso de las aguas residuales, del acondicionamiento de aguas subterráneas salobres y fundamentalmente en la mejora en la eficiencia de todas las etapas de la distribución y uso del agua.

En referencia a este último aspecto de eficiencia, es el responsable que la Demanda Bruta a dotar en cabecera de sistema de riego, sea en mayor o menor forma superior a la Demanda Neta que utilizará en definitiva cada cultivo.

Como se mencionó previamente, el DGI es el responsable de la Distribución Primaria y las Inspecciones de Cauce (consorcios de usuarios) tienen a su cargo la Distribución Secundaria. En este trabajo nos abocaremos a trabajar sobre estos dos aspectos,

sin incluir a la aplicación o sistema de riego que realiza cada usuario en su finca.

Distribución para Riego

En el artículo 10 de la Ley N° 430 (1907) de Mendoza, determina que la entrega de agua para riego debe ser realizada en función del tipo de cultivo y suelo de la zona donde asienta la propiedad a irrigar. Debido a la cultura de los sistemas de riego de la provincia de Mendoza y a la infraestructura, histórica y actual en todas las cuencas, en el presente no resulta factible cumplir este principio, requiriéndose otro tipo de gestión e infraestructura, la que debe permitir la medición y control en todos los puntos de entrega, o parcelas, de todos los sistemas de riego de la provincia.

Es por ello que la distribución de agua para riego, en las cuencas de nuestra provincia, se debe realizar siguiendo el “principio de igualdad”, el que implica que todas las unidades productivas (1 hectárea, por ejemplo), de una cuenca, deben recibir la misma “lámina de riego” o “volumen total de agua”, a lo largo de una temporada completa de riego. O sea, el volumen de agua que recibe una hectárea de cultivo, a lo largo de una temporada de riego (octubre de un año a septiembre del año siguiente), debe ser el mismo para todas las hectáreas de la cuenca en que se encuentra, independientemente del cultivo que tenga y del tipo de suelo de la misma.

Distribución a la Oferta

Este tipo de distribución es la que se ha utilizado históricamente y, siguiendo estrictamente el principio de igualdad, realizaba una planificación anual de las erogaciones de los embalses. Luego distribuía, estrictamente en función de esta planificación, a todos los canales caudales proporcionales al empadronamiento que cada uno tuviera. O sea, no tenía en cuenta en ningún momento el tipo de cultivo y suelo de cada zona que regaba el canal respectivo.

Como consecuencia de esto, el pago de las obligaciones con el DGI era igual para todas las hectáreas empadronadas.

Distribución a la Demanda

La entrega de acuerdo al tipo de cultivos y el tipo de suelo, es lo que se conoce a nivel mundial, como “distribución volumétrica” o “a la Demanda”, e implica tener una infraestructura moderna y avanzada para poder conducir, distribuir y medir los volúmenes de agua que necesita cada usuario agrícola.

Cabe mencionar que los distintos cultivos y el tipo de suelo en donde se encuentran, requieren de distintos caudales instantáneos, volúmenes de agua o láminas y frecuencias de riegos distintos, por lo que el sistema de distribución debe cubrir estas necesidades. Los sistemas de distribución y aplicación presurizados son los ideales, debido a su flexibilidad de operación y a las posibilidades de medición y control.

Una modernización de los sistemas de distribución y medición actuales, no son compatibles con la realidad económica/financiera y cultural de nuestra provincia y de nuestro país, además de cambios importantes en los sistemas de cobro. Aunque es el sistema de distribución al que se debe tender en un futuro no muy lejano.

El cobro del agua es por volumen entregado.

Distribución en Función de la Demanda

En la actualidad, y como una forma de mejora y transición entre la anterior Distribución a la Oferta y la futura Distribución a la Demanda, el DGI está implementando un sistema de distribución en “función de la demanda”.

Este sistema tiende a entregar las dotaciones de riego en forma diferencial, tanto en caudal, tiempo y frecuencia, en función de las necesidades de los cultivos y tipo de suelo de cada zona de riego. Aunque tiene la limitante de que, por la falta de infraestructura actual, no puede ser medida el agua entregada en forma individual a cada usuario.

Por lo tanto, se debe mantener el principio de igualdad histórico, en el que, cada hectárea de una cuenca recibe el mismo volumen de agua a lo largo de una temporada. Como consecuencia de esto, el pago de las obligaciones con el DGI sigue siendo igual para todas las hectáreas empadronadas.

Este tipo de entrega diferencial de caudales puede ser realizada a dos niveles: i) en la distribución primaria que hace cada Subdelegación del DGI a las distintas Inspecciones de Cauce, y ii) en la distribución secundaria que la Inspección de Cauce hace a cada usuario (futura Distribución a la Demanda).

Por lo tanto, actualmente se ha implementado ampliamente en la distribución primaria, la que se realiza en función de las necesidades del “modelo de finca” de cada Inspección de Cauce, que tiene en cuenta la proporción que cada cultivo tiene en el total de la Inspección.

Cuenta de Agua

Todos los sistemas de distribución presentados, necesitan un método de control de los volúmenes entregados, en especial los que realizan una entrega diferencial, ya sea para lograr el principio de igualdad (en la Distribución en Función de la Demanda), o para computar el total de agua entregada a cada usuario en particular (en la Distribución a la Demanda).

Este control involucra contar y acumular en el tiempo cada una de las entregas parciales y diferenciales, a lo largo de toda la temporada.

Este sistema de control es el que actualmente usa el DGI y al cual denomina “Cuenta de Agua”.

Bibliografía

Chamboleuryon, Jorge Luis (2005). *Riego y drenaje: técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable* (EDIUNC), Mendoza, Argentina.

Departamento General de Irrigación (2020). *Resolución 0408 Superintendencia: Plan de Gestión de la Oferta y la Demanda como Estrategia de Adaptación a los Efectos del Cambio Climático y la Prevención a los Efectos de la Sequía*, Mendoza, Argentina.

Departamento General de Irrigación (2022). *Resolución 1610 Superintendencia: Modelo de Distribución en Función de la Demanda*, Mendoza, Argentina.

Pinto, Mauricio; Rogero, Gladys y Andino, M. Marcela (2019). *Ley de Aguas de 1884 - Comentada y Concordada*, Mendoza, Argentina.

Villodas, A. Rubén; Segerer, Carlos D. (2015). *Hidrología I y II* (UNCuyo), Mendoza Argentina.

ÍNDICES PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Rubén Villodas, Héctor Segal, María T. Baduí, Sergio Marinelli

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina.
arvillo1@gmail.com, licbadui@gmail.com, slmarinelli@yahoo.com, hector.segal@gmail.com

Introducción

Desde hace años, y en especial en la última década, en la provincia de Mendoza se ha presentado una de las sequías más importantes registradas. El Departamento General de Irrigación (DGI), con el objetivo estratégico de la Seguridad Hídrica y utilizando las herramientas que la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) brinda, ha tratado de modernizar sus sistemas de análisis y comunicación, tanto para mejorar en la adaptabilidad al Cambio Climático como para mitigar los crecientes efectos de las sequías.

Una GIRH exitosa necesita del monitoreo y la evaluación de la misma a nivel de cuenca, siendo crítico contar con información que genere datos e indicadores para el seguimiento de las acciones relacionadas con los objetivos y metas que la gestión se propone.

También es de suma importancia una adecuada divulgación de estos objetivos propuestos, y de sus indicadores, que permita a los usuarios estar informados e interactuar de modo de alcanzar una gestión preventiva y participativa.

Metodología

La sequía es un peligro natural insidioso resultante de unos niveles de precipitaciones por debajo de lo que se considera normal y debe considerarse como un estado relativo y no absoluto. La vigilancia de las sequías debe ser específica para cada tipo de aplicación, ya que los efectos de las sequías varían según los sectores. La sequía evoca distintos significados para los diferentes usuarios, según sean gestores de recursos hídricos, productores agrícolas, responsables de centrales hidroeléctricas o biólogos naturalistas. Normalmente las sequías se clasifican, según el tipo, en meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica; las que difieren entre sí por su intensidad, duración y extensión espacial.

Hay tres métodos básicos para vigilar la sequía y orientar la alerta temprana y la evaluación: i) utilizar un único indicador o índice; ii) utilizar varios indicadores o índices; y iii) utilizar indicadores mixtos o híbridos. La aparición de los sistemas de información geográfica y la expansión de los recursos informáticos y de presentación de datos han incrementado la capacidad de superponer y comparar varios indicadores o índices.

La OMM, en el Manual de Indicadores e Índices de Sequía, presenta los índices más utilizados a nivel mundial y se determinan con la metodología presentada en la Guía del Usuario sobre el Índice Normalizado de Precipitación (SPI).

El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal, teniendo en cuenta la precipitación observada, la probabilidad de precipitación se transforma en un índice. Que la precipitación sea el único parámetro necesario para el cálculo, es una de las ventajas más importantes.

El SPI puede calcularse para distintas escalas temporales, ofrecer una alerta temprana de la sequía y ayudar a evaluar su severidad. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta. Las anomalías de precipitación a largo plazo quedan reflejadas en las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios.

El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal, de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI.

Índice de Precipitaciones Estándar (SPI)

Se ha definido el sistema de clasificación, mostrado en la Tabla 1, de valores de SPI que figura a continuación para definir las distintas intensidades de la sequía según los distintos valores de SPI y con esto los criterios para los episodios de sequía en todas las escalas temporales. Los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. Por consiguiente, todos los episodios de sequía tienen una duración definida por su comienzo y su final, y una intensidad para cada mes en el que continúa el episodio. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la "magnitud" de la sequía.

Tabla 1.- Clasificación según Índice de Precipitación Estándar (SPI)

2,0 y más	extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	muy húmedo
1,0 a 1,49	moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	moderadamente seco
-1,5 a -1,99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

Esa normalización estadística que se hace, permite que el SPI determine la rareza de una sequía actual y la probabilidad de la precipitación necesaria para que finalice la sequía. También permite que los usuarios comparen con confianza en los resultados sequías históricas y actuales entre distintas localidades climáticas y geográficas cuando evalúan la rareza o frecuencia de una determinada sequía.

En razón de que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo; por consiguiente, también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos. No obstante, hay que subrayar que el SPI no es adecuado para los análisis del cambio climático.

El SPI se ha concebido para calcular el déficit de precipitación, fundamentalmente lluvia, en diversas escalas temporales, las que reflejan el efecto de la sequía en la disponibilidad de los distintos recursos hídricos. Así, por ejemplo, habría que estudiar el SPI de 1 ó 2 meses para la sequía meteorológica, de entre 1 y 6 meses para la sequía agrícola, y de entre unos 6 y 24 meses o más para los análisis y aplicaciones de la sequía hidrológica

Índice de Nieve Estándar (INE)

Dado que más del 95% del recurso hídrico de la Provincia de Mendoza proviene de las precipitaciones nivales de invierno, el

DGI ha definido el INE, con la misma metodología del SPI, tomando como escala temporal el “año” y como valor representativo de la “sequía meteorológica” anual.

Tabla 2.- Clasificación según Índice de Nieve Estándar (INE)

Año Extremadamente Húmedo	$2.00 \leq \text{INE}$
Año Severamente Húmedo	$+1.50 \leq \text{INE} < +2.00$
Año Moderadamente Húmedo	$+1.00 \leq \text{INE} < +1.50$
Año Normal	$-1.00 \leq \text{INE} < +1.00$
Sequía Meteorológica Moderada	$-1.50 \leq \text{INE} < -1.00$
Sequía Meteorológica Severa	$-2.00 \leq \text{INE} < -1.50$
Sequía Meteorológica Extrema	$\text{INE} < -2.00$

Índice Normalizado de Caudales Fluviales (SSFI).

La OMM describe este índice SSFI (en inglés) como similar al SPI en el sentido de que el SSFI de un determinado período se define como la diferencia en los caudales fluviales entre la media y la desviación típica.

Desarrollado mediante valores diarios o mensuales de los caudales fluviales y los métodos de normalización asociados al SPI, se puede calcular con datos de observaciones y de predicciones, y proporciona una perspectiva de los períodos de niveles altos y bajos de caudal asociados a las crecidas y la sequía, siendo útil para la vigilancia de las condiciones hidrológicas en distintas escalas temporales.

Índice de Derrame Estándar (IDE)

En forma anual, el DGI realiza el Pronóstico de Escurrimientos de los Ríos de Mendoza, para el período 01 de octubre de un año al 30 de setiembre del siguiente. Este pronóstico anual, es la base de toda la planificación de los sistemas de riego provinciales, ya que, en combinación con las demandas estimadas, genera las políticas de manejo de embalses de esa temporada.

El parámetro base que se pronostica es el “derrame anual”, o volumen, a escurrir en cada río. Con este concepto e igual metodología que el SSFI, el DGI ha definido el IDE, en base a los derrames anuales históricos e identifica las condiciones hidrológicas de su respectiva cuenca, en especial la Sequía Hidrológica.

La única modificación que se ha introducido es que para el Año Normal del SSFI, el IDE contempla 3 clasificaciones distintas, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 3.- Clasificación según Índice de Derrame Estándar (IDE)

Año Extremadamente Húmedo	$2.00 \leq \text{IDE}$
Año Severamente Húmedo	$+1.50 \leq \text{IDE} < +2.00$
Año Moderadamente Húmedo	$+1.00 \leq \text{IDE} < +1.50$
Año Húmedo	$+0.30 \leq \text{IDE} < +1.00$
Año Normal	$-0.30 \leq \text{IDE} < +0.30$
Año Escaso	$-1.00 \leq \text{IDE} < -0.30$
Sequía Hidrológica Moderada	$-1.50 \leq \text{IDE} < -1.00$
Sequía Hidrológica Severa	$-2.00 \leq \text{IDE} < -1.50$
Sequía Hidrológica Extrema	$\text{IDE} < -2.00$

Índice de Caudales Estándar (ICE)

El DGI se encuentra en el proceso de estudio e identificación definición de las Sequías Agrícolas, por lo que ha definido el ICE en forma idéntica al SSFI, teniendo en cuenta los caudales mensuales de los ríos de Mendoza. Se ha previsto que la evaluación conjunta de este índice con los valores mensuales de demandas agrícolas, brindará un ámbito de evaluación y planificación en los sistemas de riego. En el futuro, se deberán definir las “dotaciones de riego” o volumen mensual de agua necesaria para cada cultivo y condiciones de suelo y climáticas

zonales, por lo que el manejo de estos parámetros será de fundamental importancia en el balance hídrico y gestión de las cuencas.

Índice Normalizado del Suministro de Embalses (SRSI).

La OMM lo presenta como un método sistemático para analizar los datos de los embalses en condiciones de sequía, con características Similares al SPI ya que se utilizan datos mensuales para calcular la función de distribución de probabilidad de los datos de almacenamiento de los embalses, a fin de suministrar información sobre el abastecimiento de agua de una región o cuenca dentro de una gama de -3 (extremadamente seco) a $+3$ (extremadamente húmedo), ofreciendo información a los responsables del abastecimiento de agua y los proveedores de riego. No tiene en cuenta los cambios ocasionados por la gestión del embalse ni las pérdidas causadas por la evaporación.

Índice de Reservas Estándar (IRE)

El DGI, responsable de la administración del todo el recurso hídrico provincial, debe informar permanentemente a los distintos usuarios sobre la situación hídrica de cada cuenca, siendo uno de los parámetros más solicitados, los volúmenes o reservas en los embalses, tanto en la actualidad, como en relación a los años anteriores.

Es por eso que ha definido el IRE, con la misma metodología que los índices anteriores

Tabla 4.- Estado embalses según Índice de Reservas Estándar (IRE)

Reservas Extremadamente Altas	$2.00 \leq \text{IRE}$
Reservas Severamente Altas	$+1.50 \leq \text{IRE} < +2.00$
Reservas Moderadamente Altas	$+1.00 \leq \text{IRE} < +1.50$
Reservas Altas	$+0.30 \leq \text{IRE} < +1.00$
Reservas Normales	$-0.30 \leq \text{IRE} < +0.30$
Reservas Escasas	$-1.00 \leq \text{IRE} < -0.30$
Reservas Moderadamente Bajas	$-1.50 \leq \text{IRE} < -1.00$
Reservas Severamente Bajas	$-2.00 \leq \text{IRE} < -1.50$
Reservas Extremadamente bajas	$\text{IRE} < -2.00$

Índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI).

La OMM menciona este índice como que fue creado para solucionar directamente varias de las limitaciones detectadas en el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) ya que tiene en cuenta el trabajo llevado a cabo por Palmer en relación con el PDSI, pero incorpora más información: acumulación de nieve (INE), fusión de nieve y escorrentía (IDE), y datos de los embalses (IRE).

El DGI tiene como objetivo futuro definir un índice similar a este, ya que se puede utilizar para detectar condiciones de sequía asociadas a las fluctuaciones hidrológicas, por un lado, y como tiene en cuenta todos los recursos hídricos de una cuenca, proporciona un buen resumen de la situación hidrológica general de una cuenca o región concreta.

Referencias Bibliográficas

Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía* (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*. Ginebra

Género y diversidad

07



CONAGUA2023
XXVII CONGRESO NACIONAL DEL AGUA



AGUA Y GÉNERO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: INVESTIGAMOS PARA PLANIFICAR UN FUTURO SOSTENIBLE E INCLUSIVO Y PARA IMPULSAR ACCIONES QUE ACELEREN EL CAMBIO HACIA UNA GOBERNANZA EQUITATIVA DEL RECURSO HÍDRICO Mónica Marcela Andino y María Valentina Erice	858
AGUA Y MUJERES María Teresa Badui, Marcela Andino y Sergio Marinelli	860
REFLEXIONES SOBRE LA PARTICIPACIÓN DE LAS MUJERES EN CIENCIA, TÉCNICA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ARGENTINA Diana Irene Chavasse, Brenda Faro, Silvia Rafaelli, Patricia Lopez, Laura Imburgia, Leticia Vicario y Luciana Cobarbo	862
EXPERIENCIAS DE INTEGRACIÓN DE PERSPECTIVA DE GÉNERO EN OBRAS DE CONTROL TORRENCIAL. QUEBRADA DE HUMAHUACA. JUJUY. ARGENTINA Jorge Prieto Villarroya, Marcelo Borsellino, Edgardo Castellano y Noelia Judith Quiroga	864
EL CASO RAMONA POR EL ACCESO AL AGUA EN VILLA 31 DURANTE LA PANDEMIA DE COVID-19. UNA PERSPECTIVA ECOFEMINISTA DE LAS INJUSTICIAS HÍDRICAS Lucía Sayapin, Zahira Amira Santos y Soledad Fernández Bouzo	866

AGUA Y GÉNERO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: INVESTIGAMOS PARA PLANIFICAR UN FUTURO SOSTENIBLE E INCLUSIVO Y PARA IMPULSAR ACCIONES QUE ACELEREN EL CAMBIO HACIA UNA GOBERNANZA EQUITATIVA DEL RECURSO HÍDRICO

Mónica Marcela Andino y María Valentina Erice

Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Mendoza, Argentina
Belgrano 545, Dpto. 3 Ciudad de Mendoza – marcelaandino71@gmail.com
Mitre 1360, primer piso A, Ciudad de Mendoza – valentina.eric@um.edu.ar

Introducción

La participación plena y equitativa de mujeres en la gestión y preservación del ambiente en general y del agua en particular, tanto en usos domésticos como productivos, su intervención en la toma de decisiones, el acceso a la titularidad de la tierra y a los derechos de agua, son piezas clave para alcanzar el desarrollo sostenible e inclusivo en Latinoamérica y el Caribe.

El Proyecto de investigación desarrollado en la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Mendoza durante los años 2021-2022 denominado “*Agua y Género en América Latina y el Caribe*” y que fuere prorrogado para el período académico 2023/2024, tuvo su génesis hace varios años cuando detectamos la importancia de investigar el nexo agua-género, es decir, el vínculo entre el ODS 5 (lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas) y el ODS 6 (garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos), y su sinergia con otros objetivos del desarrollo sostenible con rigor científico, disciplinar y metodológico.

Investigar para conocer en profundidad y comprender la realidad de las mujeres y niñas en relación con el agua en el presente escenario de eventos hidrológicos extremos que las impacta mayormente; identificar los nudos estructurales de la desigualdad y las barreras sistémicas que impiden a las mujeres el acceso a la tierra, a concesiones de uso de agua y a créditos, entre otras inequidades, es de vital importancia para tomar conciencia, valorar y visibilizar el rol de las mujeres referentes y reflexionar sobre igualdad de oportunidades y de derechos.

En ese marco y como resultado final será factible la construcción de un diagnóstico que sirva de base para el diseño de políticas públicas que hagan efectivo el enfoque de género y que incluyan a las mujeres en la toma de decisiones, todo lo que es clave para una eficaz gobernanza del recurso hídrico en LAC.

En el presente trabajo, a partir de la descripción del estado de situación actual y la problemática del tema de investigación compartiremos los objetivos que motivaron la investigación, algunas acciones desarrolladas y los resultados alcanzados hasta el momento.

Estado de la cuestión

La mayoría de los 1200 millones de pobres del mundo, dos tercios de los cuales son mujeres, viven en países con escasez de agua y no tienen acceso a suministros de agua seguros y fiables. Al menos el 70% de las personas muy pobres del mundo viven en zonas rurales y la mayor parte de estas personas dependen de la agricultura para su sustento (IFAD, 2012).

Las mujeres hacen contribuciones esenciales a la economía rural de todos los países en desarrollo como agricultoras, trabajadoras y empresarias. En promedio, comprenden el 43% de la fuerza laboral agrícola en los países en desarrollo.

La conducción de los espacios comunitarios de gestión del agua es un ámbito de difícil acceso para las mujeres, quienes enfrentan mayores dificultades debido a que cuentan con menos recursos y mayor carga de trabajo doméstico en los hogares (Cleaver, 1998 citado en GWA-UNDP, 2006).

Las políticas del agua a menudo se basan en perspectivas generalizadas que carecen de perspectiva de género y conocimiento local (WWAP, 2012). Al no integrar las consideraciones de género en la gestión de los recursos hídricos y también en sectores como la agricultura, el abastecimiento urbano de agua, la energía y la industria, persisten las inequidades de género, impidiendo la adopción de soluciones innovadoras que puedan proponer las mujeres (WWAP, 2012).

Cabe mencionar que, en la actualidad, las mujeres se ven más afectadas en lo laboral, económico y social debido a los efectos de la pandemia COVID-19. A ello debemos agregar que organismos como Naciones Unidas advierten que, sin acceso a agua salubre, especialmente para quienes viven en situaciones de vulnerabilidad, los efectos de la pandemia podrían ser más graves. Además, se advierte que los escasos logros en materia de igualdad de género y derechos de las mujeres podrían revertir.

Problemática planteada

La información recabada durante la primera etapa del desarrollo de la investigación, originada en documentos de organismos internacionales, publicaciones en revistas especializadas, etc. nos permitió poner de manifiesto la vigencia de la problemática planteada.

El último informe de Naciones Unidas, del 22 de septiembre de 2022, destaca no solamente que no se podrá cumplir el ODS 5 — lograr la igualdad de género— para 2030, sino que se estima que, al ritmo de progreso actual:

- tomaría alrededor de 286 años cerrar la brecha que existe en cuanto a protección legal y eliminar leyes discriminatorias,
- 140 años para que haya una representación equitativa de mujeres en posiciones de poder y liderazgo en el lugar de trabajo, y
- al menos 40 años para lograr una representación equitativa en parlamentos nacionales.

Objetivos de la investigación

El objetivo general del proyecto fue crear un ámbito específico para reflexionar, visualizar y valorar la función de la mujer y su vínculo con el agua en LAC, para promover la creación de un nuevo paradigma de desarrollo sostenible en el que se integre la preservación del ambiente en general y del agua en particular con la igualdad de la persona humana.

Fueron objetivos específicos:

- analizar cuál es el rol de las mujeres en sus comunidades, tanto como proveedoras de agua para sus familias, como en la gestión y preservación del recurso;
- visibilizar y sensibilizar sobre la importancia del rol de la mujer en la gestión, uso y preservación del agua;
- generar un espacio de reflexión sobre igualdad de oportunidades y de derechos en relación con los recursos hídricos, la tierra, el ambiente, etc.;
- identificar las dificultades a las que se enfrentan las mujeres para llegar a la conducción, gestión, manejo y preservación de los recursos hídricos;
- destacar la importancia de la inclusión de las mujeres en la gobernanza de los recursos hídricos y
- formular propuestas de cambios normativos y políticas hídricas que contengan medidas concretas del enfoque propiciado.

Actividades de transferencia realizadas en el marco del proyecto

En el marco del presente proyecto se han organizado y llevado a cabo una serie de actividades entre las que destacamos ciclo de charlas, encuestas, workshops, conmemoraciones, participación en eventos académicos y jornadas de investigación. En particular resulta importante destacar por su trascendencia nacional el Ciclo de Encuentros: *Agua y Género en América Latina y el Caribe* que fue ideado con motivo de la conmemoración del 25° aniversario de la Declaración y Plataforma de Acción de Beijing y que se desarrolló en modalidad virtual en razón de la pandemia Covid-19 con charlas mensuales y se extendió de marzo a noviembre de 2021.



Figura 1: Flyer de convocatoria a uno de los encuentros.

Resultados parciales alcanzados

Como resultados del proceso de investigación llevado adelante y por sobre todo de las experiencias compartidas a partir de las actividades desarrolladas en el marco del proyecto se identificaron diversos problemas, brechas y vulnerabilidades de las mujeres en su relación con la gobernanza del agua en LAC, entre los que podemos citar:

- a. La participación de mujeres en la gestión y preservación del ambiente en general y del agua en particular, tanto en usos domésticos como productivos, su participación en la toma de decisiones, el acceso a la titularidad de la tierra y a los derechos de agua, son una pieza clave para alcanzar el desarrollo sostenible e inclusivo en Latinoamérica

- b. El presente escenario de eventos hidrológicos extremos, sequía/inundaciones impacta mayormente la realidad de las mujeres y niñas.
- c. Existe segregación horizontal o cuantitativa, que es la que se produce en la medida que algunas áreas de gestión del agua están ocupadas especialmente por mujeres, en tanto que otras por varones
- d. Existe segregación vertical o cualitativa, ya que en los puestos más altos la presencia de mujeres es limitada y ello no es proporcional con el número de mujeres calificadas.

Más allá de los datos obtenidos durante la investigación resulta oportuno mencionar que motivadas por el estado de situación del tema y con la finalidad de crear un espacio para la investigación específica de la problemática se presentó a las autoridades de la Universidad de Mendoza un proyecto de creación de un instituto que facilite transferir a la sociedad orientaciones estratégicas para alcanzar un nivel óptimo de igualdad y equidad que facilite el desarrollo de capacidades y la construcción de Estados de bienestar como componentes centrales de un nuevo paradigma de desarrollo económico, social y ambiental sostenible. Dicho proyecto fue aprobado por el Consejo Académico de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Mendoza, por lo que en breve se pondrá en funcionamiento el *Instituto interdisciplinario por la Equidad e Igualdad para un Desarrollo Sostenible*.

Conclusión

El trabajo de investigación desarrollado hasta la fecha y que continuará hasta 2024 en el marco del Proyecto de la Universidad de Mendoza denominado “*Agua y Género en América Latina y el Caribe*” nos permitirá elaborar un diagnóstico del estado de situación de la temática donde se identificarán los nudos estructurales de la desigualdad y las barreras sistémicas que impiden a las mujeres el acceso a la tierra, a concesiones de uso de agua y a créditos, entre otras inequidades.

A partir de los resultados que se obtengan de la investigación en curso, adicionados a los de la primera etapa del proyecto, se estima poder realizar un aporte para que quienes diseñan el contenido de políticas públicas y para quienes realizan acciones concretas puedan planificar un futuro sostenible e inclusivo y con ello acelerar los cambios necesarios hacia una gobernanza equitativa del recurso hídrico.

Referencias

- Cleaver, F. (1998). “Incentives and informal institutions: Gender and the management of water,” *Agriculture and Human Values*, 15, pp. 347-360
- GWP-UNDP (2006). Guía de Recursos: Transversalización del enfoque de género en la gestión del agua. https://www.un.org/esa/sustdev/inter_agency/gender_water/resourceGui_de_Spanish.pdf
- IFAD (2012). Gender and water. Securing water for improved rural livelihoods: The multiple-uses system approach.
- ONU MUJERES (2018). Hacer las promesas realidad. La igualdad de género en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. ONUMJERES, Nueva York, Estado Unidos
- UNESCO (2021). Taking Stock of Progress Towards Gender Equality in the Water Domain. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, Francia.
- UN-WATER (2012) Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2012. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2012>
- UN-WOMEN (2022). Progress on the Sustainable Developments Goals. The Gender Snapshot 2022. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

AGUA Y MUJERES

Marite Badui, Marcela Andino y Sergio Marinelli

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215
licbadui@gmail.com, marcelaandino71@gmail.com, slmarinelli@gmail.com

Introducción

La dificultad que encuentran muchas mujeres para acceder a la titularidad de tierras, implica límites no sólo para la productividad económica, sino también a la participación activa en la gobernanza del recurso hídrico. La implementación del enfoque de género es necesario para la identificación y posterior eliminación de las brechas sociales, económicas, culturales, educacionales y laborales asociadas a la participación de las mujeres en distintos rubros a los fines de alcanzar un desarrollo verdaderamente sostenible. La mayoría de los 1200 millones de pobres del mundo, dos tercios de los cuales son mujeres, viven en países con escasez de agua y no tienen acceso a suministros de agua seguros y fiables.

Las mujeres hacen contribuciones esenciales a la economía rural de todos los países en desarrollo como agricultoras, trabajadoras y empresarias, que, en promedio, comprenden el 43% de la fuerza laboral agrícola, de los países en desarrollo. Las políticas del agua a menudo se basan en enfoques que carecen de perspectiva de género. Sin dicho enfoque en la gestión de los recursos hídricos persistirán las inequidades de género que impiden la adopción de las soluciones innovadoras que puedan proponer las mujeres.

A nivel internacional, varias declaraciones e instrumentos abordan la temática del rol de las mujeres y su vinculación con el agua (Declaración de Dublín y la Plataforma de Acción de Beijing). En el orden local la autoridad del agua de Mendoza, siguiendo tales lineamientos, ha creado el Programa Agua y Mujer con el objetivo férreo de visibilizar y fortalecer el rol de la mujer en la gobernanza del agua.

Brechas de gobernanza

La dificultad que encuentran muchas mujeres para acceder a la titularidad de tierras, implica límites no sólo para la productividad económica, sino también a la participación activa en la gobernanza del recurso hídrico.

La relación de las Mujeres y el Agua no está exenta de la predominancia de roles estereotipados que limitan su actuación en las múltiples dimensiones del recurso, tanto en la gestión, uso y preservación, como en la distribución de espacios de decisión y liderazgo.

Es que la relación de la Mujer con el recurso hídrico va más allá de la relación Mujer y agricultura. El agua, presente en todas las dimensiones de la actividad humana, requiere de una mayor y más profunda participación de las Mujeres.

En todas las actividades económicas que hacen uso del agua, en mayor o menor medida, se observan brechas de género, ya sea en materia salarial, laboral, techos de cristal, etc. Visibilizar estas situaciones desde la perspectiva -agua y economía- es sin duda un arduo trabajo a realizar.

Puede advertirse que, en lo que conocemos como “Economía del Cuidado” donde sí se observa una mayor preponderancia de las mujeres en el trabajo no remunerado, ellas son clave para avanzar en la concientización de un mejor uso del recurso hídrico al servicio de la alimentación y la salud.

Las Mujeres y el Agua en la Provincia de Mendoza

La distribución de la tierra y el acceso al agua en la provincia de Mendoza lejos se encuentra de ser una relación equitativa. La relación mujer-agua-tierra y agricultura presenta inequidades en sus vínculos con respecto a los hombres.

En Mendoza rige, por disposición constitucional, el principio de inherencia en virtud del cual el agua se encuentra adscripta a la tierra a la que se concede, es decir el derecho al uso del agua para la agricultura se otorga a la tierra a la que beneficia.

La mayoría de los títulos de propiedad de las tierras destinadas a la agricultura se encuentran inscriptos a nombre de hombres, aun cuando dichos inmuebles tengan calidad de bienes gananciales, consecuencia de lo cual solo ellos podrán solicitar concesiones o permisos de uso del agua, a su cargo estarán las decisiones referidas a gestión intra finca del recurso y el ejercicio de los derechos derivados de dichos títulos, tales como la participación activa en la gobernanza del recurso.

En la provincia el 13% de concesiones para el uso de agua subterránea están registrados a nombre de mujeres y sólo el 20% de los títulos jurídicos para el uso de aguas superficiales se encuentran en manos de mujeres. Consecuencia de ello muchas mujeres no participan de la gestión ni la gobernanza del agua.

El riego es considerado, simbólica y culturalmente, una actividad de hombres a pesar que son muchas las mujeres que participan en ella. Ello ocasiona que, tanto en los proyectos de riego y en la definición de obras de infraestructura para la distribución del agua, como en la asignación de subsidios, en la definición de los componentes que atienden la asistencia técnica y el fortalecimiento institucional, no se las consulte ni considere, y en general se las excluya de las decisiones y de los beneficios, potenciando la discriminación y la inseguridad que las afecta.

Los mencionados roles estereotipados se encuentran con fuerza en materia de recursos hídricos, ya sea en los espacios de participación como de gestión, algunos ejemplos pueden citarse:

- Personal de la autoridad del agua (DGI): 30% son mujeres
- De 396 Tomeros, (encargados de la conducción del agua hasta las fincas): sólo 1 es mujer
- De 138 Inspectores de Cauce, (responsables de la distribución de la red secundaria de riego): 3 son mujeres

Por último, resta mencionar que los efectos del cambio climático no afectan por igual a mujeres y hombres, dado su mayor nivel de vulnerabilidad.

Es fundamental por todo ello la implementación del enfoque de género necesario para la identificación y posterior eliminación de las brechas sociales, económicas, culturales, educacionales y laborales asociadas a la participación de las mujeres en distintos rubros para alcanzar un desarrollo verdaderamente sostenible.

Las mujeres rurales son agentes clave para conseguir los cambios económicos, ambientales y sociales necesarios para el desarrollo sostenible pero su acceso limitado al crédito, la asistencia sanitaria y la educación se encuentran entre los muchos retos a los que se enfrentan.

Empoderar a este colectivo no solo es fundamental para el bienestar de las personas, familias y comunidades rurales, sino también para la productividad económica general, dada la amplia presencia de mujeres en la mano de obra agrícola mundial. (ONU MUJERES).

Programa Agua y Mujer

En ese marco el Departamento general de Irrigación creó el Programa Agua y Mujer, cuyos objetivos y ejes de trabajo definidos buscan mediante acciones concretas, acortar la brecha de gobernanza de los recursos hídricos y propiciar una mayor inserción de la mujer en la economía a partir de los usos del agua, como así también una mayor toma de conciencia de la necesidad de preservación del recurso con las Mujeres como actoras clave de este proceso.

La principal finalidad de dicho programa es dar visibilidad y fortalecer el rol que las mujeres en general y las mendocinas en particular juegan en la administración, gestión, y uso del agua en pos del desarrollo sostenible y alcance de la meta de seguridad hídrica.

De esta manera, el programa, reconoce y propicia con su accionar la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 5 y 6), particularmente aquellos que velan por la igualdad y el empoderamiento de las mujeres como elemento esencial de todas las dimensiones del desarrollo inclusivo y sostenible y aquellos tendientes a un uso del agua más eficiente, productivo y respetuoso con el medio ambiente.

Dicho programa tiene como principales objetivos:

- I. Visualizar el rol de la mujer y propiciar su participación para alcanzar el desarrollo sostenible a partir del uso del agua en el marco de los ODS 5 y 6.
- II. Visibilizar a mujeres vinculadas a temáticas hídricas.
- III. Fortalecer el rol de la mujer en los distintos ámbitos en que se desarrolla.
- IV. Fortalecer sus capacidades en el manejo, control y preservación de los recursos hídricos, mediante la generación de espacios de diálogo, capacitaciones y todo aquello que permita incrementar su participación
- V. Sensibilizar sobre la importancia y rol de la mujer en la gestión y uso del agua, orientando la agenda de políticas públicas y coordinando acciones con el sector privado y la sociedad civil.
- VI. Generar espacios de diálogo, capacitación y encuentro que permitan sentar las bases de acciones en conjunto.

Acciones

Con el fin de visibilizar el trabajo vinculado a los usos, gestión y gobernanza del agua en Mendoza invitamos a las mujeres mendocinas a sumarse a la campaña *#SoyParteDeAguaYMujer*.

A través de videos cortos, que luego se divulgan en nuestra página y redes, comparten su experiencia y vínculo con el Agua. Se trata de otra forma de abrir espacios de intercambio de experiencias con mujeres que se desempeñan y se reconocen "actoras" en el ámbito del agua.

El fortalecimiento de capacidades se ha fomentado a través de un ciclo de charlas sobre temas claves que tiene como objetivo abordar distintas temáticas que describan, analicen y pongan en evidencia la importancia del vínculo entre la mujer y el agua en relación a todos sus usos.

Por otra parte, para valorar y visibilizar el rol de la mujer en la

gestión y gobernanza del agua, en ocasión del mes de marzo de 2022, -el día de la mujer y los días mundial y nacional del agua-, se generaron espacios para visibilizar a mujeres que, con sus investigaciones y proyectos vinculados a las obras hídricas, históricas y futuras, conforman parte del Paisaje Cultural Mendoza y son creadoras de oasis. Este último mes de marzo de 2023 se realizó un encuentro bajo el lema "*Mismo género diversas miradas sobre el agua*" donde se reunieron a destacadas mujeres del medio vinculadas a la economía, la academia, la política, la justicia y a la sociedad toda donde cada una de ellas, desde su rol personal, compartió su mirada sobre el recurso hídrico.

Referencias

CAF Banco de Desarrollo de América Latina. "Las mujeres deben tener un rol activo en la gestión del agua" <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2016/03/las-mujeres-deben-tener-un-rol-activo-en-la-gestion-del-agua/>

Declaración y Plataforma de Acción de Beijing (PAB), adoptada por los gobiernos en la Cuarta Conferencia Mundial de la Mujer de 1995.

IFAD (2012). Gender and water. Securing water for improved rural livelihoods: The multiple-uses system approach.

Naciones Unidas (2019). Estudio Mundial sobre el Papel de la Mujer en el Desarrollo. Septuagésimo cuarto período de sesiones.

ONU MUJERES (2018). Hacer las promesas realidad. La igualdad de género en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. ONUMUJERES, Nueva York, Estado Unidos

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. "Agua y Género." <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/water-and-gender/>

UNWOMEN (2022). Progress on the Sustainable Developments Goals. The Gender Snapshot 2022. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

REFLEXIONES SOBRE LA PARTICIPACIÓN DE LAS MUJERES EN CIENCIA, TÉCNICA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ARGENTINA

D. Chavasse¹, B. Faro¹, S. Rafaelli¹, P. Lopez¹, L. Imburgia², L. Vicario¹, L. Cobarbo¹

¹ Instituto Nacional del Agua, Argentina, dchavasse@ina.gov.ar/bfaro@ina.gov.ar/srafaelli@ina.gov.ar; pmlopezguzman@gmail.com; lvicario@ina.gov.ar; lgcobarbo@ina.gov.ar

² Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos (UNESCO WWAP), lvimburgia@unesco.org

Introducción

Con el propósito de elaborar un diagnóstico sobre la participación de la mujer en la ciencia, técnica y gestión integrada de los recursos hídricos en Argentina en el marco del enfoque de género y cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se desarrolló un proyecto entre el Instituto Nacional del Agua, UNESCO y otros organismos, en el período 2020/2021 (Rafaelli et al., 2021).

Es de destacar, que este estudio de agua y género no tiene precedentes en Argentina y sus resultados son de fundamental importancia como línea de base para posteriores iniciativas similares.

En el presente trabajo se aportan reflexiones relacionadas con la ejecución y los resultados obtenidos en el mencionado proyecto.

Bases y Desarrollo

El proyecto analizó las brechas de género entre mujeres y varones que participan en el ámbito de los recursos hídricos, en carreras universitarias relacionadas al tema (inscritos y egresados), gobiernos universitarios, sectores vinculados a la ciencia y ámbitos de gestión incluyendo organismos de gobierno y prestadoras de agua potable y saneamiento. Para este análisis fue necesario también revisar y reflexionar sobre el marco normativo internacional, regional y nacional y su vinculación con los ODS y sus metas, haciendo hincapié en la relevancia e impacto que estos instrumentos tienen para los derechos humanos, la igualdad de género y los derechos de las mujeres, el medio ambiente y el agua.

La información recopilada, desglosada por sexo, se analizó utilizando indicadores de agua y género del Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos (UNESCO WWAP) y de los ODS. Se seleccionaron dos grupos prioritarios de indicadores WWAP (Fig. 1) y cinco objetivos ODS (Fig. 2).

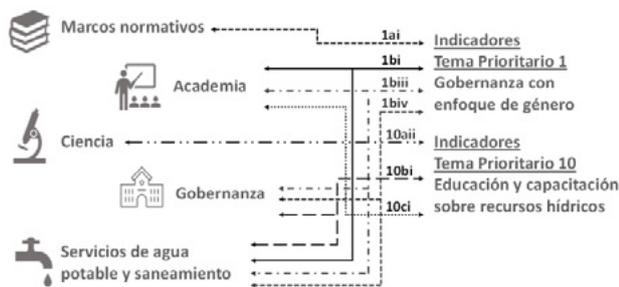


Figura 1.- Indicadores UNESCO WWAP



Figura 2.- ODS considerados en el proyecto

Aplicación de Indicadores

Indicadores de agua y género WWAP

UNESCO WWAP ha desarrollado un paquete metodológico (Miletto et al., 2021) para recoger datos sobre recursos hídricos desglosados por sexo, cuantificar impactos y presentar resultados en cumplimiento de la Agenda 2030.

En el proyecto se tomaron los indicadores WWAP de agua y género del tema prioritario 1 “Gobernanza de los recursos hídricos con perspectiva de género” y del tema prioritario 10 “Enseñanza y formación sobre recursos hídricos”.

Estos indicadores permitieron identificar y analizar brechas de género en la mayor parte de las áreas analizadas. En algunas de ellas, especialmente en investigación y sector académico, se debieron adaptar indicadores y/o proponer un indicador propio como se recomienda en Imburgia et al., 2021.

Entre las limitaciones para recopilar datos se identificó que existe muy poca información en distintos temas clave del sector agua desglosada por género, como por ejemplo, empleo, salarios y capacitación. Además, se observó que muchos datos disponibles no son confiables (ya sea por discontinuidad de las series de datos o por los métodos de recopilación), lo cual es uno de los mayores obstáculos para la evaluación del estado de situación de la igualdad de género en el ámbito del agua.

Indicadores para los ODS

La Agenda 2030 y los ODS constituyen la más reciente y ambiciosa hoja de ruta para superar los problemas más críticos que afronta la humanidad en materia de desarrollo económico y reducción de la pobreza, seguridad alimentaria, salud, equidad de género, paz, sostenibilidad y resiliencia climática de las comunidades, ecosistemas y sistemas de producción (UN, 2020). Por la naturaleza y escala de este estudio, se buscó proporcionar un análisis general que provea información adicional sobre los ODS 4, 5, 6, 16 y 17 (Fig. 2) y su aplicación en el país.

Si bien los ODS e indicadores relevantes aplicados en este proyecto permiten una noción sobre el estado de avance en el país, resultan insuficientes para analizar y explicar la situación de igualdad de género en las áreas específicas de este proyecto: academia, ciencia, y gestión de los recursos hídricos. La aplicación de los indicadores para ODS, no contemplan el análisis de datos desglosados por sexo en la mayoría de las áreas analizadas por este proyecto.

Resultados y reflexiones

A partir de los resultados de este estudio (accesibles en Rafaelli et al., 2021), se pudo identificar que en Argentina:

- La participación de la mujer permanece como un tema aún poco analizado debido a la falta de información y evidencia empírica. La disponibilidad de datos desglosados por género en la administración y gestión de los recursos hídricos son esenciales para desentrañar las causas fundamentales de las desigualdades, permitiendo de este modo tomar decisiones informadas y eficaces.

- Persisten estereotipos de género sobre las capacidades y desempeño de las mujeres en carreras ligadas a las ingenierías y actividades técnicas de campo.
- La integración de la perspectiva de género en la política hídrica nacional es escasa, lo que dificulta construir gobernanza hídrica con justicia social y democracia. La incorporación de una perspectiva inclusiva debe ser una prioridad al momento de definir políticas, programas y proyectos de gestión hídrica.

En relación con los indicadores WWAP:

- La utilización de los indicadores de agua y género WWAP resulta una muy importante herramienta y se recomienda su adopción para la evaluación de los avances en igualdad de género dentro del ámbito de los recursos hídricos.
- Se considera necesario definir nuevos indicadores WWAP específicos para el ámbito de la investigación en recursos hídricos, de modo de poder reflejar adecuadamente la situación de igualdad de género.

En relación con el cumplimiento de los ODS:

- La educación igualitaria de género en áreas de ciencia e ingenierías vinculadas a los recursos naturales presenta un importante potencial para ser considerado dentro del ODS 4, dada su fundamental importancia para el desarrollo sostenible en pos de reducir las brechas y barreras de género existentes en dichos sectores.
- Se evidencia que dentro del ODS 6 no existen indicadores apropiados para la temática de participación de género en la ciencia, técnica y gestión de los recursos hídricos. Esto resulta una oportunidad para la posible definición de uno o más indicadores adaptados al contexto de nuestro país.
- La incorporación de compromisos de medición específicos que promuevan la integración de los ODS 5 y 6, es de fundamental importancia para disminuir las brechas en el acceso, uso y gestión de los recursos hídricos.

En particular, para garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos (ODS 4) se propone:

- Revisar y modificar estereotipos de género -que se establecen desde la educación inicial- con relación a las áreas de estudio y/o laborales.
- Motivar a las niñas durante la escuela primaria y posteriormente brindar oportunidades para que desarrollen una formación técnica, profesional y superior en áreas tradicionalmente masculinizadas.
- Mejorar la enseñanza de los cursos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) e incluir modelos científicos femeninos en los libros de texto.

Para lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas (ODS 5) y promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible (ODS 16) se requiere:

- Promover un cambio cultural sobre el rol de las mujeres en cargos de toma de decisión y asegurar cupos igualitarios asociados a niveles técnicos. Esto demanda la eliminación de los estereotipos sobre la imposibilidad de las mujeres para ejercer roles de liderazgo.
- Promover una mayor conciencia de la necesidad de una redistribución igualitaria de las tareas de cuidado, acompañado por medidas que favorezcan dicha redistribución.

Consideraciones Finales

El análisis del rol de las mujeres en distintos aspectos de los recursos hídricos en Argentina -en el marco de la transformación de los desafíos mundiales asociados al agua- mostró la necesidad de incorporar la perspectiva de género en el diseño de los proyectos institucionales. En particular, se puso en evidencia la necesidad de una mayor y más significativa participación de las mujeres en instancias de gestión y toma de decisiones en el ámbito de referencia.

Cabe destacar, que a partir del año 2020 se evidenció en distintos ámbitos del sector público nacional un creciente interés por garantizar la incorporación de la perspectiva de género en el diseño e implementación de las políticas públicas. Por ejemplo, el Ministerio de Obras Públicas instituyó el Programa para la Transversalización de las Políticas de Género y Diversidad, conformando la “Red de Género y Diversidad” de la cual forman parte los organismos, entes y empresas nacionales relacionados con los recursos hídricos que fueron relevadas en el proyecto. Sin embargo, aún se requiere institucionalizar políticas de integración de género específicas para el ámbito del agua.

Por otra parte, dentro del Consejo Hídrico Federal, conformado por los Estados Provinciales, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Estado Nacional, fue creada la comisión de Agua y Género. Dicha comisión está impulsando importantes acciones como la incorporación de aspectos de género dentro de los principios rectores de la política hídrica nacional y de los planes directores de cuencas a nivel de las jurisdicciones.

Además, la realización de este proyecto ha permitido a la Argentina -como Estado Miembro de la ONU- y a este grupo de investigadoras y sus respectivas instituciones, integrarse a una coalición global de gobiernos e instituciones aliadas que, liderados por UNESCO WWAP, están llevando adelante la iniciativa “Llamado a la acción para acelerar el logro de la igualdad de género en el ámbito del agua”. Esta iniciativa busca lograr una masa crítica de países e instituciones que aúnen esfuerzos y se comprometan con la implementación de acciones concretas. Hasta la fecha, más de 160 miembros pertenecientes a 21 países, y múltiples instituciones nacionales e internacionales se han unido a la iniciativa.

Abordar un aspecto crítico de los recursos hídricos que no había tenido suficiente atención en el país -la participación de las mujeres- y hacerlo en forma sistemática y colaborativa, ha probado ser una eficaz forma de promover cambios concretos en vista de los plazos cada vez más breves hacia la finalización de la Agenda 2030.

Referencias Bibliográficas

- Imburgia L., P. López and S. Rafaelli**, (2021). “*Enfoque metodológico para la aplicación de los indicadores de agua y género de UNESCO WWAP: el ejemplo de Argentina*”. Publicación UNESCO WWAP/SC-2020/PI/1: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374925_spa
- Miletto, M., V. Pangare, y L. Thuy**, (2021). “*Indicadores con perspectiva de género para la evaluación, el seguimiento y la presentación de informes sobre los recursos hídricos*”, UNESCO Publishing Vol. 1. París, Francia. ISBN: 978-92-3-300167-1 <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379541>
- Rafaelli, S., P. López, L. Cobarbo, B. Faro, D. Chavasse, L. Vicario, L. Salamone y L. Imburgia**, (2021). “*Participación de la mujer en la ciencia, técnica y gestión de los recursos hídricos en Argentina*”. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/participacion-mujer-ciencia-agua-informe-final.pdf>
- ONU (Naciones Unidas)** n.d. “*Objetivos de Desarrollo Sostenible*”. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (Consulta: 07 mayo 2023).

EXPERIENCIAS DE INTEGRACIÓN DE PERSPECTIVA DE GÉNERO EN OBRAS DE CONTROL TORRENCIAL. QUEBRADA DE HUMAHUACA. JUJUY. ARGENTINA.

Prieto Villarroya, Jorge^{1,2} ; Borsellino, Marcelo^{1,2} , Castellano, Edgardo¹ , Quiroga, Noelia Judith³

¹ Comisión Regional del Río Bermejo COREBE. Ministerio Obras Públicas. Argentina

² Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT – UNSE. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

³ Municipalidad de Humahuaca. Jujuy Argentina

jprietovillarroya@corebe.org.ar; jorgeprieto Villarroya@yahoo.com.ar

Introducción

La igualdad de género en el ámbito laboral y la lucha contra la discriminación han sido temas de gran relevancia en las últimas décadas. En el campo de la ingeniería y la construcción, las mujeres han enfrentado históricamente desafíos y barreras que han limitado su participación activa y equitativa. En respuesta a esta problemática, se han implementado prácticas como la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería. Estas cláusulas buscan promover la igualdad de género y fomentar la participación femenina en el sector.

En este artículo, se presenta un estudio de caso sobre las "Obras de Defensa y Protección contra Inundaciones en la Quebrada de la Cancha", llevadas a cabo en la Municipalidad de Humahuaca, en la Provincia de Jujuy. Estas obras consisten en acciones estructurales para controlar inundaciones mediante la construcción de protecciones semiflexibles de gaviones.

Este tipo de acciones, tradicionalmente siempre ha estado reservado a trabajadores varones, de hecho los manuales técnicos de referencia siempre han hecho referencia a esta única posibilidad (Figura 1)

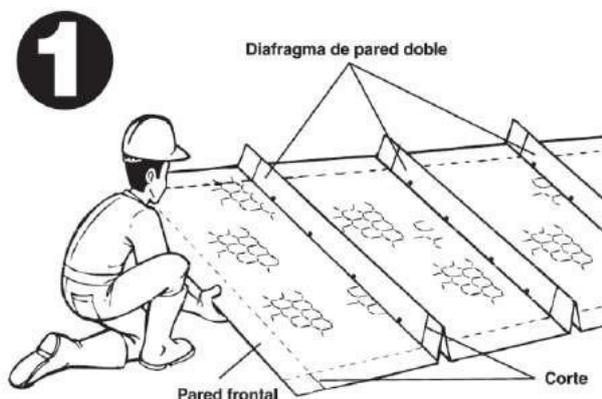


Figura 1.- Guía de instalación de Gaviones Maccaferri

Un aspecto destacado de este proyecto es la inclusión de un grupo o "cuadrilla" de mujeres, quienes participan en tareas de montaje de jaulas de alambre y relleno de gaviones con piedra, cumpliendo los mismos requisitos técnicos que sus compañeros varones

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es analizar el impacto de la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería, a través del caso de las "Obras de Defensa y Protección contra Inundaciones en la Quebrada de la Cancha". Los objetivos específicos son:

- Analizar la relevancia de las cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en el sector de la ingeniería y la construcción.

- Evaluar la participación de las mujeres en las tareas de construcción y montaje de gaviones en el proyecto de la Quebrada de la Cancha.
- Investigar los efectos de la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la igualdad de oportunidades y la reducción de brechas de género en el ámbito laboral.

Herramientas/Metodología

En este estudio se aplicó un enfoque mixto de investigación, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. El mismo fue llevado a cabo conforme a las siguientes etapas:

1.- Revisión bibliográfica: Se realiza una búsqueda exhaustiva de literatura científica, investigaciones previas y documentos relacionados con la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería.

2.- Recopilación de datos: Se realizan entrevistas semiestructuradas con representantes de la Municipalidad de Humahuaca, mujeres trabajadoras del proyecto, asociaciones, cooperativas, representantes de pueblos originarios, organizaciones no gubernamentales y otros actores relevantes. También se recopilan datos cuantitativos sobre la participación y desempeño de las mujeres en las tareas de construcción.

3.- Análisis de datos: Se lleva a cabo un análisis temático de las entrevistas cualitativas y se utilizan herramientas estadísticas para el análisis de los datos cuantitativos.

4.- Capacitaciones: Se realizaron talleres de capacitación previa al inicio de las obras. Los participantes se interiorizan de la tipología de material, herramientas y procedimiento de trabajo (Figuras 2, 3, 4, 5 y 6).



Figura 2.- Vista superior de la Quebrada y cuadrilla de mujeres



Figura 3.- Jaula de Gaviones, en etapa de relleno



Figura 4.- Entrevista a trabajadora encargada de del relleno de jaulas



Figura 5.- Vista frontal de la defensa una vez finalizada



Figura 6.- Receso compartido entre ambas cuadrillas

Resultados

Durante los 8 meses de duración de la obra, estuvo traajndo una cuadrilla formada exclusivamente por 4 mujeres, con rendimiento de armado y relleno de 5 jaulas (de 5 módulos cada una) por día. Rendimiento similar al de sus compañeros varones

Los resultados preliminares obtenidos muestran que la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería ha tenido un impacto positivo en el proyecto de la Quebrada de la Cancha.

Las mujeres integrantes de la cuadrilla han demostrado habilidades y competencias técnicas equivalentes a las de sus compañeros varones.

Además, se ha observado una mayor motivación y satisfacción laboral entre las mujeres, lo que ha contribuido a un ambiente de trabajo más inclusivo y equitativo.

Conclusiones

En conclusión, la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería es una práctica efectiva para promover la igualdad de género y reducir las brechas existentes en el sector.

El estudio de caso de las "Obras de Defensa y Protección contra Inundaciones en la Quebrada de la Cancha" ha demostrado que es posible integrar mujeres en roles técnicos y garantizar condiciones laborales igualitarias.

Estas cláusulas representan una herramienta importante para avanzar en políticas de igualdad de género y promover la participación activa de las mujeres en el campo de la ingeniería y la construcción.

Posibles líneas de ampliación, investigación y mejora de los aspectos tratados en el estudio:

1.- Análisis de barreras y desafíos: Investigando las barreras y desafíos específicos que enfrentan las mujeres al ingresar y participar en el campo de la ingeniería y la construcción: obstáculos culturales, sociales y estructurales que limitan su participación.

2.- Impacto de la inclusión de cláusulas de género: Realizando un estudio detallado sobre los efectos y el impacto de la inclusión de cláusulas de perspectiva de género en la contratación de mujeres en obras de ingeniería. Los resultados deben ser examinados en términos de igualdad de oportunidades, participación laboral, desarrollo profesional y equidad salarial.

3.- Experiencias y perspectivas de las mujeres trabajadoras: Realizando investigaciones cualitativas que capturen las experiencias, perspectivas y desafíos específicos de las mujeres que trabajan en obras de ingeniería (motivación, satisfacción laboral y estrategias para enfrentar la discriminación).

4.- Formación y capacitación: Investigando los programas existentes de formación y capacitación diseñados específicamente para mujeres y valorando su aplicabilidad en esta tipología de obras.

Bibliografía

Alonso-Villarón, I., & Echeverri-Carroll, E. L. (2020). *Gender perspective and diversity management in the construction industry: A systematic review of research*. Journal of Cleaner Production, 271, 122691.

García-Rivero, M. A., Ortiz-Gómez, M., & Montoro-Ríos, F. J. (2020). *Integrating gender perspective into engineering education: Analysis of case studies in European universities*. European Journal of Engineering Education, 45(3), 315-333.

EL CASO RAMONA POR EL ACCESO AL AGUA EN VILLA 31 DURANTE LA PANDEMIA DE COVID-19. UNA PERSPECTIVA ECOFEMINISTA DE LAS INJUSTICIAS HÍDRICAS

1^{er}. Lucía Sayapin, 2^{do} Zahira Amira Santos y 3^{er}. Soledad Fernández Bouzo

IIGG-UBA. Argentina - sayapin.lucia@gmail.com

IIGG-UBA. Argentina - amirasantos4@gmail.com

IIGG-UBA/CONICET - Argentina - soledad.fernandezbouzo@gmail.com

Introducción

La pandemia de Covid 19 dio lugar a una crisis sanitaria y social sin precedentes. En Argentina, este proceso se consolidó con el establecimiento del Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO), decretado por el gobierno nacional en marzo de 2020. La crisis sociosanitaria colocó en la escena pública la problemática del acceso y la provisión de agua como servicio esencial para la prevención del Covid 19. Esto trajo aparejado nuevas demandas y reclamos por parte de residentes y organizaciones sociales frente a agencias gubernamentales y organismos encargados de la provisión del servicio. La problemática del acceso al agua en el caso de la villa 31 fue particularmente abordada en la agenda mediática y política.

Este trabajo explora las prácticas y sistemas de significación presentes en las demandas y controversias articuladas en torno al servicio del agua en la villa 31, por parte de residentes, organizaciones sociales, agencias gubernamentales y organismos encargados de la provisión del servicio, desde el inicio del ASPO.

Desde una perspectiva ecofeminista crítica situada en los territorios, se analizan las iniciativas organizativas de las mujeres en relación con la gestión del agua en tiempos de aislamiento social, así como su representatividad en roles de liderazgo local, en un barrio en el cual conviven un conjunto heterogéneo de actores sociales. El caso paradigmático de Ramona Medina se tomará como principal eje.

Perspectivas de analíticas y metodológicas

Para el análisis se pusieron en diálogo dos perspectivas. La primera, centrada en la noción de territorios hidrosociales proveniente de la ecología política del agua (Ibor y Boelens, 2018), permite incluir la dimensión espacial de las relaciones de poder y los conflictos generados en torno a disputas por saberes, discursos y recursos vinculados al agua en el territorio.

La segunda, centrada en las nociones de cuerpo-territorio (Cabnal, 2010) y agua-cuerpo-territorio (Zaragocin, 2018) para el sostenimiento de la vida y el cuidado de la salud, recupera los feminismos comunitarios de Abya Yala y el ecofeminismo crítico para señalar la distribución desigual de las tareas de cuidado vinculadas con la gestión del agua, según diferencias de clase, género y étnicas.

En cuanto a la metodología, se adoptó un abordaje cualitativo a partir de técnicas de análisis documental (Rapley, 2014) de las actas públicas del Consejo de Gestión Participativa (CGP) del barrio, publicaciones en medios de comunicación masivos y de difusión comunitaria al interior del mismo. Esto se complementó con el análisis de los contenidos visuales y audiovisuales (Banks, 2010) producidos por los vecinos y medios de comunicación comunitaria barriales, difundidos principalmente a través de Facebook y YouTube.

Análisis preliminar

La ecología política del agua plantea que la accesibilidad al recurso hídrico depende de factores técnicos, naturales y de cuestiones políticas que determinan las formas de producción y distribución del servicio de agua potable. De allí la importancia de comprender cada territorio desde una dimensión hidrosocial

que focalice en las relaciones sociales de poder entre diversos actores y sus intereses respecto de los flujos de agua.

En el caso de la villa 31, la provisión del servicio se veía impedida como consecuencia de una serie de factores como las obras de acueducto, las conexiones domiciliarias sin finalizar y el aumento abrupto de la demanda por el calor del verano y el ASPO. Además, en torno al agua interferían disputas políticas entre los funcionarios del gobierno local, los técnicos de la empresa proveedora del servicio y los vecinos. Mientras que el gobierno local aseguraba que la provisión de agua era una responsabilidad de AySA, los funcionarios de esta institución afirmaban que la misma era del gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Si bien desde 2006 la emergencia sanitaria por falta de acceso al agua ya se hacía visible (Diario Judicial, 19 de diciembre 2006), no es hasta los primeros meses del 2020, con la aparición del dengue y luego con el Covid 19, cuando los habitantes del barrio comenzaron a denunciar la falta de acceso al agua como una problemática socioambiental. Es en ese contexto sanitario crítico cuando se configura en el barrio un escenario de disputa por el acceso, la forma y la calidad de distribución del agua en términos ambientales.

En el año 2020, en las 22 Mesas de Gestión Participativa que tuvieron lugar dentro del CGP (el organismo de gestión de carácter consultivo, que al interior del barrio acompaña la gestión de la reurbanización), los vecinos mencionaron el tema del agua 39 veces, y realizaron 31 reclamos por falta de acceso o por fallas en la provisión del servicio debido a la falta de presión o por roturas de caños. La aparición de estos reclamos en las actas de las mesas del CGP ha sido una de las formas adoptadas por los vecinos para visibilizar y tornar legítimas las demandas.

Los reclamos identificados en torno al agua fueron realizados por 22 personas, en su mayoría consejeros vecinales, de los cuales 19 eran mujeres. Esto quiere decir que fueron ellas quienes mayoritariamente identificaron el estado del acceso al agua y quienes cumplieron un rol central como visibilizadoras de los reclamos, en la solicitud de información ante los organismos públicos y en la concientización de cuidado del recurso hídrico.

Las normas de la cultura patriarcal de nuestras sociedades asignan a las mujeres la responsabilidad de las tareas de cuidado y de reproducción social. Por esta razón, emergen también de estos grupos las demandas y reivindicaciones en torno a la desigual distribución de las tareas de cuidado. Esto pudo verse particularmente durante la pandemia, cuando el rol central de los cuidados para la sostenibilidad de la vida en nuestras sociedades se hizo más evidente (Batthyany et al., 2020) y emergió como tema de debate público.

Desde un enfoque ecofeminista crítico, existen estudios que identifican cómo las mujeres asumen la responsabilidad por los cuidados colectivos mediante el despliegue de praxis ecofeministas territoriales que muchas veces reclaman justicia hídrica (Fernández Bouzo, 2020). Algunas de las principales demandas articuladas se centran en la defensa del agua, los territorios ancestrales, la inseguridad y soberanía alimentaria y en la justicia ambiental como justicia social y de género (Svampa, 2021).

Ramona fue una referente comunitaria, coordinadora de Salud de la Casa de la Mujer de la Villa 31 y delegada de la organización

social y política La Poderosa (La Tinta, 2020). Además, tenía a cargo a sus dos hijas, una de ellas con requerimientos médicos especiales producto de una discapacidad múltiple. El caso de esta referente cobró particular relevancia en los medios de comunicación masivos, a partir de la difusión de un video en redes sociales en el cual denunciaba la falta de acceso al agua en la villa 31 durante la cuarentena. La delegada remarcaba la contradicción existente en los mensajes oficiales emitidos por el gobierno nacional y los gobiernos provinciales, quienes expresaban: “la recomendación general es simple, lavarse las manos con jabón regularmente” (Cadena Nacional, 5:28). Frente a esto Ramona denunciaba:

ochos días sin agua y nos piden que nos higienicemos, que nos lavemos las manos, ¿cómo pretenden ellos que nosotros no salgamos a la calle si yo tengo que ir todos los días a comprar o tengo que esperar que los compañeros me traigan agua? Porque nos pasamos todo el día sin agua (Nos mataron a Ramona, 0:34).

Ramona, como muchas mujeres de los barrios populares de Argentina, dedicaba gran parte de su tiempo y ponía su cuerpo a disposición para llevar adelante tareas de cuidado colectivo al interior de su hogar, con sus hijas y convivientes, y por fuera, como referente comunitaria. En este sentido, una de sus compañeras de militancia expresaba:

Ramona se tuvo que exponer ella primero y después tuvo que exponer su cuerpo, porque al final siempre terminamos siendo nosotras, las mujeres, quienes no solamente sostenemos las ollas populares, los comedores, sino también quienes terminamos poniendo el cuerpo y exponiendo nuestra salud para poder garantizar derechos básicos que no son garantizados (Página 12, 26 de abril 2020).

Aquí podemos ver el accionar de las mujeres que, como Ramona, se exponen a riesgos sanitarios dedicando su tiempo y esfuerzo para poder garantizar la sostenibilidad de la vida y el cuidado de la salud en sus barrios. Ellas se ocupan de las necesidades básicas de los cuerpos, siendo conscientes de la ecoddependencia de las personas respecto del agua, en estrecha conexión con las problemáticas de los territorios (agua-cuerpo-territorio).

Reflexiones finales

Del análisis se desprende que los vecinos adjudicaron la falta de acceso al agua a las obras de reurbanización iniciadas en el año 2018, fundamentalmente las del acueducto. Sin embargo, hasta enero del 2020 los reclamos fueron aislados y se redujeron a algunos sectores del barrio. En febrero, con la emergencia del dengue primero, y en marzo, con la aparición y circulación del Covid 19, el acceso al agua en la villa 31 comenzó a ser un problema social para cada vez más sectores del barrio. Se dio así un cambio en la valoración del acceso al agua como un derecho central para garantizar la salud en un contexto de crisis socio-sanitaria.

Con el inicio del ASPO observamos la modificación en la forma de visibilización del conflicto por el acceso al agua en la villa 31. Los cuestionamientos y demandas acerca de la provisión del servicio comenzaron a tener lugar en los medios de comunicación masivos alcanzando mayor visibilidad. Además, el conflicto en la agenda política adquirió una escala mayor, involucrando a funcionarios del gobierno local, del organismo de provisión de agua y a funcionarios públicos de importancia a nivel político. El acceso al agua se configuró, así como una problemática que salió de los límites de la villa 31, para hacerse presente en el espacio público y mediático de toda la ciudad.

Este conflicto puso en escena y resaltó el rol de las organizaciones sociales barriales en las tareas de cuidado comunitarias en tiempos de aislamiento social. La figura de

Ramona Medina, que tanta relevancia cobró en los meses de abril y mayo de 2020, puso en el centro de la escena el papel que cumplen las mujeres en las organizaciones del barrio para el sostenimiento de la vida. Ramona, como muchas otras mujeres, debido a la asignación desigual de las tareas de cuidados en nuestras sociedades, perdió su vida ocupándose de minimizar el riesgo socio-sanitario en su barrio y llevando adelante los reclamos vinculados con la gestión del agua para su familia y su comunidad.

Así, el contexto de crisis socio-sanitaria volvió a revelar las injusticias sociales experimentadas por los sectores populares y los impactos negativos en la salud que las desigualdades estructurales generan. La ecología política del agua y el ecofeminismo crítico nos ayudaron a comprender que existe una dimensión hidrosocial de las injusticias en los territorios, y que las mismas también son injusticias de género, especialmente para las mujeres que viven en los barrios pobres de la ciudad más rica de nuestro país. La falta de acceso al agua segura y de calidad en un contexto socio-sanitario crítico no hizo más que acentuar y reproducir las desigualdades preexistentes en los territorios.

Referencias Bibliográficas

- Banks, M.** (2010). *Los datos visuales en investigación cualitativa* (Vol. 5). Ediciones Morata.
- Batthyany, K., Cepeda, Z., y Espinel Vallejo, M.** (2020). “Coronavirus y desigualdades preexistentes: género y cuidados”. Santo Domingo: Friedrich Ebert Stiftung.
- Cabnal, L.** (2010). “Acercamiento a la construcción de la propuesta de pensamiento epistémico de las mujeres indígenas feministas comunitarias de Abya Yala”. En: *Feminismos diversos: el feminismo comunitario*, ACSUR.
- Fernández Bouzo, S.** (2020). “Los ecofeminismos territoriales frente a las injusticias hídricas: un horizonte de imaginaciones socio-ecológicas en América Latina (Abya Yala)”. En: Guzmán, A. *Justicia Hídrica. Una mirada desde América Latina*. Perú, Centro Bartolomé de las Casas, pp. 187-205.
- Ibor, C. S., y Boelens, R.** (2018). “Gobernanza del agua y territorios hidrosociales: del análisis institucional a la ecología política”. Cuadernos de Geografía de la Universitat de València, (101), 13-28.
- Rapley, T.** (2014). “Los análisis de conversación, de discurso y de documentos en Investigación Cualitativa”. En: Flick U. *Investigación cualitativa* Londres: Sage.
- Svampa, M.** (2021): “Feminismos ecoterritoriales en América Latina. Entre la violencia patriarcal y extractivista y la interconexión con la naturaleza”, Documentos de Trabajo, nº 59 (2ª época), Madrid, Fundación Carolina.
- Zarogoin, S.** (2018). “Espacios acuáticos desde una descolonialidad hemisférica feminista”. *La mujer resistencia: apropiación del agua, territorios en conflicto y atentados contra la vida*. Mulier Sapiens. Discurso. Poder. Género. Año V, Nº 10.
- Fuentes**
- [**Casa Rosada - República Argentina**] (12 de marzo de 2020). Cadena nacional - Emergencia sanitaria por Coronavirus COVID-19. [Video] <https://www.youtube.com/watch?v=E-gTbDj1u8>
- [**Diario Judicial**] (19 de diciembre de 2006) Deberán garantizar el suministro de agua potable. Disponible en <https://www.diariojudicial.com/news-54325-migrated>
- [**Litvinoff, L.**] (26 de abril de 2020). El caso de Ramona Medina, referente de La Poderosa en la Villa 31, que murió de coronavirus. Página 12. <https://acortar.link/S09W13>
- [**Página 12**] (17 de mayo de 2020). NOS MATARON A RAMONA. [Video]. <https://www.facebook.com/watch/?v=690817168364244>.
- [**Redacción La tinta**] (20 de mayo de 2020). Ramona Medina. La Tinta. <https://latinta.com.ar/2020/05/ramona-medina/>

Sociedad

08

EL ATLAS NACIONAL INTERACTIVO DE ARGENTINA Y EL ATLAS DE LA ANTÁRTIDA ARGENTINA COMO FUENTES DE CONOCIMIENTO DEL AGUA DEL TERRITORIO NACIONAL Analía Almirón, Florencia Biscay y Paula Villa	874
CÁTEDRA LIBRE DE HIDRÁULICA COMUNITARIA. UN VÍNCULO SOCIEDAD - UNIVERSIDAD PARA ABORDAR TEMAS DE AGUA Y AMBIENTE Enrique Angheben, Guadalupe Jaca Pozzi, Stefania Valinoti, Adelina Maistruarena, Julia Branne y Joaquín Bonoldi	876
CURSO VIRTUAL DE FORMACIÓN DE OPERADORES Y OPERADORAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Jimena I. Ávalos, Agustín Vezzoni, Nicolás Rodríguez Bormioli, Sergio Hanela, Emiliano Aguerreberry y Ignacio del Río	878
MONITOREO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EN EL RÍO CUARTO (CÓRDOBA) CON APORTES DE CIENCIA CIUDADANA Rocío Bianchi, José M. Díaz Lozada, Nelso C. Doffo, María de los A. Santinelli, María E. Benito, Florencia Leiva, Karina V. Echevarría, Susana B. Degiovanni, Carlos Marcelo García	880
LOS SERVICIOS DESVINCULADOS DE AGUA Y SANEAMIENTO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES. EL CASO DEL MUNICIPIO DE MORENO Verónica Cáceres, María Eva Koutsovitits y Melina Tobías	882
CYANO: UN PROYECTO DE CIENCIA CIUDADANA PARA DETECTAR FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN EL EMBALSE LOS MOLINOS, CÓRDOBA (ARGENTINA) Helena Calvimonte, Raquel del V. Bazán, Ana M. Cossavella, Patricia O'Mill, María Florencia Mansilla, Rodrigo Ternavazio, Horacio S. J. Herrero, Mariana S. Roque y Gabriel Carnicelli	884
EVALUACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE AGUA DULCE PARA LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN LA REGIÓN DEPRIMIDA DEL SALADO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES Francisco Cellone, D. Funes, S. Marino y Eleonora Carol	886
CO-PRODUCCIÓN DE SERVICIOS CLIMÁTICOS ORIENTADOS A LA TOMA DE DECISIÓN DEL SECTOR HIDROENERGÉTICO Carolina Cerrudo, Alejandro Godoy, Gonzalo Díaz, Eugenia María Garbarini, Mercedes Poggi, Lucas Chamorro, Matthias Fisher, María Alejandra Cristanchi, Silvina Righetti y Lorena Ferreira	888
PROYECTOS FINALES INTEGRADORES EN INGENIERÍA CIVIL CON EJES EN AGUA Y SANEAMIENTO Y LA MIRADA SOCIAL DEL ESTUDIANTE Cristina Cervera, Claudia Forestieri, Raúl Navarro, Victoria Alfonso y Marina Rivosecchi	890
DESARROLLO DE ACTIVIDADES TERRITORIALES Y DE COMUNICACIÓN PARA LA CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES EN LAS CUENCAS SUQUÍA Y SARANDÍ-SANTO DOMINGO Daniela D'Amen, Yanina García Skabar, Mariano Re, Juan Ruíz, Federico Robledo, Marcelo García, Carlos Catalini, Matías Menalled, Leandro Kazimierski, Milagros Álvarez Imaz, Martín Vilariño, Sebastián López, Carolina Cerrudo, Marina Lagos, Nadia Testani, Camila Prudente, Diego Moreira y Malena Lozada	892
EXPERIENCIAS DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA EN UNA ESCUELA SECUNDARIA EN EL PARTIDO DE TANDIL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES María Isabel Delgado, Fernanda J. Gaspari, G. H. Acciaresi, S. Besteiro, L. de Antueno, E. A. Gonzalez Fuentes, B. Nicora, R. Barranquero, C. Anselmino, N. Cisneros Basualdo, S. Godoy Castañeda, F. A. Montealegre Medina, V. E. Giovenale, G. Delgado, G. Denegri, A. Guzmán, F. Leguizamón y M. M. Gonzalez Racero	894

CONSTRUIR PAISAJES DE AGUA. HERRAMIENTAS DE URBANISMO PARTICIPATIVO EN LA CUENCA DEL ARROYO EL PESCADO, LA PLATA Agostina Dominella, R. Martínez Damonte, Victoria Caraffini y D. Rotger	896
EXPERIENCIA DE TRABAJOS FINALES DE CARRERA EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN ANGOLA Oscar Duarte, Felipe Franco, Rosana Hammerly, Pablo Serra, Agostina Zucarelli y Viviana Zucarelli	898
USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA CADENA VITIVINÍCOLA DE MENDOZA, ARGENTINA Alicia Elena Duek	900
ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA REMOTO EN EL CONURBANO BONAERENSE Pablo A. Espiñeira, Daniel O. Díaz, Vivian Jeandet, Cristina M. Valero, Marcos H. Arrue, Fernando Schifini Galdchtein, Trinidad y Alzú Velázquez	902
GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: FACTORES QUE DETERMINAN EL CONSUMO EN EL ÁMBITO RURAL Anabella Fantozzi, M. Fernandez, Victoria Velasco, M. Caliano y J.M. Cabrera	904
¿QUÉ SABEMOS DEL AGUA QUE CONSUMIMOS Y CÓMO LO PODEMOS AVERIGUAR? María Susana Fortunato, Ana Julieta González, Natalia Marina Gorino, Cynthia Natalia Cerqueiro, Noelia Raquel Cerqueiro, Pamela Alejandra Finocchiaro, Micaela Gabriela Saban, Melisa Belén Antonio, Sonia Edith Korol y Alfredo Gallego	906
EFFECTOS DEL USO DE EFLUENTES URBANOS TRATADOS E INTERACCIÓN CON LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN UN CULTIVO DE REPOLLO BLANCO (BRASSICA OLERACEA VAR. CAPITATA) Alexis Galfione, Fabricio Salusso, Rita Pereyra, Raúl Jesús Crespi y Gastón Pautasso	908
LA FERIA DEL AGUA: CRÓNICA DE UN ENCUENTRO DE SABERES QUE YA ES PARTE DE LA AGENDA DE LA REGIÓN Javier Ricardo Garcia de Souza, Carolina Monti, María Fernanda Alvarez, Paula Altieri, Mercedes Nicolosi Gelis, Karine Delevati Colpo, Agostina Pecile, Juan Martín Paredes del Puerto, Rocío Pazos y Micaela Mujica	910
ACCESO AL AGUA EN EL PARQUE COSTERO DEL SUR: VINCULANDO VISIÓN ACADÉMICA Y PERCEPCIONES LOCALES Jazmín Ilana Glustein, Tatiana Sonia Arturí, Pablo César Stampella y María Isabel Delgado	912
COMUNICACIÓN PÚBLICA DESDE EL OBSERVATORIO HIDRO-METEOROLÓGICO DE CÓRDOBA Guillermo V. Goldes, Andrés Rodríguez, Edgardo Pierobon y Carina Vargas	914
PROYECTO DE MUSEO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA Guillermo V. Goldes y Andrés Rodríguez	916
NEXO ENTRE EL AGUA, LA ENERGÍA, LOS ALIMENTOS Y EL TERRITORIO EN EL VALLE DE TULUM, SAN JUAN: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA Ana Ayelén Goti Ayala, Jimena Andrieu y Lisandro Roco	918
PROPUESTA DE FORMACIÓN POR COMPETENCIAS PARA EL ÁREA HIDRÁULICA Patricia Infante, Sara Rodríguez, José Flores, Alejandra Punta, Facundo Correas, Walter Barchiesi y Mariana Troncoso	920
PRESENTACIÓN DE LA LICENCIATURA EN HIDROMETEOROLOGÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA Ricardo Ingaramo, Eldo Avila, Nesvit Castellano, Andrés Rodríguez, Magalí Perez Carro, Rodrigo Bruni y Daniel Fridlender	922
ACCESO AL AGUA PARA USOS MÚLTIPLES EN LA AGRICULTURA FAMILIAR RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN PARA LA MEJORA EN LA TOMA DE DECISIONES Verónica Lamas, Roger Alejandro Benitez, Luz Vallejos, Andres G. Nakab, Mabel E. Amarilla y Joaquín A. Córdoba	924
RELACIÓN ENTRE LOS ODS 6 Y 3: SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y MICROORGANISMOS OPORTUNISTAS DE TRASMISIÓN AÉREA Liliana Silvina Lösch, Héctor Marcelo Marín, Juan Leandro Pellegrini y Luis Antonio Merino	926

AGUA DE ESPERANZA. PROYECTO UNIVERSITARIO COOPERATIVO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN UNA COMUNIDAD PILAGÁ DE FORMOSA Adriana Machuca, Eduardo Alvarez, Gabriela Rusek y Sofía Della Villa	928
TÉCNICAS ANCESTRALES DEL SHINCAL DE QUIMIVIL: CANALES EXCAVADOS EN ROCAS Fiorella Macor, Lida Borello, Rosana Hämmerly, M. Verónica Lanzaro, Viviana Martínez, Mariana Romanatti y J. Pablo Gómez Zamora	930
LA GESTIÓN URBANA DEL AGUA EN MENDOZA M. Marcela Andino, Sergio Marinelli y Leonardo Muzzino	932
EL ACCESO A AGUA DE RED Y SERVICIO CLOACAL EN LOS CUATRO AGLOMERADOS MÁS POBLADOS DEL TERRITORIO ARGENTINO Nelson Patricio Massachesi	934
LA UNIVERSIDAD EN LOS TERRITORIOS: APORTES DESDE EL SANEAMIENTO A LA INTEGRACIÓN SOCIO URBANA Soledad Mendez Zacarías, Albertina González, Cristina Marozzi y Virginia Pacini	936
CAPTACIÓN PLUVIAL, PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y AUTOFINANCIAMIENTO DE FINANZAS PÚBLICAS EN EL ÁRIDO RIOJANO Carla Rebeca Méndez, Andrés Ignacio Grande; Diego Iván Pereyra y Ana Carolina Rameri	938
50 AÑOS DE TRAYECTORIA EN LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO PARA LA GIRH M. Valeria Mendoza y Brenda J. Faro	940
CO-GESTIÓN PARA EL ACCESO AL AGUA EN COMUNIDADES RURALES DE ITATÍ (CORRIENTES, ARGENTINA) Federico A. Paredes y Patricia P. Langé	942
REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES URBANOS MEDIANTE EL RIEGO DE DIFERENTES ESPECIES DE EUCALIPTOS Rita Pereyra, Esteban Zupan, Raúl Jesús Crespi y Matías Croatto	944
RED DE VOLUNTARIADO Y CARTOGRAFÍA TEMÁTICA PARA LA MEDICIÓN PLUVIOMÉTRICA EN LA PROVINCIA DE SANTA FE Melina Pérez, Joaquín Bacigalupo, Gustavo Ferreira, Andrés Róbul y Gabriela Pairetti	946
IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA Andrés J. Portigliatti, S. López, L. Massó, E.B. Díaz, H. S. Herrero, M. E. Gómez, G. Elcano, I. Buffa y Carlos Marcelo García	948
LOS DESAFÍOS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN. LOS NUEVOS PARADIGMAS Teresa Reyna, María Lábaque y María Fernanda Funes	950
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN ING. JACOBACCI: LA IMPORTANCIA DEL CONSENSO EN LA COMUNIDAD EJECUTORA María Victoria Cremona, Martha Cecilia Riat, Ana Capuano, Virginia Velasco, Laura Tanzer y Santiago Magnin	952
RESILIENCIA A LA SEQUÍA EN LOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICO AGROPECUARIOS EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO TEGUA (CÓRDOBA) Andrea D. V. Rivarola, Ana A. Llames, Lucas M. Paton y Natalia R. Accastello	954
LA GENTE Y EL AGUA. RESPUESTAS Y PROPUESTAS DE UNA POBLACIÓN ISLEÑA FRENTE A LAS INUNDACIONES Mariela Roig, Gabriela D'Amico, Claudia Carut y Marta Crivos	956
CONTRIBUCIÓN INTERDISCIPLINARIA AL CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, LA TOXICOLOGÍA Y EL ANÁLISIS DE RIESGO Ligia Romeo, Amalia Ponzio, Valentina Olmos, Edda Villaamil Lepori, Eliana Munarriz, María L. Zapiola, Juan I. Pina, Juan C. Batista, Ariana Rossen, Susana García, Jorge Debanne y Guillermo Mentruyt	958
PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN HÍDRICA EN LOS CENTROS POBLACIONALES DE LA DIAGONAL ÁRIDA Jorge Eduardo Romero	960

LA VIRTUALIDAD COMO ESTRATEGIA PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN ANGOLA Mario Schreider, Viviana Zucarelli y Indalecio Bezos.....	962
EL CASO DE B° TOBA: UNA OBRA DE AGUA POTABLE PARA 8 BARRIOS POPULARES DE LA PROVINCIA DE SANTA FE Daiana Talotti, Sofía Hereñú y María Luz Lopez Lefoll	964
IMPLICANCIAS DE LA APLICACIÓN DEL ACUERDO DE ESCAZÚ EN LA GESTIÓN DEL RECURSO Noelia Torchia, Aldo Rodríguez Salas, Guillermo Hernández, Mariano Garguir, Marco Fagioli, Sofía Torres y Macarena Frazzetta	966
LA DIPLOMATURA EN HIDROINFORMÁTICA: UNA PROPUESTA DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL EN EL ÁMBITO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y EL SANEAMIENTO Juan F. Weber, Matías Bupo, Pablo T. Stehli y Andrés M. Cabello	968

EL ATLAS NACIONAL INTERACTIVO DE ARGENTINA Y EL DE LA ANTÁRTIDA ARGENTINA COMO FUENTES DE CONOCIMIENTO DEL AGUA DEL TERRITORIO NACIONAL

Analía Almirón, Florencia Biscay y Paula Villa

Dirección de Planificación, Investigación y Desarrollo. Instituto Geográfico Nacional. Argentina
E-mail: aalmiron@ign.gov.ar, fbiscay@ign.gov.ar, pvilla@ign.gov.ar

Introducción

El Atlas Nacional Interactivo de Argentina (ANIDA) y el Atlas de la Antártida Argentina son publicaciones digitales en desarrollo del Instituto Geográfico Nacional (IGN) disponibles en la web en <https://anida.ign.gov.ar> y <https://antartida-anida.ign.gov.ar>, respectivamente.

El objetivo de este trabajo es presentar ambos atlas como fuentes de conocimiento sobre las aguas continentales y oceánicas del territorio nacional, a través de la publicación de contenidos basados en información geográfica, geoespacial y cartográfica en diferentes formatos, y organizados en una estructura temática lo más amplia e integral posible. La elaboración del contenido se realiza a partir de un trabajo colaborativo entre el equipo editorial de los atlas y especialistas convocados a tal fin, aplicando una metodología cualitativa de selección, recopilación y análisis de información de diversas fuentes bibliográficas y bases de datos oficiales y académicas.

ANIDA y el Atlas Digital de la Antártida Argentina

ANIDA, Atlas Nacional Interactivo de Argentina, es el primer atlas nacional de la República Argentina publicado en internet y de acceso público y gratuito. Contiene una recapitulación y una generalización de los conocimientos científicos en diversos campos de la geografía de Argentina. Se propone permitir conocer aquellos fenómenos y procesos que caracterizan al territorio nacional desde una visión holística e integradora, a partir del empleo de información actualizada y confiable y asociada a información geoespacial y cartografía temática generada por el IGN.

El atlas se encuentra estructurado en cinco secciones, que nuclean temáticas asociadas con contenidos que van desde la organización política, aspectos económicos, socio-demográficos, físico-naturales y también, ambientales.

Específicamente, los contenidos que abordan la red hidrográfica de nuestro país se encuentran agrupados en las publicaciones *Aguas superficiales* y *Aguas subterráneas*, ambas disponibles para la consulta en el sitio web del atlas.



Figura 1.- Vista de fragmento de la publicación web de *Aguas superficiales* en la sección Argentina físico-natural de ANIDA.



Figura 2.- Vista de fragmento de la publicación de *Aguas subterráneas* en la sección Argentina físico-natural de ANIDA.

A su vez, está proyectado desarrollar un eje temático específico sobre oceanografía.

Como parte relacionada y específica de nuestro territorio nacional, ANIDA contiene el Atlas digital de la Antártida Argentina. Se trata de un producto de contenido específico pertinente al conocimiento del Sector Antártico Argentino que, en su conjunto, permite abarcar cuatro grandes áreas de interés del conocimiento del territorio antártico: Ciencias de la tierra; Ciencias sociales y humanas; Ciencias de la vida y Ciencias ambientales.

Al presente, en este atlas de la Antártida Argentina se publicaron contenidos sobre la oceanografía de las aguas antárticas y está previsto el desarrollo de un eje en el que la hidrografía se abordará de manera relacionada con la glaciología.



Figura 3.- Vista de fragmento de la publicación web de *Oceanografía* del Atlas digital de la Antártida Argentina.

Los contenidos se despliegan y desarrollan en permanente diálogo entre sus diversos formatos: textos, recursos gráficos y cartográficos. Los datos que alimentan las bases de datos geoespaciales son los más actuales disponibles en los portales de datos abiertos de los organismos oficiales responsables de su recopilación, procesamiento básico y publicación.

El proceso de producción de los mapas, para este y para todos los ejes temáticos incluidos, implica un número variable de etapas, desde el relevamiento de información hasta su salida gráfica o inclusión en un visor web, que tiene en cuenta los

alcances y posibilidades tecnológicas que brinda su plataforma.

Ambos atlas siguen una misma línea editorial. En este sentido, apuntan a publicar conocimientos e información temática básica, comentada y explicada por especialistas, y desplegada en distintos formatos, en donde la información geoespacial, presentada a través de cartografía temática, tanto interactiva como gráfica, cumple un rol fundamental.

El contenido acerca del agua presente en ANIDA y en el Atlas de la Antártida Argentina

Tanto en ANIDA como en el Atlas de la Antártida Argentina, el contenido temático sobre las aguas continentales y las oceánicas fue confeccionado en colaboración con un equipo de investigadores argentinos, especialistas en las temáticas respectivas, provenientes de instituciones públicas de los sectores gubernamental, científico y universitario nacional.

Estudiar la red hidrográfica nacional bicontinental supone su reconocimiento como recurso estratégico ya sea para el desarrollo social y económico del país, como para reafirmar una visión integral de la soberanía nacional. Este análisis se realiza con una perspectiva multiescalar partiendo de la definición teórico-conceptual de los contenidos específicos relacionados con la hidrografía, tales como: *cuencas hídricas superficiales*, *zonas funcionales* (de captación, almacenamiento y descarga), *recursos hídricos superficiales y subterráneos*, *cursos de agua*, *cuerpos de agua*, *acuíferos* y *regiones hidrogeológicas*, entre otros contenidos.

Para el caso particular del Atlas de la Antártida Argentina, el contenido temático desarrollado hasta el momento está centrado en el estudio de las aguas oceánicas que rodean al continente antártico. También se realiza un estudio de áreas específicas del Sector Antártico Argentino en tanto resultan de interés para el conocimiento de nuestro sector. En este sentido, los temas se enfocaron en el desarrollo de los siguientes conceptos: *masas de agua*, *corrientes marinas antárticas*, *hielo marino* y *barreras de hielo*, *formas principales de glaciares* y los *aportes del agua dulce* dado por los efectos del cambio climático.

A modo de cierre, ambos productos en línea en internet del IGN pueden ser de gran utilidad a distintos sectores de la sociedad, como docentes, estudiantes, investigadores, profesionales, interventores y todas aquellas personas que quieran tener una visión sintética y explicativa de la geografía de Argentina en general y de los recursos hídricos en particular.

Referencias

Giraut, M. A. (2019). *Argentina físico-natural: Aguas superficiales*. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. IGN. <https://ide.ign.gov.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=9afbdc4af82412d9a7657168198e5f3>

Instituto Geográfico Nacional. (s.f). *ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina* <https://anida.ign.gov.ar>

Instituto Geográfico Nacional. (s.f). *Atlas de la Antártida Argentina* <https://antartida-anida.ign.gov.ar>

Santa Cruz, J. N. (2019). *Argentina físico-natural: Aguas subterráneas*. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. IGN. <https://ide.ign.gov.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=7cc4ba9c758148f9b6176eb9cc2d79f2>

Tosonotto, G., Ruiz Barlett, E., & Sierra, M. (2022). *Oceanografía. Atlas de la Antártida Argentina*. ANIDA. IGN. <https://antartida-anida.ign.gov.ar/mapstore/#/geostory/410/section/fd8936d0-1199-11ed-bd0e-252694f95923>

CÁTEDRA LIBRE DE HIDRÁULICA COMUNITARIA. UN VÍNCULO SOCIEDAD - UNIVERSIDAD PARA ABORDAR TEMAS DE AGUA Y AMBIENTE

Angheben E., Jaca Pozzi G., Valinoti S., Maistruarena A., Branne, J., Bonoldi, J.

Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - UNLP
Calle 47 N° 200, piso 1, Oficina 6, La Plata, Buenos Aires, Argentina - Tel. 0221-427-5223
enrique.angheben@ing.unlp.edu.ar; guadalupe.jaca@ing.unlp.edu.ar; stefania.valinoti@ing.unlp.edu.ar; ademaist@gmail.com;
julia.branne@ing.unlp.edu.ar; joaquin.bonoldi@ing.unlp.edu.ar

Introducción

Habiéndose cumplido recientemente 10 años de la trágica inundación que afectó a la ciudad de La Plata y sus alrededores, resulta relevante exponer este artículo en el cual se presenta a la Cátedra Libre de Hidráulica Comunitaria (CLHC), creada en el año 2018, como consecuencia del trabajo que, desde el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de La Plata, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), se venía realizando junto a las Asambleas de Inundados y la comunidad en general.

Este espacio, planteado amplio y participativo, propone brindar herramientas para la formación integral de los estudiantes de la UNLP, así como también para cualquier miembro de la comunidad que esté interesado en temas relacionados con la hidráulica.

Objetivos

Desde sus comienzos la Cátedra se propuso trabajar bajo los siguientes objetivos.

Objetivo General

Fortalecer la construcción colectiva de saberes, promoviendo una experiencia directa que vincule a estudiantes y docentes universitarios con actividades de extensión, actuando desde la ingeniería hidráulica, sobre realidades concretas.

Objetivos Específicos

- Generar espacios donde se vincule a la promoción del agua como un derecho humano esencial, se forme conciencia sobre la necesidad de un desarrollo sostenible y de la protección del medio ambiente.
- Colaborar en el acercamiento de la Facultad a los barrios y, asimismo, que la gente pueda generar un sentimiento de pertenencia hacia la Institución.
- Que los estudiantes se involucren con la realidad que existe por fuera del espacio del aula, entendiendo que existe otra forma de hacer ingeniería.
- Promover la construcción de saberes, procurando establecer relaciones horizontales en donde se compartan las experiencias y los conocimientos de los distintos actores.

Estos objetivos, plasmados en actividades concretas, algunas de las cuales se describen más adelante, permitieron el tratamiento de problemáticas transversales a los espacios académicos, conjugando la teoría con la práctica y las experiencias propias de los participantes.

Materiales y Métodos

La creación de la CLHC se fundamenta en el hecho de posibilitar el desarrollo de actividades de Formación, Capacitación y Extensión, estableciendo vínculos entre la UNLP y la comunidad, constituyendo un espacio de recepción de inquietudes relacionadas con temáticas del agua y el saneamiento.

La existencia de este espacio se vincula con la promoción del agua como derecho humano esencial (OMS, 2010), el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Es así que son áreas de acción de la CLHC la hidrología superficial y subterránea, la hidrología urbana, el riesgo hídrico, agua y saneamiento, agua y medio ambiente y temas relacionado con el derecho y legislación del agua.

Con el fin de alcanzar la difusión y rápida identificación de la CLHC, se diseñó el logotipo que se muestra en la Figura 1, el cual, junto al mail institucional y la presencia en redes sociales, logró establecer un punto de reconocimiento y contacto con la comunidad, a través de los cuales se realiza difusión permanente de información, eventos y noticias relacionadas con la temática.



Figura 1.- Logo que identifica a la CLHC

La Cátedra Libre de Hidráulica Comunitaria posee el reconocimiento de la Universidad Nacional de La Plata, formalizado mediante Resolución de creación N° 1562/2018.

En búsqueda de alcanzar los objetivos descriptos previamente, a lo largo de estos años se han desarrollado distintas actividades, entre las cuales se destacan:

Capacitación a Educadores Comunitarios de La Cava de Villa Itatí. Quilmes. Provincia de Buenos Aires

La Cava de Villa Itatí, perteneciente a la Villa Itatí de Quilmes, presenta un escenario de vulnerabilidad y riesgo hídrico de marcada importancia. En ese sentido desde la CLHC se desarrollaron actividades y talleres tendientes a formar a los educadores locales en temas de prevención ante el riesgo de inundación, acceso al agua potable y saneamiento.

Seminario-Taller: Educadores Comunitarios en Riesgo Hídrico de Inundación

Esta actividad tuvo como destinatarios a docentes, no docentes, estudiantes avanzados de las distintas facultades de la UNLP; integrantes de asambleas de inundados y miembros de la comunidad en general, interesados en temas de riesgo hídrico de inundación.

El propósito buscado fue el capacitar a integrantes de todos los niveles de la UNLP y vecinos en general, para que puedan transformarse en educadores que puedan actuar en diferentes ámbitos (escuelas, clubes, centros comunitarios y barriales, etc.) y diferentes niveles (estudiantes, padres, referentes sociales, etc.)

en la formación comunitaria de cómo actuar ante el riesgo de inundación.

Los objetivos perseguidos fueron establecer acuerdos técnicos en relación con la problemática del riesgo hídrico de inundaciones, con especial referencia en las ocurridas en la ciudad de La Plata, y construir criterios para el diseño e implementación de acciones educativas en contextos comunitarios.

El Seminario se realizó en formato de Taller, donde en cada uno de los ocho encuentros se propuso una metodología de trabajo distinta. Además de las exposiciones de los referentes en las distintas temáticas, se realizaron trabajos grupales interdisciplinarios con diferentes consignas, donde el objetivo principal fue el intercambio de saberes entre los participantes, además esto presentó el desafío del trabajo grupal, la coordinación y el aprender a escuchar y respetar la opinión del otro.

Voluntariado Universitario “Sigamos Estudiando – 2021”

En el marco de este proyecto de voluntariado y con el objetivo de trabajar con estudiantes de los últimos años del nivel secundario, se identificaron establecimientos educativos del nivel medio en la localidad de Brandsen, para luego desarrollar jornadas de tipo taller donde se llevaron adelante distintas propuestas educativas relacionadas al agua, el saneamiento hídrico y el ambiente.

Proyecto de Extensión “construIRAS”

Desde el inicio del año 2019, la Cátedra Libre participó del Proyecto de Extensión que lleva el nombre de “construIRAS” debido a la idea de construir Instalaciones Replicables, Alternativas y Sostenibles y juega con el término “IRAS” que refiere a la necesidad de salir del ámbito de la Facultad en busca de los destinatarios de las construcciones.

En el marco de este Proyecto y a partir de la inquietud de los vecinos del barrio El Retiro de la ciudad de La Plata que se acercaron a la Cátedra, se trabajó en la elaboración de un proyecto de desagües cloacales, conformando así una actividad extensionista que se encuentra dentro de los objetivos de promoción y acompañamiento de actividades comunitarias relacionadas con la problemática del agua.

Colectas Solidarias – Villa Itatí, Quilmes

En el contexto del Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio como consecuencia de la pandemia del COVID-19, durante el año 2020 se realizaron distintas actividades tendientes a colaborar con la comunidad, fundamentalmente, con las poblaciones más empobrecidas donde la emergencia sanitaria tuvo gran impacto social y económico dada la falta de acceso al agua potable y la ausencia de desagües cloacales.

En este marco, desde la Cátedra Libre se realizaron distintas colectas solidarias destinadas a colaborar con los vecinos de la Cava de Villa Itatí, Quilmes, en la provisión de artículos de limpieza, frazadas, sábanas, toallas y alimentos. Luego, ante la necesidad de los vecinos de continuar con el programa de lectura para niños y adolescentes, se recibieron donaciones de libros y cuentos, que luego fueron acercados a la biblioteca del barrio para su posterior distribución.

2 de abril de 2013 - Muestra Activa: Marcas de la Inundación

A diez años de la inundación del 2 y 3 de abril de 2013 en la ciudad de La Plata, desde la Cátedra Libre, y en conjunto con la Asamblea de Inundados Tolosa, durante los días 10, 11 y 12 de abril de 2023 se invitó a los y las estudiantes de la Facultad de Ingeniería y a toda la comunidad en general, a recordar lo sucedido a través de una muestra activa donde cada visitante pudo dejar la “marca” que la inundación le había dejado, y de esa manera colaborar en la construcción colectiva de la memoria.

Consideraciones Finales

Desde este espacio estamos logrando construir un vínculo entre la Universidad Pública y la comunidad, generando ambientes interdisciplinarios y abiertos de discusión, educación y en los que, además, recibimos inquietudes asociadas al agua, por parte de cualquier integrante de la sociedad.

Estos encuentros se materializan a través de proyectos de extensión, de investigación, instancias de formación formal e informal u otras formas de acercamiento Universidad – Sociedad, fortaleciendo el vínculo y pertenencia entre ambos, teniendo como puente de ese vínculo el agua y el ambiente.

En este camino, y dado que estas propuestas surgen y se implementan desde la ingeniería, aparece claramente la necesidad de generar nuevos puntos de encuentro y de compartir saberes, para poder ir disminuyendo las diferencias que se presentan sobre todo en el lenguaje técnico–social–popular.

En este sentido es preciso animar la formación de ingenieros e ingenieras que sean capaces de interpretar las necesidades de las comunidades por encima de los aspectos exclusivamente técnicos. Y aquí se vuelve relevante la consideración anterior, esto es, la necesidad de “hablar un idioma común” lo que muestra la relevancia de trabajar ese objetivo desde la formación de grado.

Es así que, lo que plantea la CLHC es una metodología de trabajo diferente, en la cual desde etapas tempranas de la educación académica formal se incorpore esta dimensión, esto es, la necesidad de discutir y construir saberes comunes como paso previo a la formulación de soluciones de ingeniería.

Referencias Bibliográficas

- Angheben, E. et al.** (2019) “ConstruIRAS e Hidráulica Comunitaria: otra manera de aprender y hacer ingeniería”. IV Congreso de Extensión Universitaria de AUGM 2019. Universidades comprometidas con el futuro de América Latina. República de Chile, 2019.
- Angheben, E.** (2021) “Inundaciones en barrios populares. Propuestas para la gestión y prevención de inundaciones en barrios populares”, en Villa 20 Revista Institucional de la Defensa Pública de la Ciudad de Buenos Aires. Año 11, número 26, marzo 2021.
- Kremer, I. y Acuña N.** (2010) “Veedurías ciudadanas: Una iniciativa desde la comunidad”. I Jornadas Internacionales y III Nacionales de Ambiente. UNICEN Tandil. Buenos Aires.
- Tommasino, H. et al.** (2010) “De la extensión a las prácticas integrales”. Servicio Central de Extensión y Actividades en el Medio. Universidad de la República. República Oriental del Uruguay.
- Krichesky, M.** (2011). Pedagogía Social y Educación Popular. Tensiones y aportes sobre el derecho a la educación. En Krichesky, M (Ed.) Cuaderno 2. Pedagogía Social y Educación Popular. Perspectivas y estrategias sobre la inclusión y el derecho. UNIPE.
- Lavell, A.** (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y Conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. En Ciudades en Riesgo. Comp. MA, Fernández. Perú, La Red.
- Liscia, S. et al.** (2013). Estudio sobre la inundación del 2 y 3 de abril en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2010). Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento.

CURSO VIRTUAL DE FORMACIÓN DE OPERADORES Y OPERADORAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Ávalos, Jimena I.¹, Vezzoni, Agustín¹, Rodríguez Bormioli, Nicolás¹, Hanela, Sergio¹;
Aguerreberry Emiliano², del Río, Ignacio³

¹ Programa de Tecnología de Tratamiento, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina

² Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, Ministerio de Obras Públicas, Argentina

³ Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, España

jalalos@ina.gob.ar, avezzoni@ina.gob.ar, nbormioli@ina.gob.ar, shanela@ina.gob.ar, emilianoaguerreberry@gmail.com, ignacio.rio@cedex.es

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el servicio de desagüe por red cloacal en Argentina cubre a un 63,1% de la población urbana. Del total de aguas residuales recolectadas actualmente se trata de forma adecuada el 27,5 %. Este porcentaje de tratamiento se encuentra directamente vinculado a la falta de conocimientos necesarios, por parte del personal que opera las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de origen doméstico (PTARs), para operar dichas unidades de forma adecuada. (DNAPyS, 2020 y 2022) Previamente a la presente experiencia, no existían en el país, ofertas de capacitación dirigidas a satisfacer esta demanda.

En respuesta a esta situación, se organizó el Curso Virtual de Formación para Operadores y Operadoras de PTARs, llevado adelante por la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica (SIPH) – Ministerio de Obras Públicas (MOP), el Instituto Nacional del Agua (INA) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), de España y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). El curso estuvo dirigido al personal encargado de la operación de PTARs de todo el país, y tuvo como principales objetivos: i) Mejorar las capacidades y conocimientos necesarios para el personal respecto al funcionamiento y mantenimiento de PTARs, ii) Jerarquizar el rol de operadores/as, resaltando la importancia de dicha tarea.

Dado que en el país existe una gran diversidad de tamaños y tipologías de plantas, tanto en las tecnologías que emplean como en su modalidad de administración (municipales, cooperativas, concesiones privadas, entre otras), el perfil del público resultó sumamente heterogéneo. Entre los participantes hubo personas con distintos niveles de educación, experiencias de operación en planta y diversidad de contextos, que resultaron ser un desafío a la hora del diseño y desarrollo del curso.

Diseño y desarrollo del curso.

Debieron resolverse aspectos relativos a la selección de contenidos, perfil de los/as participantes, modalidad de cursada y la coordinación de un cuerpo de 20 docentes nacionales y 8 internacionales. El curso se desarrolló en un total de 63 horas de clase, más 3 de examen, distribuidas en 22 encuentros virtuales sincrónicos de tres horas cada uno, los días martes y jueves entre el 31 de Marzo y el 16 de Junio de 2022. Se adoptó un horario matutino a fin de procurar horarios aceptables para los docentes de España, y permitir que los/as participantes puedan continuar sus tareas laborales por la tarde, evitando ausencias prolongadas.

La currícula del curso se organizó en 12 módulos, agrupados en 3 grandes bloques, más una clase integradora. El primer bloque, introductorio, incluyó aspectos generales sobre el objetivo de las PTARs, la organización y situación del sector, la normativa y los parámetros ambientales y sanitarios a considerar. Contemplando la heterogeneidad del grupo en cuanto a su nivel de conocimientos previos, se incluyó también un módulo específico sobre conceptos importantes, tales como sistemas materiales, estequiometría, balances de masa, conversión de unidades e interpretación de protocolos analíticos. El primer bloque se

completó con un módulo sobre hidráulica de plantas. El segundo bloque recorrió las principales operaciones unitarias: pretratamiento y separación primaria; tratamientos biológicos, ahondando en las tres tecnologías de mayor difusión a nivel nacional (lodos activados, lechos percoladores y lagunas); operaciones de desinfección y remoción de nutrientes. Se concentraron inicialmente las ponencias en la comprensión de aspectos conceptuales para ahondar luego en aspectos operativos y de mantenimiento propios de cada una de las operaciones presentadas, procurando hacer énfasis en los aspectos prácticos. El tercer bloque se centró en cuestiones transversales de operación, mantenimiento y monitoreo de los sistemas. Aquí se incluyeron conceptos de mantenimiento y detección de fallas, sistemas de control, procedimientos y operaciones de rutina (tareas de limpieza, registro de parámetros operativos, recolección de muestras, equipamiento analítico de laboratorio y campo, protocolos de operación), y condiciones de parada de planta o situaciones de emergencia, incluyendo una clase específica sobre aspectos de seguridad e higiene. En todos los casos se procuró brindar clases concretas y sintéticas, dejando un espacio de discusión e intercambio al finalizar cada clase, que resultó en una sinergia positiva entre la coordinación, los docentes nacionales e internacionales y los participantes.

En cuanto a los recursos informáticos, se procuró emplear plataformas de simple registro y uso comprendiendo las posibles limitaciones del público en cuanto a manejo de herramientas informáticas. Se trabajó mediante Google Classroom® para compartir presentaciones y realizar intercambios. También se implementó un sistema de tutorías, donde cada participante contó con un/a tutor/a a fin de recibir asistencia en caso de dificultades, y también realizar un seguimiento en caso de ausencias prolongadas. Como requisito para rendir el examen, se exigió una conexión superior a 120 minutos, en el 70% de las clases.

Principales resultados

Se recibieron 197 postulaciones, de las cuales fueron seleccionados 103 participantes de 29 prestadoras de servicios distribuidas en 18 de las 24 Provincias Argentinas. Del total de participantes, 58 pertenecen a las provincias del Norte Grande y 45 a otras regiones del país. El 66% de los/as participantes informaron trabajar en operación de planta, un 7% en laboratorio, y un 5% en mantenimiento, seguidos de otros sectores con porcentajes menores. Prevalen los participantes con nivel de estudios secundarios como máximo alcanzado (46%), seguidos de los universitarios (38%), terciarios (12%) y primarios (3%).

En complemento, se elaboró un formulario a fin de conocer el tipo de plantas y la problemática de los participantes con el objetivo de brindar herramientas a los/as docentes para focalizar sus clases hacia las características del alumnado. A la encuesta respondieron 56 participantes y se detallan a continuación los resultados recabados. De allí se desprende que prácticamente la mitad de los participantes no habían recibido capacitaciones en los últimos 5 años, mientras que el 30% de los mismos nunca habían sido capacitados en la temática. Cerca del 65% refirió haber sido instruido por un compañero/a o superior, o bien haber aprendido directamente en la práctica, pero sin contar con

capacitaciones específicas. Un 16% refirieron trabajar como operarios/as hace no más de un año, el 47% entre 1 y 5 años y el 37% hace más de 5 años. La mayor cantidad de participantes (64%) operaba una única planta, seguidos por quienes operaban dos plantas (17%) y una menor proporción que refirieron operar más de dos. La mitad de los participantes reportaron operar plantas que sirven a más de 50.000 habitantes.

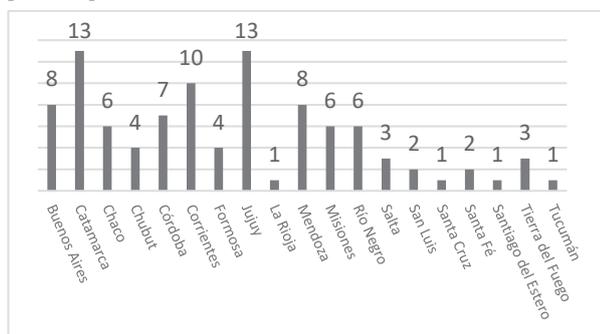


Figura 1 – Seleccionados/as por provincia

En cuanto a las características de las plantas operadas, el 82% de las respuestas indicaron la presencia de cámaras de recepción y partición de caudal. Dada la gran abundancia de esta unidad en las plantas, puede asumirse que algunos de los participantes no identificaron a las cámaras de carga como tales. Casi el mismo número de respuestas indicó la disponibilidad de rejas gruesas, mientras que 30 casos indicaron disponer rejas finas. Luego se apreció una dispersión considerable de unidades existentes, habiendo 11 participantes con tanques Imhoff, 21 con sistemas biológicos de biomasa suspendida, 2 con percoladores, 38 con lagunas, 7 con emisarios, 11 con espesado de lodos, 9 con estabilización aeróbica y 13 anaeróbica de lodos, y 24 con sistemas de secado. Del personal que tiene lagunas, prácticamente la mitad reportó poseer sistemas de aireación mecánica. El 70% reportó que la remoción de lodos, nunca se hizo, o bien manifestó desconocer al respecto.

Respecto a las unidades de ingreso y bombeo, 18 personas reportaron no disponer mecanismos que protejan las bombas de sólidos y 6 manifestaron no estar seguros/as al respecto. Más de la mitad indicó tener rejas para tal fin. El 60% indicó tener bombas sumergidas. Solo 5 indicaron tener unidades de remoción de nitrógeno y fósforo.

El 65% indicó disponer de laboratorio en planta, siendo los parámetros más analizados sólidos sedimentables y pH, seguidos de DQO, y luego por DBO₅ y sólidos totales. 15 participantes mencionaron la realización de observaciones al microscopio. Un 38% indicó medir DBO₅ semanalmente y un 36% mensualmente, el 12% de forma semestral y solo el 6% en forma diaria.

La amplia mayoría refirió descargar el líquido tratado a cursos de agua lóticos superficiales (72%) y un 12% a cuerpos lénticos. Sólo un 9% reportó un reúso del líquido tratado superior al 50%, mientras que el 72% refirió hacer ningún tipo de reúso. De los casos de reúso mayor al 50%, 8 casos manifestaron emplearlo para parquizados y riego de vegetales no comestibles, mientras que 5 indicaron no estar seguros.

Entre las mayores problemáticas de operación, se mencionaron los picos por aportes pluviales, las descargas de atmosféricos y otros actores no autorizados, descargas industriales de características diferentes a los líquidos cloacales, la falta de inversión, ausencia de pretratamientos, la proliferación de vegetación no deseada y acumulación de lodos en plantas con lagunas y en ciertos casos se mencionaron problemas electromecánicos y cortes de luz. Como problemáticas adicionales se destacan errores de proyecto, fallas en la operación, la falta de personal, sub-dimensionamiento de las

unidades y las limitaciones analíticas. Estos aspectos se fueron poniendo de manifiesto también en los espacios de intercambio durante el curso.

Respecto al origen de las aguas residuales procesadas, la mayoría reportó recibir líquidos domiciliarios o de actividades comerciales, municipales, educativas, etc. Una menor proporción indicó también aporte de pluviales. La descarga de líquidos industriales no pareciera ser una preocupación significativa en las respuestas del formulario, aunque durante los intercambios se han manifestado problemas importantes al respecto. Si bien la mayoría refirió recibir descargas de origen doméstico, y eventualmente pluvial, las problemáticas planteadas durante el curso manifestaban numerosos inconvenientes derivados de la descarga de líquidos industriales en la red. Consecuentemente, los datos del formulario revelaron que en la mayoría de los casos los/as operadores/as no tienen una percepción a priori de que las redes reciben estos líquidos, aunque si se manifiesta dicha situación en la práctica. También se destacó como problemática habitual en las preguntas específicas, la gestión inadecuada de líquidos provenientes de camiones atmosféricos.

El día 16 de junio se realizó la evaluación final del curso, oportunidad en que rindieron examen 60 participantes, de los cuales aprobaron 55. Una semana después se tomó una segunda evaluación para quienes no pudieron presentarse previamente y ese mismo día se realizó una instancia de recuperación oral con las 5 personas que habían desaprobado previamente. El curso finalizó con 61 participantes que aprobaron el examen final y 5 personas que completaron la asistencia, pero no rindieron o aprobaron el examen. Respecto al grado de satisfacción, el 92% de los participantes opinaron que el nivel general fue muy bueno (máxima calificación contemplada en la encuesta), 2 opinaron que fue bueno, 2 regular y 1 muy malo. Respecto al nivel del cuerpo docente, el 95% lo calificó como muy bueno, dos personas como bueno y una como muy malo. En relación a los contenidos y la extensión del curso, el 72% la consideró adecuada, el 17% justa, el 8% excesiva y dos personas la consideraron insuficiente. Podría asumirse, de forma general, que las opiniones resultaron sumamente satisfactorias.

Conclusiones Finales

El Curso Virtual de Formación para Operadores y Operadoras de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales ha constituido un hito relevante a nivel nacional, respondiendo a esta necesidad histórica del sector y constituyó una experiencia inédita en el país, en la cual se formó a operadores y operadoras de las plantas de tratamiento de aguas residuales del país, que en muchos casos nunca habían sido capacitados en la temática.

Adicionalmente, el curso favoreció el intercambio de experiencias entre participantes, docentes y organizadores, nutriendo de esta forma los saberes. Los resultados positivos, así como la alta demanda recibida, que superó ampliamente las capacidades de esta edición.

La caracterización presentada de los/as participantes, sirvió de insumo para realizar ligeras adaptaciones a los contenidos en vistas al dictado de una nueva edición del curso, que dio inicio en Julio del 2023 y se encuentra actualmente en curso. Esta nueva edición recibió con más de 430 postulaciones, siendo un nuevo indicador del éxito de la edición previa y la necesidad de espacios de formación en la temática.

Referencias

- Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) (2020). Diagnóstico y Prospectiva el Tratamiento de Aguas Residuales en Argentina
- Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento (DNAPyS) (2022). Base de Información Nacional de Agua y Saneamiento

MONITOREO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EN EL RÍO CUARTO (CÓRDOBA) CON APORTES DE CIENCIA CIUDADANA

Rocío Bianchi¹, José M. Díaz Lozada^{2,5}, Nelso C. Doffo^{3,4}, María de los A. Santinelli³,
María E. Benito^{3,4}, Florencia Leiva², Karina V. Echevarria^{3,4}, Susana B. Degiovanni⁴,
Carlos M. García^{1,2}.

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

² FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

³ Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, RN 36, km 601, X5804BYA, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

⁴ Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA – CONICET).

⁵ Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA), Av. Ambrosio Olmos 1142, Córdoba, Argentina
Mail de contacto: rbianchi@mi.unc.edu.ar

Introducción

Las comunidades que habitan en cuencas fluviales pampeanas, especialmente con nacientes serranas, están frecuentemente expuestas a amenazas hídricas, como crecidas repentinas o inundaciones. La gran variabilidad espacio-temporal de los procesos físicos que generan las crecidas requiere para su caracterización información adicional a las que proveen los sitios de observación de los organismos científicos, tecnológicos y de gestión. Es por ello que actualmente se tiende a incrementar la disponibilidad de información a partir de la contribución de la ciudadanía.

En ese marco la ciencia ciudadana contribuye a mejorar la calidad de las investigaciones en un proceso co-creativo con la comunidad y, por ende, la fiabilidad y la proporcionalidad de las pruebas necesarias para la adopción de decisiones y políticas públicas sólidas. Las características de colaboración e inclusión de la ciencia abierta permiten que nuevos actores sociales participen activamente en la producción científica, se democratice el conocimiento y se oriente la labor científica hacia la solución de problemas de importancia social (UNESCO, 2021).

Esto motivó el desarrollo de proyectos de ciencia ciudadana en la provincia de Córdoba, dos de los cuales son de interés para este trabajo: MATTEO (Monitoreo Automático del Tiempo en Escuelas y Organismos: <https://sites.google.com/view/proyectomatteo>) y MASARE (Manejo Sustentable de Áridos en Ríos y Embalses: <https://sites.google.com/view/proyectomasare/>). En el marco de estos proyectos, se trabajó conjuntamente con la ciudadanía, las unidades académicas y los organismos de gestión específicamente en el monitoreo de eventos hidrológicos de interés en la cuenca del río Cuarto (Chocancharava) (Fig. 1). Esta cuenca está siendo estudiada por diversos autores, que por ejemplo caracterizan la carga tractiva del río Cuarto a partir de la geología, geomorfología y régimen hidrológico (Degiovanni, 2013) o la incidencia de las intervenciones antrópicas sobre la dinámica del curso en la cuenca alta-media (Corral, 2009) o baja (Santinelli, 2020).

Objetivos

El propósito de este trabajo es reportar los avances, metodologías experimentales, resultados y conclusiones obtenidas en el monitoreo de un evento hidrológico extraordinario ocurrido en la cuenca del río Cuarto con aportes de ciencia ciudadana. Esto permitirá calibrar modelos predictivos y elaborar en conjunto con la ciudadanía, las unidades académicas y los organismos de gestión, las bases para un plan de ordenamiento territorial y manejo del sistema fluvial para mitigar el riesgo hídrico.

Materiales y métodos

Con el aporte de los ciudadanos que habitan en distintas posiciones de la cuenca, se relevaron para un evento extremo las evoluciones espacio-temporales de variables hidrometeorológicas, hidrológicas, hidráulicas y fluviales (incluyendo transporte de sedimentos y localización de procesos de erosión/desbordes/inundación).

La información requerida para caracterizar los procesos hidrometeorológicos se puede obtener (a) de manera remota a través de sensores como satélites o radares y (b) desde el terreno utilizando estaciones meteorológicas automáticas oficiales y no oficiales o instrumental de bajo costo operado por la comunidad. En el presente trabajo se analizaron imágenes del radar de la red SINARAME ubicado en Córdoba Capital, donde se observa la magnitud y el desplazamiento de la tormenta a lo largo de su duración, y se recopiló información de lámina de lluvia precipitada medida con estaciones meteorológicas oficiales del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia de Córdoba (MAyGA) (en las localidades de Río Cuarto, Reducción, Alejandro Roca, La Carlota, Los Vallecitos y Rodeo de los Caballos), de la Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis (REM) (en Merlo), el Instituto Nacional del Agua Subgerencia Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA) (en los ríos Alpa Corral y Piedras Blancas) y aportes de la comunidad en el marco del proyecto educativo y científico de MATTEO y MASARE (en Merlo).

En cuanto a los procesos hidrológicos, la variable de interés es el caudal que eroga el río Cuarto, sección del Puente Malvinas Argentinas (ciudad de Río Cuarto) durante la crecida. Para ello, se filmaron videos, que mediante la técnica de Velocimetría por imágenes y conociendo el área de la sección del canal, se estima el caudal. Esta información se complementó con el uso de trazadores.

Respecto a las variables hidráulicas, se obtuvo la variación del nivel de agua en distintos puntos de la cuenca a partir de estaciones limnimétricas ubicadas en los ríos de Las Barracas (puente RP 23), Piedras Blancas (puente RP 23) y Cuarto (puente Malvinas Argentinas) y registros visuales de ciudadanos en El Tambo, vado del río Seco y en los Puentes Malvinas, Reducción, Los Cisnes y La Carlota, junto a los tiempos de respuesta de la onda de crecida.

Conjuntamente con las mediciones hidrológicas e hidráulicas en la sección del Puente Malvinas Argentinas, se extrajeron muestras de agua para determinar la concentración de sólidos en suspensión y estimar el transporte de sedimentos en suspensión. Finalmente, días después del evento se reconocieron procesos de erosión, desborde e inundación a lo largo de la cuenca.

Resultados

Siguiendo la metodología detallada se relevaron eventos hidrológicos durante el año 2022 y 2023. A modo de ejemplo, se presentan los resultados obtenidos en el monitoreo del evento más reciente ocurrido entre el 22-23/03/2023, que generó caudales extraordinarios (líquidos y sólidos), desbordes/inundaciones en área serrana y de llanura, erosión de márgenes, sedimentación, que ocasionaron pérdidas económicas millonarias. El evento meteorológico comenzó durante la madrugada del 21/03 en la cuenca y generó crecidas ordinarias en el río Cuarto. Luego, entre el 22-23/03 ocurrió un evento de precipitación en la cuenca alta del río Cuarto y cuencas cercanas de otros cursos de agua como arroyos que escurren por la localidad de Villa de Merlo en San Luis que generó crecidas extraordinarias en la zona. En la Fig. 1 se presentan

los datos de lluvia en mm registrados el 22-23/03 por cada una de las estaciones y pluviómetros mencionados.

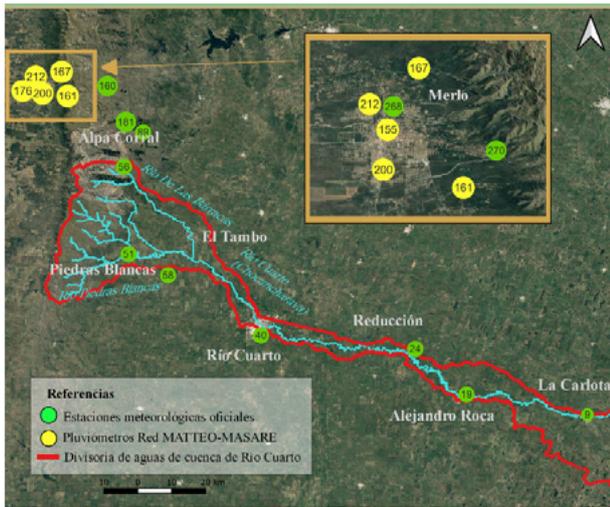


Figura 1.- Datos de precipitaciones en la cuenca del río Cuarto del evento ocurrido entre los días 22-23/03/2023

En la Fig. 2 se presenta la información del pico máximo de crecida generado en la cuenca del río Cuarto como consecuencia del evento meteorológico desarrollado. En el caso de las mediciones limnimétricas, se tiene la variación del nivel del agua cada 10 minutos durante todo el evento.

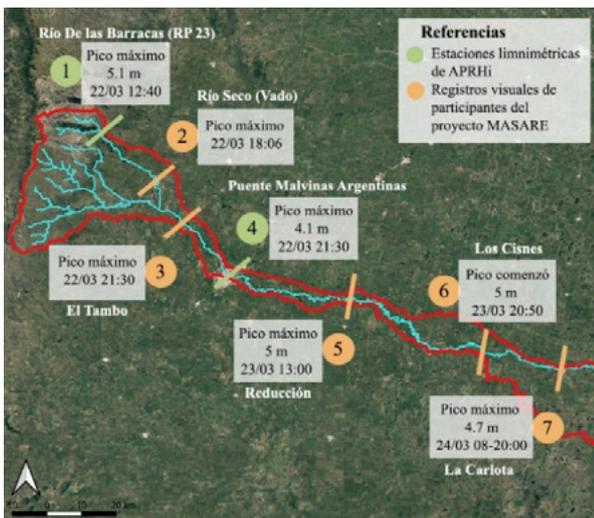


Figura 2.- Información hidráulica de evento ocurrido entre los días 22-23/03/2023, en la cuenca del río Cuarto.

En la sección del río Cuarto sobre el Puente Malvinas se registró a las 15:00 hs del 22/03 una velocidad media del flujo de 3.4 m/s, un caudal líquido de 330 m³/s, una concentración de sólidos en suspensión de 11.3 g/l y un caudal sólido de 3717.4 kg/s. Luego, a las 18:50 hs, momento cercano al pico máximo, se registró una velocidad de 4.1 m/s, con canal lleno, resultando un caudal líquido de 780 m³/s, una concentración de sólidos en suspensión de 27.2 g/l y un caudal sólido de 21235.7 kg/s.

Durante el evento se registraron inundaciones y erosión de márgenes a lo largo de la cuenca (Fig. 3). Permisarios de areneras mecánicas ubicados sobre el río Cuarto fueron afectados gravemente, sufriendo inundaciones con posterior sedimentación y también erosión con migración de varios metros en los márgenes del río. Ello impidió la continuidad de las actividades extractivas durante aproximadamente 2 meses.



Figura 3.- Impactos generados en la cuenca del río Cuarto durante el evento de marzo de 2023.

Conclusiones

En el trabajo se presentaron algunos de los resultados obtenidos utilizando la metodología participativa de la ciencia ciudadana para el monitoreo de eventos hidrológicos en la cuenca del río Cuarto. Con el aporte de los ciudadanos localizados en distintas posiciones de la cuenca, se relevaron los cambios espacio-temporales de variables hidrometeorológicas (precipitaciones), hidrológicas (caudales), hidráulicas (velocidad, altura de agua, tiempos de respuesta), transporte de sedimentos y localización de procesos de erosión/desbordes/inundación. Esta información se utilizará en modelos predictivos y para elaborar en conjunto con la ciudadanía, las unidades académicas y los organismos de gestión, las bases para un plan de ordenamiento territorial y manejo del sistema fluvial, con el propósito de mitigar el riesgo hídrico.

En ese marco, el evento más reciente relevado, ocurrido entre el 22-23/03/2023, generó caudales extraordinarios (líquidos y sólidos), desbordes/inundaciones en área serrana y de llanura, erosión de márgenes, sedimentación, que ocasionaron cuantiosas pérdidas económicas.

Agradecimientos

A los permisionarios mecánicos de areneras ubicadas sobre el río Cuarto que colaboran con los proyectos: B. Alvarez Strazzi, G. Baudino, F. Bruno, M. Bueno, P. Bueno, L. García, A. Gonzalez, V. Gonzalez, G. Gonzalez, A. Ribas, C. Strazzi, C. Zazzarini y H. Zazzarini, a los estudiantes y docentes del Instituto Cristo Rey de Río Cuarto y a los Bomberos Voluntarios de La Carlota.

Referencias

- Corral, M., Baldissone M., Farias H., Rodriguez A. y López F. (2009) *Balance sedimentológico simplificado para el río Cuarto, Córdoba*. En RIOS 2009: 4° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Actas CD: 1-13. Salta, Argentina.
- Degiovanni, S., Villegas, M. y Ulla, J.P. (2013) *Análisis de la carga de fondo y dinámica de transporte en el río Cuarto (Córdoba), como base para una minería de áridos sustentable*. Revista de la Asociación Geológica Argentina 70 (2): 238-348
- Santinelli, M., Doffo, N., Degiovanni, S., Echavarria, K., & Andreazzini, J. (2020). *Cambios morfohidrológicos, inducidos por intervenciones antrópicas, en los sistemas lagunares de los bañados del Saladillo, Córdoba*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 77(1), 4-19.
- UNESCO (2021). *Anteproyecto de recomendación de la UNESCO sobre la ciencia abierta. La Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Paris.

LOS SERVICIOS DESVINCULADOS DE AGUA Y SANEAMIENTO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES. EL CASO DEL MUNICIPIO DE MORENO

Verónica Cáceres¹, María Eva Koutsovitis² y Melina Tobías³

(1) Investigadora CONICET con sede en el Instituto GIOGA, Facultad de Derecho (UBA).

Docente de la Universidad Nacional General Sarmiento. vcaceres@campus.ungs.edu.ar

(2) Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. mevakoutsovitis@yahoo.com.ar

(3) Investigadora CONICET con sede en el Instituto de Investigaciones Gino Germani (UBA). melina.tobias@gmail.com

Introducción

La provisión de agua potable y saneamiento conforman aspectos centrales para la sostenibilidad de la vida, refieren a derechos humanos inalienables y hacen a una responsabilidad ineludible del Estado (Castro et al., 2023; UN, 2021). En el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) existe un conjunto heterogéneo de servicios de agua y saneamiento llamados Servicios Desvinculados (SD), que, si bien se encuentran dentro del área de competencia de la empresa estatal Agua y Saneamientos S.A. (AySA), su creación y operación depende de terceros. Este trabajo explora la situación de los SD en el AMBA; a partir de 2 estudios de casos en Moreno y el relevamiento de fuentes primarias (entrevistas a actores claves, visitas técnicas y muestreo de la calidad de agua) y fuentes secundarias (antecedentes técnicos y normativos), se propone organizar la heterogeneidad de los SD.

Aspectos conceptuales

La definición de SD es objeto de debate entre los distintos actores, lo que repercute en la cantidad de desvinculados que se consideran, en las tipologías que se identifican, y las estrategias de intervención que proponen. Sin dudas la ausencia o precariedad del mantenimiento y operación de estas infraestructuras genera profundas desigualdades territoriales en el acceso al agua y el saneamiento (Catenazzi, 2017). A ello se suma que, la mayoría de estos sistemas fueron (y continúan siendo) creados a través del Estado, en el marco de la implementación de políticas habitacionales.

En el AMBA, por la ley 26.221, la Agencia de Planificación (APLA) es el organismo encargado de planificar y controlar la ejecución de las obras de expansión del servicio; y la Subsecretaría de Recursos Hídricos la autoridad de aplicación del marco regulatorio. La norma acuerda que, dentro de lo que denomina área de expansión, los usuarios podrán construir y operar por sí o por terceros sistemas de captación y distribución de agua y colección y tratamiento de desagües cloacales, para lo cual deben pedir autorización a la Autoridad de Aplicación. Se considera que tienen un carácter precario y que cesarán al momento en que AYSA se haga cargo de la explotación y prestación. Cabe señalar que no hay acuerdo en la definición de SD entre los actores que intervienen: AYSA, su ente de regulación ERAS, la APLA, y los municipios.

Resultados

De acuerdo al relevamiento realizado en la investigación, en el área de concesión de AYSA, se estima un universo de SD que asciende a 365, los cuales abastecen a una población de 498.483. Se redefinió los SD en función del tipo de prestación/operación de los servicios de agua y cloaca que tengan los barrios, como se presenta en la tabla 1 y no a la morfología o trama urbana.

Tabla 1.

Tipo de servicio	Características
------------------	-----------------

1. Servicio con operación	1.1 Organización Vecinal/ Consorcial (OV) La responsabilidad de la operación y el mantenimiento de los servicios recae en algún tipo de organización vecinal (junta vecinal, administración, asociación de vecinos, etc.), que no se constituye formalmente como cooperativa o mutual
	1.2. Cooperativa/ Mutual (COMU) La responsabilidad de la operación y el mantenimiento corresponde a una cooperativa o mutual formalmente establecida (con personería jurídica).
	1.3 Operación Municipal (OM) La responsabilidad de la operación y el mantenimiento de los servicios recae en el municipio sea de manera directa o indirecta.
	1.4 Operación privada (OP) La responsabilidad de la operación y el mantenimiento de los servicios recae en una empresa privada contratada por los propios vecinos del barrio.
2. Servicio sin operación	

Del total de los SD de agua potable, el 61.5 % corresponde a la tipología OV, 24% a OP, un 9.5% a Sin Operación, un 3% a COMU y un 2% a OM. Respecto al total de la población que accede al agua potable mediante SD, el 70% lo hace mediante OV (bajo distintas modalidades), el 8% a través de COMU, otro 8% mediante el tipo Sin Operación, 11% OP y un 3% de OM. Precisamente en Moreno se han podido identificar 28 SD de agua que atienden a una población que alcanza los 32.002 personas e incluyen complejos habitacionales construidos en distintos contextos históricos con programas federales; otros con participación de sindicatos u otras asociaciones civiles sin fines de lucro y sistemas de provisión PRO-AGUA. Así también se identificaron 9 barrios que tienen SD que permiten la resolución del saneamiento para una población estimada de 76.233. El gobierno municipal conforma el receptor ineludible de los reclamos de los barrios y despliega acciones de asistencia frente a la emergencia.

En el Complejo Habitacional La Perla construido en los programas federales de vivienda, uno de los casos seleccionados en la investigación, con 1172 viviendas y 2400 habitantes, no se ha conformado un consorcio y su operación está a cargo de un trabajador del municipio (para una estación de bombeo que no cuenta con equipamiento electromecánico). Se corresponde a la tipología de Servicio con Operación Municipal. En el caso del saneamiento, se conecta a la red de AYSA mediante un by pass y el municipio asiste los desbordes cloacales mediante camiones desobstructores y atmosféricos semanalmente.

El barrio 3 de diciembre, segundo caso trabajado, fue construido por el Sindicato Obrero Mosaísta con el Fondo Nacional de la Vivienda hace aproximadamente 30 años, tiene una trama urbana regular y se estima que existen 500 viviendas y 1500

habitantes. El servicio de agua potable corresponde a la tipología de Servicio No Operado, no cuenta con sistema de cloración. La oferta de agua proveniente de la única perforación existente es insuficiente, como consecuencia el tanque no se llena y la red no se presuriza correctamente. Los efluentes vuelcan sin ningún tipo de tratamiento mediante un bypass de la planta depuradora abandonada al arroyo Las Catonas.

En ambos casos las muestras de agua analizadas evidenciaron presencia de nitratos y nitritos en el agua. En particular, los valores de nitritos superan la concentración máxima admisible establecida y las determinaciones realizadas evidencian concentraciones de cloro libre no detectables. Los predios se encuentran sin cercamiento o con cercamiento muy precarios e inconclusos, sin puertas de ingreso a las obras civiles, con escaleras que permiten acceder al tanque o cisterna con tenue protección, sin elementos básicos para quienes tengan que realizar tareas en el lugar. En el caso del saneamiento, en ambos casos, se observan desbordes cloacales en zanjas, veredas y cordones cuneta evidencian que las redes cloacales se encuentran colapsadas.

Conclusiones

A partir de los dos casos analizados, y de la revisión de la normativa y la situación de los SD en el conjunto del área de prestación, se esbozó una tipología: “Sin Operación” y “Con operación - Operación municipal”. Se entiende que la proble-

mática demanda una redefinición de las responsabilidades institucionales, en la cual la Dirección Nacional de Agua y Saneamiento, como Autoridad de Aplicación, requiere asumir un rol de coordinador y propiciar mesas de diálogo entre los distintos actores; y un fortalecimiento de los municipios que actualmente asisten a los SD. Otros actores como AYSA tienen el potencial de brindar capacitaciones técnicas y formativas relacionadas a la operación y acompañar en cuestiones relativas a las tareas de desinfección/cloración, operación y mantenimiento de los sistemas de bombeo, etc. El ERAS, por su parte, puede realizar un relevamiento de la calidad de los SD en toda el área de concesión, y el APLA desarrollar una guía de procedimientos que permita explicitar los pasos para la conformación de SD, especialmente para los municipios incorporados que no tienen ni tendrán factibilidad por parte de la empresa para formalizar sus servicios en el corto ni mediano plazo.

Referencias Bibliográficas

Castro, J.E.; Heller, L., Morais, M.P. y Caldera Ortega, A. (2023) *El Derecho al agua como política pública en América Latina: una exploración teórica y empírica*. Río de Janeiro: Ipea.

Catenazzi, Andrea Claudia. (2017). “El Borde Metropolitano desde las redes de saneamiento”. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*. Mario J. Buschiazzo, 47(2), 223-238.

Naciones Unidas (2021) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: El valor del agua*. UNESCO, París.

CYANO: UN PROYECTO DE CIENCIA CIUDADANA PARA DETECTAR FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN EL EMBALSE LOS MOLINOS, CÓRDOBA (ARGENTINA)

Calvimonte, Helena^{1,2}, Bazán, Raquel del V.², Cossavella, Ana M.², O'Mill, Patricia^{1,2}, Mansilla, Florencia M.², Ternavazio, R.², Herrero, Horacio S.J.^{1,2}, Roque, Mariana S.¹, Carnicelli, Gabriel¹

¹Administración Provincial de Recursos Hídricos. Humberto Primo 607. Cp. 5000. Córdoba, Argentina. helena.calvimonte@unc.edu.ar

²Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Avda. Vélez Sarsfield 1611. Cp. 5016, raquel.bazan@unc.edu.ar, ana.cossavella@unc.edu.ar, patricia.o.mill@unc.edu.ar, maria.florencia.mansilla@mi.unc.edu.ar, rodrigo.ternavazio@mi.unc.edu.ar, horacio.herrero@unc.edu.ar, msroque@gmail.com, gabecarnicelli@gmail.com

Introducción

CYANO es un proyecto de ciencia ciudadana que integra los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030: ODS 3: Salud y bienestar, ODS 4: Educación de calidad, ODS 6: Agua limpia y saneamiento, ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles y el ODS 17: Alianzas para lograr objetivos. Particularmente, a través del ODS 17 se busca cocrear soluciones a la problemática socioambiental de la eutrofización. Se involucran diferentes actores en territorio (comunidad educativa de escuelas primarias y secundarias, gobierno, clubes náuticos, pescadores, veterinarias, etc.). El embalse Los Molinos (ELM), es multipropósito, con un estado eutrófico y actualmente considerado uno de los atractivos turísticos más recomendados con una importante oferta de diferentes productos inmobiliarios. El equipo coordinador de CYANO, conduce el Programa de Monitoreo Permanente de Calidad de Agua desde el año 1999 junto a la actual Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHi) y a partir del 2001 se incorpora la empresa Aguas Cordobesas S.A. (actual concesionaria del servicio de agua potable para la ciudad de Córdoba). A través de los años, se ha logrado una amplia experiencia en territorio, estableciéndose relaciones de confianza con diversos actores locales.

El objetivo principal del trabajo es presentar el monitoreo visual colaborativo de floraciones de cianobacterias llevado a cabo en el ELM en el marco de un proyecto de ciencia ciudadana ambiental denominado CYANO (PNUD, 2021 y 2022). Las cianobacterias son microorganismos indicadores de eutrofización, que se multiplican rápidamente y dan lugar a floraciones o “blooms” que pueden representar un riesgo para la salud cuando se realizan actividades recreativas o cuando no se cuenta con un adecuado proceso de potabilización, ya que tienen la capacidad de producir toxinas (Chorus y Welker, 2021).

Materiales y Métodos

En 2019, se diseñó un monitoreo visual de cianobacterias realizado por personal del Grupo Especial de Rescate y Salvamento de Calamuchita (GERS), perteneciente a la Dirección de Bomberos de la Policía de la Provincia de Córdoba. Inicialmente, se creó una encuesta utilizando Google Forms que el personal del GERS completó con observaciones de las condiciones del agua, meteorológicas y mediciones in situ de temperatura del agua y transparencia medida con disco de Secchi (Figura 1).



Figura 1.- Medición de temperatura del agua (izquierda) y de visibilidad de disco de Secchi (derecha).

Además, en cada sitio de monitoreo se registraron las coordenadas geográficas mediante foto tomada con Angle Cam App o Google Maps, las características del cielo (despejado,

nublado, parcialmente nublado), si hubo viento, brisa, presencia o ausencia de turbidez fitoplanctónica, el aspecto de las cianobacterias (no visibles, en suspensión fina, “pinceladas”, natas y/o espumas espesas) y la presencia o ausencia de ejemplares de peces muertos. El aspecto de las cianobacterias se registró también fotográficamente y junto con el registro de coordenadas se adjuntó como archivo de imagen a la encuesta y se almacenó dicha información en la cuenta Google Drive del proyecto CYANO.

Los datos recabados se registraron en el recorrido de rutina que realizó el personal del GERS de Calamuchita y se contó con una frecuencia diaria, cada dos o tres días o semanal. Posteriormente, los datos fueron ordenados y procesados por integrantes universitarios del proyecto CYANO en una planilla Microsoft Excel® junto a los datos del tiempo y la cota del embalse. Finalmente, se asignó el nivel de alerta según la interpretación de la información recolectada. Para ello, se adaptó el cianosemáforo usado por el Ministerio de Salud de la Nación Argentina (MSAL, 2017) que identifica con un color, cada nivel de riesgo. En este trabajo, se identificaron 4 niveles de riesgo según el aspecto del agua y se incluyeron recomendaciones para los diferentes usos del agua. El cianosemáforo fue comunicado mediante grupos de WhatsApp conformados por la comunidad educativa y por mensaje o llamada telefónica a gestores de gobierno y de la planta potabilizadora que abastece al sur y centro de la ciudad de Córdoba cuando el nivel del cianosemáforo se encontró entre moderado y rojo. Además, en la escuela rural Alfonsina Storni se comunicó mediante un pizarrón y cartel expuesto en su puerta de ingreso.

Este monitoreo visual fue suspendido durante la pandemia debido a que el personal del GERS de Calamuchita se involucró en tareas de bioseguridad relacionadas a Covid-19. Es por ello, que para continuar con los registros de floraciones de cianobacterias, en marzo de 2021, se diseñó un monitoreo visual y comunitario realizado por las y los vecinos del perillago. En esta segunda etapa, se utilizó una encuesta similar a la primera (<https://bit.ly/3mL3gDL>) que se encuentra disponible en la bio de las redes sociales del proyecto (Instagram: @proyectocyano). Se reportaron las mismas variables que en la primera etapa a excepción del disco de Secchi y la temperatura del agua.

Además, los vecinos y turistas que no cuentan con internet al momento de visitar las costas y por la rapidez de la comunicación, enviaron fotos y geoubicación de las floraciones de cianobacterias al número de WhatsApp de contacto de CYANO. El procesamiento de datos y estrategia de comunicación se realizó de manera idéntica al periodo 2019-2020, aunque se incluyó la comunicación del cianosemáforo en historias de Instagram y Facebook del proyecto CYANO.

Resultados

Desde octubre del 2019 a marzo del 2020, se recopilaron 44 registros distribuidos en todo el embalse en 13 sitios de monitoreo (Figura 2).

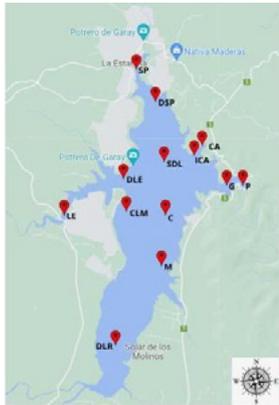


Figura 2.-Geubicación de los sitios de muestreo en el ELM (periodo 2019-2020): Centro (C), Club Apycac (CA), Costa Los Molinos (CLM), Desembocadura Los Espinillos (DLE), Desembocadura Los Reartes (DLR), Desembocadura San Pedro (DSP), Garganta (G), Ingreso club, Apycac (ICA), Los Espinillos (LE), Molvento (M), Presa (P), San Pedro (SP) y Solar del Lago (SDL).

En la segunda etapa, entre marzo 2021 a marzo 2023, se registraron 51 datos en 15 sitios de monitoreo (Figura 3). Se destaca que en su mayoría el monitoreo visual fue realizado desde las costas, a excepción de los sitios 3, 8 y 9.

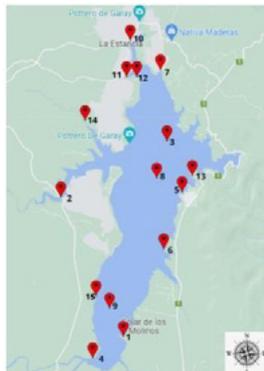


Figura 3.- Geubicación de los sitios de muestreo en el ELM (periodo 2021-2023). 1: Solar Los Molinos, 2: Puesto Los Espinillos, 3: A metros ingreso Club APYCAC, 4: Unión de los 2 ríos, 5: Va. La Merced, 6: Molvento, 7: Club Náutico, 8: Centro, 9: Desembocadura Los Reartes, 10: costa Norte Potrero de Garay, 11 y 12: costa centro Potrero de Garay, 13: Club IME, 14: Los Pinares, 15: Costa suroeste

En la Figura 4 se observa que sólo en el club APYCAC se registró un nivel de riesgo alto (rojo). Los sitios que presentaron un riesgo moderado (amarillo) fueron los de zona sur (Molvento y desembocadura Los Reartes) y en el centro. En los demás sitios el riesgo fue bajo (verde) a sin riesgo (azul). Los florecimientos de cianobacterias se registraron en enero y febrero del 2020.

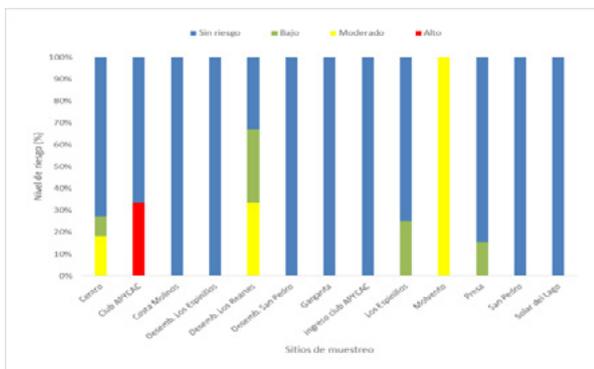


Figura 4.- Porcentaje de ocurrencia de los niveles de riesgo según el cianosemáforo en cada sitio de monitoreo durante 2019-2020.

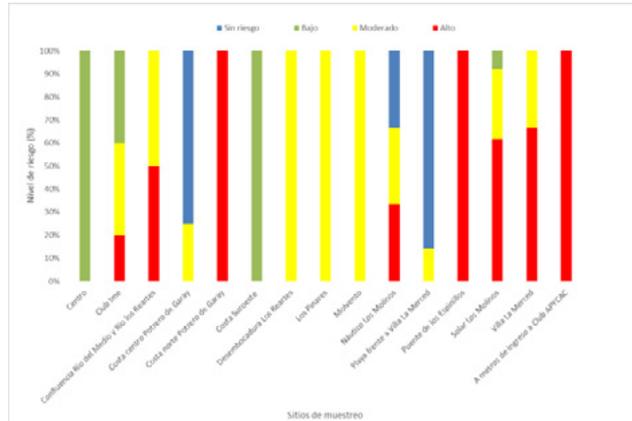


Figura 5.- Porcentaje de ocurrencia de los niveles de riesgo según el cianosemáforo en cada sitio de monitoreo durante 2021-2023.

A partir de los datos recopilados por vecinos y turistas en relación a la ocurrencia de floraciones de cianobacterias, se observa en la Figura 6 que el 66% de los registros en los dos últimos años se asocian a un nivel de riesgo entre moderado y alto.

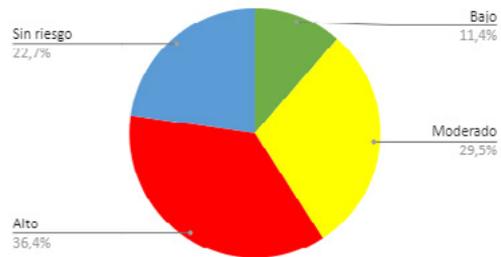


Figura 6.- Distribución porcentual del nivel de riesgo según el cianosemáforo entre 2021 y 2023.

Conclusiones

En todo el periodo en estudio la zona sur del embalse ha sido la que presentó mayor ocurrencia de floraciones con un nivel de riesgo moderado a alto. En la zona Solar Los Molinos las floraciones se han mantenido hasta tres meses consecutivos, la misma es una bahía cerrada y la zona menos profunda del embalse. Además, los vientos predominantes son del Norte. En la primera etapa, las floraciones de cianobacterias ocurrieron en los meses de enero y febrero del 2020, mientras que en el periodo de la segunda etapa se detectaron entre los meses de marzo y junio. Este trabajo pone en evidencia que la ciencia ciudadana puede contribuir a un cambio de paradigma en la ciencia para desarrollar un trabajo colaborativo entre investigadores, organismos gubernamentales y público en general en el cual se abordan problemáticas ambientales emergentes como es el caso de las floraciones de cianobacterias.

Referencias

Chorus, I., & Welker, M. (2021). *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management* (p. 858). Taylor & Francis.

Ministerio de Salud (2017). *Directrices sanitarias para el uso seguro de aguas recreativas*. Resolución 125/2016. Buenos Aires, Argentina.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2021). *Ciencia ciudadana ambiental. Mapeo de iniciativas nacionales*. Buenos Aires, Argentina.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2022). *Ciencia ciudadana. Mapeo de iniciativas nacionales*. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina.

EVALUACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE AGUA DULCE PARA LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN LA REGIÓN DEPRIMIDA DEL SALADO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Cellone F.¹, Funes D.², Marino S.² y Carol E.³

1. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

2. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata, Argentina

3. Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), La Plata, Argentina

E-mail: fcellone@fcnym.unlp.edu.ar

Introducción

En la Región Deprimida del Salado el abastecimiento de agua para consumo humano a partir de la explotación de agua subterráneas afronta serios problemas en relación con su calidad a raíz de los elevados contenidos salinos que presenta este recurso (CFI, 1980). Hacia este sector de la provincia el principal acuífero utilizado para abastecimiento en el sector noreste, el acuífero semiconfinado Puelche, se encuentra salinizado (Auge, 2002). De esta manera la principal fuente de abastecimiento queda restringida al acuífero libre. Trabajos previos dan cuenta de una gran variabilidad en cuanto a la calidad del agua en este sector (Galindo et al., 2004), reconociéndose ambientes geohidrológicos menores donde las condiciones morfológicas y geológicas favorecen la infiltración de agua de lluvia y el almacenamiento de agua dulce en forma de pequeñas lentes (Sala et al. 1978, Carol et al., 2015; Tanjal et al., 2017). El objetivo de este trabajo es identificar y analizar potenciales ambientes hidrogeomorfológicos capaces de almacenar agua de mejor calidad en la Región Deprimida del Salado, específicamente en el área comprendida entre los ríos Samborombón y Salado (Fig. 1). Estas fuentes de agua resultan de interés para el abastecimiento de los pobladores rurales y por lo tanto para la actividad agropecuaria llevada a cabo en la zona.

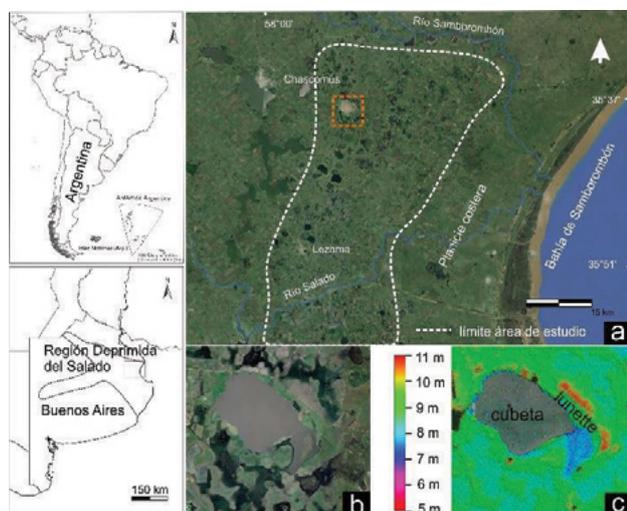


Figura 1.- a. Ubicación del área de estudio dentro de la Región Deprimida del Salado. b. Imagen satelital con detalle de una cubeta/laguna y lunette c. Modelo de elevación digital con detalle de una cubeta/laguna y lunette.

Marco geológico

Una de las características geomorfológicas más notables de la Región Deprimida del Salado es la presencia de un gran número de depresiones con formas y tamaños variables (Dangavs, 2005; Fucks, 2012). Pueden ser descritas como cubetas, hoyos o cuencas de deflación y su génesis se vincula a procesos de deflación en ambientes áridos y semiáridos (Goudie y Wells,

1995). Debido al cambio postglacial hacia condiciones templado-húmedas muchas de estas depresiones se encuentran actualmente ocupadas por lagunas de manera casi permanente que en general no superan los 0,5 m de profundidad (Fucks, 2012).

Asociados a las cubetas de deflación, otras de las morfologías características de la zona son los lunettes, distintivos por su forma de medialuna, su orientación preferentemente en sentido E-NE y su altura elevada con respecto a la llanura, la cual puede superar los 15 m con respecto al piso de las lagunas (Dangavs, 2005; Fucks 2012). Su génesis está relacionada a varios ciclos erosivos-sedimentarios (Dangavs, 2005) evidenciados por la deflación eólica durante períodos secos y la acumulación de sedimentos en los bordes de las lagunas (Goudie y Wells, 1995).

Metodología

Para la identificación de ambientes hidrogeomorfológicos con potencialidad de almacenar agua dulce, se procedió a la realización de un mapeo geomorfológico de detalle del área. Para el mismo se utilizó un Modelo digital de elevación (MDE) (TanDEM-X) de alta resolución espacial (12m) (Fig. 1c) obtenido a través de la Agencia Espacial Alemana el cual abarca la totalidad de la zona de estudio.

Con el objetivo de determinar períodos de excedentes y déficit hídricos se realizó un balance hídrico para los últimos 20 años basado en la metodología Thornthwaite-Mather (1957) a partir de una base de datos de la estación meteorológica ubicada en la Base Aeronaval de Punta Indio.

Con el fin de constatar las formas reconocidas en las imágenes satelitales y MDE y en función del reconocimiento de ambientes con potencialidad de almacenar agua dulce se efectuaron relevamientos de campo en un área de mayor detalle. Se realizaron dos campañas, la primera fue después del período de excedente hídrico, en octubre de 2019 y la segunda después de un período de déficit hídrico, en febrero de 2021. En ambas campañas se midió en un total de 20 perforaciones de abastecimiento y molinos la conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea mediante un equipo portátil. El propósito fue el de diferenciar aguas de baja salinidad de aguas salobres.

Resultados

A partir de la información obtenida del MDE y de las imágenes satelitales de Google Earth se distinguieron los tres principales tipos de ambientes hidrogeomorfológicos presentes en el área de estudio: llanura, cubetas y lunettes. Su distribución dentro del área de estudio se detalla en el mapa geomorfológico presente en la Figura 2.

En cuanto a los resultados del balance hídrico se constató que los meses donde ocurre déficit hídrico son los meses de diciembre y enero, mientras que los que registran los mayores valores de excedentes son los meses de julio, agosto y septiembre.

Por otro lado, si se analizan los valores de CE del agua subterránea para ambos periodos relevados se observa que las menores salinidades del agua subterránea se encuentran

asociadas a los lunettes aunque con una gran heterogeneidad (Tabla 1). Se registra además una disminución en la CE del agua subterránea de un período de déficit a un período de excedentes hídricos.

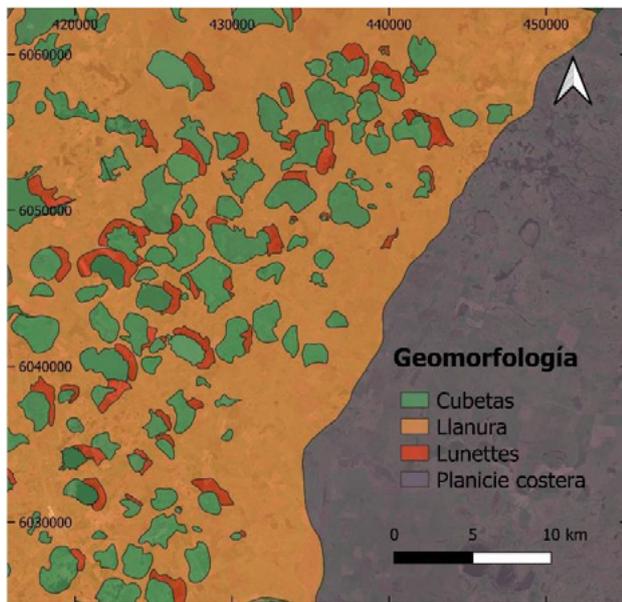


Figura 2.- Mapa geomorfológico del área de estudio.

Tabla 1.- Valores de CE del agua promedios y desviación estándar (DE) para los muestreos de octubre de 2019 y febrero de 2021.

CE (µS/cm)	n	Promedio		DE	
		Oct/19	Feb/21	Oct/19	Feb/21
Llanura	13	2078	2232	571	778
Lunettes	7	1370	1508	553	553

Discusión

Se ha registrado que incluso en ambientes en donde hay una predominancia de agua salobre, existen zonas que pueden almacenar agua de mejor calidad. Muchos de estos ambientes se asocian a geofomas particulares, generalmente con mayores expresiones topográficas y permeabilidades que permiten la generación de lentes de agua dulce (Laattoe et al., 2017; Tanjal et al., 2017; Cellone et al., 2018).

Si bien las diferencias en la CE del agua subterránea entre los distintos ambientes hidrogeomorfológicos son leves, podrían estar indicando que en las formas eólicas positivas tales como los lunettes se favorece la recarga local del agua de lluvia, generando pequeñas lentes de agua de menor salinidad con respecto a los alrededores. La disminución en la CE del agua subterránea registrado de un período de déficit a un período de excedentes hídricos a su vez podría estar vinculado a la recarga del acuífero freático a partir del agua de lluvia cuando se produce infiltración.

Conclusiones

El presente trabajo contribuye a identificar ambientes alternativos capaces de almacenar agua dulce para abastecimiento y uso agropecuario en la Región Deprimida del Salado.

En función del MDE y del mapa geomorfológico, se lograron establecer tres geofomas dominantes en la zona: lunettes, cubetas y llanura. Integrar el mapa geomorfológico junto con los resultados obtenidos de la CE del agua subterránea permitió la distinción y distribución de los ambientes hidrogeomorfológicos

con capacidad de almacenar agua dulce, asociados a los lunettes. Se observó también a partir de los balances hídricos que aumenta la cantidad de agua que infiltra durante los meses de invierno dando como resultado una disminución en la CE del agua subterránea.

El presente trabajo tiene carácter exploratorio y resulta necesario profundizar en algunos aspectos como el análisis hidroquímico e hidrodinámico del agua subterránea con el fin de determinar cuáles son los procesos que condicionan su cantidad y disponibilidad en este ambiente de llanura. El análisis hidrogeomorfológico, como la premisa de la existencia de lentes de agua dulce sobre un ambiente de mayor salinidad puede orientar futuros estudios y a su vez los esfuerzos de localización de perforaciones para la captación de agua de mejor calidad para fines agropecuarios.

Referencias

- Auge, M. P., Hernández, M. A., & Hernández, L. (2002). Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina. En XXXII IAH & VI ALHSUD Congress. Actas (pp. 629-633).
- Cellone, F., Tosi, L., & Carol, E. (2018). Estimating the freshwater-lens reserve in the coastal plain of the middle Río de la Plata Estuary (Argentina). *Science of the total environment*, 630, 357-366.
- Consejo Federal de Inversiones (Provincia de Buenos Aires) (1980). Estudio de la zona deprimida del Salado. Informe final (1° Etapa).
- Dangavs, N. V. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap XIII. 219-236.
- Fucks, E., Pisano, F., Carbonari, J., & Huarte, R. (2012). Aspectos geomorfológicos del sector medio e inferior de la Pampa Deprimida, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 25.
- Galindo, G., Herrero, M. A., Korol, S., & Cirelli, A. F. (2004). "Water resources in the Salado River drainage basin, Buenos Aires, Argentina: chemical and microbiological characteristics". *Water international*, 29(1), 81-90.
- Goudie A.S., & Wells, G.L (1995). The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews* 38 (1995) 1-69.
- Laattoe, T., Werner, A. D., Woods, J. A., & Cartwright, I. (2017). Terrestrial freshwater lenses: Unexplored subterranean oases. *Journal of Hydrology*, 553, 501-507
- Sala, J., González, N., & Hernández, M. (1978). Efectos de una barrera hidráulica natural en las aguas subterráneas del litoral de la Bahía de Samborombón. *Obra del Centenario del Museo de La Plata*, 4, 153-166.
- Carol, E., García, L., & Borzi, G. (2015). Hydrogeochemistry and sustainability of freshwater lenses in the Samborombón Bay wetland, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 60, 21-30.
- Tanjal, C., Carol, E., Richiano, S., & Santucci, L. (2017). Freshwater lenses as ecological and population sustenance, case study in the coastal wetland of Samborombón Bay (Argentina). *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 426-431.

CO – PRODUCCIÓN DE SERVICIOS CLIMÁTICOS ORIENTADOS A LA TOMA DE DECISIÓN DEL SECTOR HIDROENERGÉTICO

Cerrudo Carolina¹, Godoy Alejandro^{1,4}, Díaz Gonzalo^{1,3}, Garbarini Eugenia María¹, Poggi Mercedes¹, Chamorro Lucas², Fisher Matthias², Cristanchi María Alejandra², Righetti Silvina^{1,3}, Ferreira Lorena¹.

¹Servicio Meteorológico Nacional, Argentina. ²Entidad Binacional Yacyretá, Argentina y Paraguay. ³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA. ⁴Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG-UNLP)
E-mail: ccerrudo@smn.gov.ar

Resumen

Desde abril de 2022 se realizan periódicamente reuniones mensuales entre el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina y la Entidad Binacional Yacyretá (EBY) con el propósito de brindar información hidroclimática relevante para la toma de decisión del sector hidroenergético. El presente trabajo tiene por objetivo reflejar el proceso de co - producción entre ambas instituciones que condujo al servicio que actualmente se brinda en las reuniones mencionadas, así como también demostrar que el trabajo conjunto sostenido en el tiempo y la retroalimentación permiten la mejora continua de los servicios, tal como recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM N° 1129).

Entre la información brindada se encuentra un resumen de los indicadores climáticos y pronósticos de temperatura y precipitación a mediano y largo plazo de mayor relevancia para el usuario, algunos de los cuales son procesados y adaptados exclusivamente para la Cuenca del Plata. Las estrategias utilizadas para promover la mejora continua del servicio son, por un lado, el diálogo permanente a lo largo de las sucesivas reuniones y, por el otro, la elaboración de encuestas de valoración de la calidad de los servicios y propuestas de mejora. A partir de dicho intercambio se identificó la necesidad del usuario de tener información de evaporación. Esto permitió realizar un estudio de evaluación de simulaciones de evaporación de los modelos de suelo VIC (Variable Infiltration Capacity) y HRLDAS (High Resolution Land Data Assimilation System), a partir de datos observados de evaporación brindados por EBY en localidades específicas.

Resultados

El proceso de trabajo conjunto entre las instituciones EBY y SMN inició en el mes de febrero de 2022, cuando se realizaron reuniones de intercambio para evaluar las necesidades del usuario, así como también reuniones internas entre los representantes del SMN para trabajar en la elaboración de productos adaptados a esas necesidades y en la definición de los modelos a utilizar. Durante el mes de marzo, el equipo del SMN trabajó en la preparación de los productos y elaboró una primera propuesta para EBY que fue presentada en el mes de abril.

A partir de abril de 2022 se realizan reuniones mensuales donde se presenta una determinada selección de productos elaborados por el SMN adaptados a las necesidades del usuario. Cabe destacar que el intercambio generado durante las sucesivas reuniones permitió entender el punto de vista del usuario y dónde hacer foco en las presentaciones. Se observó, por ejemplo, que si bien para la variable precipitación la región de mayor importancia es la cuenca del Plata, para temperatura es relevante el pronóstico en todo el territorio de cada país, ya que impacta en la demanda energética.

Las presentaciones contienen además un resumen en texto de los diferentes pronósticos y, luego de ser presentadas en la reunión, se envían por mail para poner el material a disposición

del usuario. A continuación se presenta una lista con la información presentada:

- Estado y Pronóstico del ENOS
- Pronóstico de Tendencia Climática Trimestral de precipitación y temperatura probabilístico
- Pronóstico de Tendencia Climática Trimestral de anomalía de precipitación y temperatura determinístico
- Pronósticos oficiales de los SMN de precipitación y temperatura
- Pronóstico de anomalía de precipitación para la Cuenca del Plata semanas 1 y 2
- Probabilidad de precipitación superior a un umbral para la Cuenca del Plata semanas 1 my 2
- Pronóstico de anomalía de temperatura media y de temperatura media semanas 1 y 2
- Valores de referencia climatológicos (terciles) de precipitación y temperatura

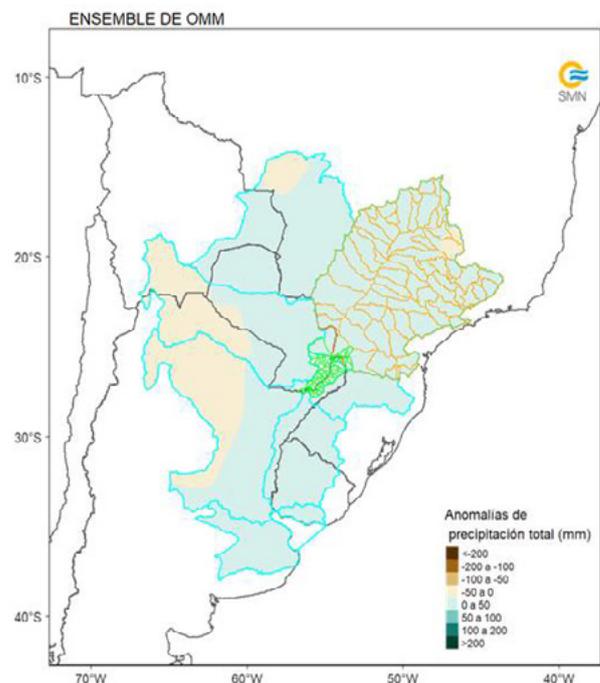


Figura 1.- Pronóstico determinístico de anomalía de precipitación para JJA. Ensamble de OMM.

Se realizó una encuesta de evaluación de la calidad del servicio con el objetivo de conocer el grado de satisfacción del usuario, la utilidad de los productos y los distintos usos que se le da a la información brindada. Entre los resultados obtenidos se encuentra que la mayoría de los productos son de gran utilidad

para la toma de decisión, siendo los siguientes los más votados: el estado y pronóstico del ENOS, el pronóstico de tendencia climática trimestral de precipitación probabilístico, el de anomalía de precipitación determinístico trimestral, y el de anomalía de precipitación para la Cuenca del Plata semanas 1 y 2.

La Figura 1 muestra un ejemplo de los productos adaptados a la cuenca del Plata que se brindan. En este caso corresponde al pronóstico determinístico de anomalía de precipitación para junio-julio-agosto del ensamble de la OMM. Además se ofrecen los pronósticos de los ensambles de NMME y C3S, como así también el detalle de cada miembro del ensamble para cada uno de los modelos.

Dentro de los aspectos evaluados en la encuesta se encuentra un relevamiento de las acciones que son llevadas a cabo por el usuario frente a la información provista por los diferentes productos ofrecidos. La Figura 2 muestra un resumen de las acciones más seleccionadas por los encuestados para cada producto. Se observa que el catálogo de productos ofrecido en su totalidad contribuye a la planificación de la demanda y disponibilidad de recursos. Entre las acciones para las cuales la información brindada es de utilidad también se encuentran el asesoramiento a otros sectores y la preparación para la emergencia.

Acciones que se llevan a cabo a partir de la información consultada					
Planificación de la demanda / disponibilidad de recursos	■	■	■	■	■
Planificación / organización de actividades en relación al sector	■				
Retransmitir / difundir información dentro del organismo					■
Retransmitir / difundir información hacia afuera del organismo					
Dictar capacitaciones					
Asesoramiento a otros sectores	■	■			■
Preparación para la emergencia	■	■		■	
Respuesta frente a la emergencia				■	
Actividades de prevención	■				

■	Estado y Pronóstico del ENOS
■	Pronóstico de Tendencia Climática Trimestral de precipitación y anomalía
■	Pronóstico de Tendencia Climática Trimestral de temperatura y anomalía
■	Pronóstico de anomalía y probabilidad de precipitación superior a un umbral semanas 1 y 2
■	Pronóstico de temperatura media y anomalía semanas 1 y 2
■	Valores de referencia climatológicos (terciles) de precipitación y temperatura

Figura 2.- Acciones que se llevan a cabo a partir de la información brindada en las reuniones EBY – SMN. Resultados obtenidos de la encuesta de satisfacción.

Otros aspectos destacados por los encuestados en los comentarios hacen referencia al mantenimiento de equipamiento, operación y manejo del embalse y navegabilidad.

Como resultado de los intercambios en las reuniones se identificó la necesidad del usuario de tener información de evaporación. En este sentido fue muy importante la provisión de datos observados de la variable por parte de EBY para poder realizar un estudio de evaluación de los datos de evaporación simulados por los modelos de suelo VIC (Liang et al, 1994) y HRLDAS (Chen and Duhia, 2001). La Figura 3 muestra resultados preliminares para la estación Pedro Juan Caballero, donde se observa, en términos generales, una subestimación de los modelos en representar la evaporación diaria acumulada a lo largo del período de estudio. Durante el mes de junio 2018, se observa un mejor ajuste del dato observado por el modelo VIC, mientras que HRLDAS sobreestima dicho valor. A partir de julio, y hasta octubre de 2018, los modelos subestiman a la

observación debido a una deficiente representación de la tasa de evaporación, la cual es más baja que la observada. Finalmente, a partir de octubre de 2018, puede detectarse una tasa de la variable similar entre los modelos y las observaciones.

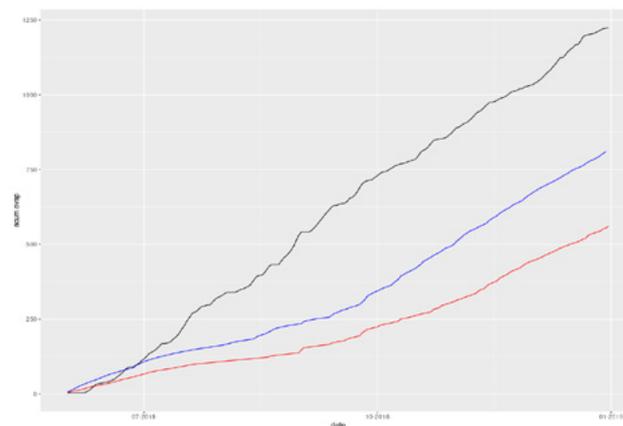


Figura 3.- Datos de evaporación diaria acumulada para la estación Pedro Juan Caballero (Paraguay) entre 2018-06-01 y 2018-12-31. Modelo VIC (línea roja), modelo HRLDAS (línea azul), observación (línea negra).

Conclusiones

El presente trabajo muestra el proceso de co - producción entre las instituciones EBY y SMN que condujo a la prestación del servicio que actualmente se brinda en las reuniones mensuales, donde se presenta un resumen de los indicadores climáticos y pronósticos de temperatura y precipitación a mediano y largo plazo de interés para el sector hidroenergético. Se evidencia que el trabajo conjunto sostenido en el tiempo y la retroalimentación permiten la mejora continua de los servicios. Entre los comentarios recibidos en la encuesta de evaluación de la calidad y utilidad del servicio, se destaca la importancia que el servicio brindado tiene en el fortalecimiento del conocimiento, reafirmar convicción en la toma de decisión, programación cronológica del recurso, evaluación de las condiciones de navegabilidad, la eventual situación de emergencia frente a una situación de crecida, como así también la programación de tareas de mantenimiento de la central hidroeléctrica. En el marco de un proceso de mejora continua del servicio se continuará trabajando a futuro en la evaluación de simulaciones de evaporación, con el objetivo a largo plazo de analizar simulaciones de balance hídrico vertical. Algunas líneas de trabajo que surgen en este sentido son:

1. analizar períodos más extensos y de menor resolución temporal.
2. Mejorar las simulaciones de evaporación en base a la calibración de los modelos de suelo.

Referencias

- Chen and Duhia J. (2001). *Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity*. Monthly Weather Review. Vol. 129, 569-585.
- Liang X., Lettenmaier D. P., Wood E. F. and Burges S. J. (1994). *A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models*. J. Geophys. Res., Vol. 99 (D7), 14415-14428.
- Organización Meteorológica Mundial N° 1129 (2014). *La estrategia de prestación de servicios de la OMM y su plan de aplicación*. Ginebra, Suiza.

PROYECTOS FINALES INTEGRADORES EN INGENIERÍA CIVIL CON EJES EN AGUA Y SANEAMIENTO Y LA MIRADA SOCIAL DEL ESTUDIANTE

Cristina Cervera⁽¹⁾, Claudia Forestieri⁽¹⁾, Raúl Navarro⁽¹⁾, Victoria Alfonso⁽¹⁾, Marina Rivosecchi⁽¹⁾

(1) Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario (Argentina)
Email: cerveracristina@yahoo.com.ar / claudia@fceia.unr.edu.ar / mavarro@fceia.unr.edu.ar / victoriaalfonso96@gmail.com / marinarivosecchi@gmail.com

Introducción

El objeto del presente trabajo es compartir experiencias vinculadas con el desarrollo de trabajos finales de grado relacionados con los recursos hídricos, realizados por estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario.

La finalidad del Plan de Estudios vigente cita expresamente que el mismo tiene por propósito que las y los egresados posean una sólida formación científica, técnica, social y profesional para abordar los problemas propios de la Ingeniería Civil, considerando también aspectos políticos, económicos, ambientales y culturales con visión ética y humanística, tomando en cuenta las necesidades de la sociedad. En particular, la asignatura Proyecto IV propone el desarrollo de un proyecto multidisciplinario, integrador de distintas áreas de la carrera cuya temática es elegida por el estudiantado.

Los ejemplos a mostrar surgen cómo, desde el planteo de problemáticas locales en la región, que inicialmente pueden considerarse “sencillas” desde el punto de vista hidráulico, las y los estudiantes desarrollaron propuestas técnica y económicamente factibles, integradoras desde aspectos hidrológicos, hidráulicos, sanitarios, estructurales, urbanísticos, ambientales, arquitectónicos, legales, etc., incluyendo un claro compromiso y sensibilización desde lo socioambiental articulando actores académicos, públicos, privados, ONGs, etc. En ese sentido las y los jóvenes muestran un fuerte interés por incorporar aspectos sociales en el desarrollo de sus proyectos.

“Reconstrucción de la bajada al río Paraná sobre Av. Génova en la ciudad de Rosario”

Este trabajo final de grado propone la intervención de un espacio de acceso al río Paraná en la ciudad de Rosario, el cual actualmente es uno de los pocos lugares públicos en donde la población puede acceder a la costa del río. Este espacio es utilizado principalmente para el desplazamiento por parte de las comunidades rurales que viven en las islas ubicadas frente a esta ciudad así como trabajadores que se movilizan desde la ciudad hasta las islas. Allí confluyen también intereses de instituciones y empresas privadas colindantes que se apropian del espacio debido a su estado deteriorado y la falta de gestión y control - en algunos casos - por parte de organismos estatales. A pesar de esa situación, es el nexo de la población residente o que trabaja en las islas, quienes lo usan esencialmente para el traslado cotidiano y la comercialización de mercaderías, combustibles, agua potable y todo lo necesario para la vida en la costa frente a la ciudad, que no cuenta con servicios básicos ni de salud. El agua es un canal de comunicación, así como una fuente de trabajo para los pescadores, pero existe un conflicto que genera una discontinuidad entre el río y el acceso a la ciudad.

La propuesta desarrollada consiste en un anteproyecto integral

de reacondicionamiento de la costa rosarina que contempla la intervención urbano arquitectónica desde el ingreso peatonal y vehicular al terreno, un sendero hasta la ribera y finalmente el diseño de una estructura de contención para la barranca y un muelle fijo con una plataforma flotante en las márgenes del río.

A partir de una demanda puntual de reacondicionamiento de un sector deteriorado en la barranca y mediante la participación activa de diversas entidades y actores sociales, vinculándose los estudiantes de una institución académica con ONGs presentes en las islas, pescadores, docentes y alumnos de una escuela, clubes y empresas involucradas en la zona, se obtiene una propuesta que promueve una integración más equitativa entre la población urbana y rural de las islas garantizando una visión integral de la intervención en el espacio público.



Figura 1.- Proyecto integral propuesto sobre Av. Génova

“Refuncionalización de un reservorio en el Barrio Los Solares, Funes”

Este trabajo final de grado se desarrolló contando entre los antecedentes que en el año 2011 - mediante servicios de consultoría privados contratados por la municipalidad de Funes - se realizó una propuesta de saneamiento pluvial en el Barrio Los Solares que constaba de cuatro reservorios. Las tareas proyectadas nunca se completaron y el lugar se fue convirtiendo en una zona deteriorada con múltiples reclamos por parte del vecindario. Además, el dimensionamiento de dichos reservorios fue realizado con una normativa anterior a la vigente, motivo por el cual el proyecto ha quedado desactualizado.

El grupo de estudiantes parte de esta realidad para presentar una nueva propuesta cuyo propósito principal es abordar el problema del desagüe pluvial en esa zona del barrio. Dado que el sistema de drenaje actual no es suficiente para satisfacer las necesidades de la zona, se diseñó un parque lineal que haga uso de los espacios verdes existentes, transformándolos en reservorios que proporcionen una solución hidráulica a este sector de la ciudad de Funes. El proyecto se extendió más allá del cálculo hidráulico de los reservorios y la factibilidad del estudio hidrológico en el barrio. Se plasmó un desarrollo urbanístico con un enfoque ambiental, buscando a la vez una solución que priorizara el aspecto social teniendo en cuenta las costumbres de los vecinos a la hora del diseño del parque. De

esta manera, se revaloriza el área urbana, a la vez que se resuelve la problemática del desagüe pluvial en la zona.

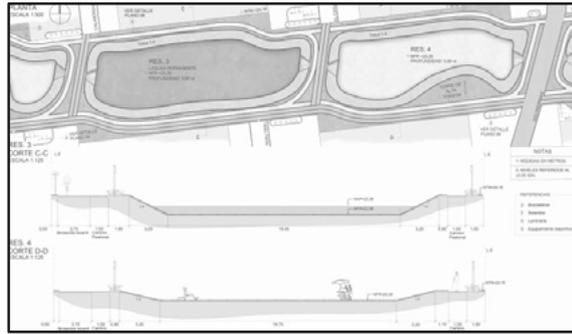


Figura 2.- Planta y Cortes de un sector del reservorio

“Propuestas de saneamiento integral en barrios populares”

Durante la pandemia mundial de COVID-19 se puso en evidencia qué, una simple recomendación como el “correcto lavado de las manos”, era imposible de cumplir debido a problemas en la infraestructura existente y falta de equidad en la distribución del servicio de agua potable y saneamiento básico en algunos sectores de Rosario y la región.

A partir de esta situación y del reclamo de organizaciones barriales que buscaron apoyo en actores de la universidad, surge el “Programa Barrios FCEIA”, impulsado por el Centro de Ingeniería Sanitaria de esta facultad. El mismo busca abordar la problemática del agua y saneamiento básico en asentamientos irregulares de la ciudad de Rosario y localidades vecinas a pesar que existen planes para proveer servicios a estas zonas. Dicho programa inspiró varias propuestas temáticas para trabajos finales, con una clara visión socioambiental y en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 17.

A través de los trabajos propuestos por los estudiantes se buscaron alternativas innovadoras que mejoraran a corto plazo la calidad de vida de la población mediante propuestas ingenieriles como respuesta a la emergencia. Se desarrollaron distintas soluciones para el abastecimiento de agua potable (citadas en las referencias) tales como sistemas independientes con captaciones subterráneas, bombeos, cisternas y tanques de almacenamiento; en otros casos conexiones a redes existentes o tanques abastecidos con camiones cisternas provistos por el prestador del servicio, con propuestas de sistemas de distribución aéreos o subterráneos y también se propusieron desarrollos de núcleos sanitarios básicos incluyendo propuestas para los desagües cloacales y pluviales de los distintos sectores.



Figura 3.- Propuesta mejoras para el abastecimiento con agua potable

Durante el período 2020-2022, se observó un mayor compromiso y participación de las y los estudiantes en cada proyecto académico relacionado con problemáticas sociales concretas como la mencionada falta de agua potable en distintos sectores. La participación de diversos actores, incluyendo la universidad, los prestadores del servicio de agua potable, ONGs y vecinos fue clave para el éxito de los proyectos.

Conclusión

Varios de los trabajos finales antes mencionados como ejemplos y/u otros desarrollados por los estudiantes, fueron presentados a las áreas técnicas y autoridades de las distintas localidades y también a la empresa prestadora del servicio de agua potable en la ciudad de Rosario, incluso algunos ya fueron ejecutados.

Con lo expuesto, se demuestra que la formación en ingeniería civil - aplicada en este caso particular a trabajos finales de grado - no sólo se limita a resolver problemas técnicos, sino que también puede tener un impacto positivo al incorporar - entre otros - aspectos sociales, económicos y ambientales.

La cooperación intersectorial, entre diferentes entidades y disciplinas, es esencial para abordar desafíos complejos y lograr soluciones integrales y sostenibles. La sensibilización de las y los estudiantes hacia la mejora social y la calidad de vida de las personas es un aspecto importante en el desarrollo de este tipo de proyectos de la mano de la poderosa herramienta que es la ingeniería.

Referencias

Programa Barrios – Centro de Ingeniería Sanitaria - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario: Gestión sostenible del agua y el saneamiento. <https://web.fceia.unr.edu.ar/es/noticias-fceia/1858-programa-barrios-fceia,-gesti%C3%B3n-sostenible-del-agua-y-el-saneamiento.html>

Proyectos Finales Carrera Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario. <https://rehip.unr.edu.ar/handle/2133/7108>

Abalone, L. Jesus, J.M. Nocetti, F. Sartagal, P. (2021). “Barrio vulnerable: Puente Gallego. Mejoras en la zona no urbanizada, Rosario”.

Alfonso, V. Azanza, J. Rivosecchi, M. Turletti, J.C. (2021). “Reconstrucción de la bajada al río Paraná sobre Av. Génova en la ciudad de Rosario”.

Balasonne, L. Sanmarti, J Talotti, D. (2020). “Análisis integral de un barrio vulnerable: Saneamiento en Barrio Copello, Capitán Bermúdez”.

Del Bó, J.M. Merzbacher, S. Visintini J. (2021). “Análisis integral de un barrio vulnerable: Saneamiento en Barrio Caminito, Granadero Baigorria”.

Castro, M. Cicerchia, V. Grabich, J. Ozerio, A. (2022). “Refuncionalización de un reservorio en el barrio Los Solares, Funes”.

Dell’Aia, G. Mora, L. (2022). “Aspectos básicos de saneamiento en la zona no urbanizada del Barrio Puente Gallego, Rosario”.

Marinangeli, V. Ponce, L. Rodríguez M.I. (2021). “Propuesta de desarrollo de suministro de agua potable Barrio: El Cañaveral Rosario”.

Pradi, J. Tiberi, F. (2021). “Análisis integral del Barrio Puente Gallego, Rosario”.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES TERRITORIALES Y DE COMUNICACIÓN PARA LA CONFORMACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES REPENTINAS EN LA CUENCA DEL RÍO SUQUÍA (CÓRDOBA) Y LA CUENCA SARANDÍ-SANTO DOMINGO (BUENOS AIRES)

Daniela D'Amén¹, Yanina García Skabar¹, Mariano Re², Juan Ruíz⁴, Federico Robledo⁴, Marcelo García³, Carlos Catalini², Matías Menalled¹, Leandro Kazimierski², Milagros Álvarez Imaz¹, Martín Vilariño¹, Sebastián López³, Carolina Cerrudo¹, Marina Lagos², Nadia Testani⁴, Camila Prudente⁴, Diego Moreira⁴, Malena Lozada⁴.

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina, ² Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina
³ IDIT (CONICET - U. Nacional de Córdoba), Argentina, ⁴ CIMA (CONICET - U. de Buenos Aires), Argentina
 E-mail: ddamen@smn.gob.ar

Introducción

En este trabajo se propone describir las interacciones generadas entre instituciones científico-técnicas nacionales, responsables en el desarrollo de un sistema de alerta temprana ante inundaciones repentinas, organismos gubernamentales de gestión del riesgo de desastres y emergencias, tomadores de decisión e instituciones educativas de las dos cuencas de interés, en el marco del proyecto PREVENIR (Pronóstico y Alerta de Eventos de Inundaciones Repentinas).

PREVENIR propone desarrollar un sistema de comunicación del riesgo de inundaciones que incluya la difusión de pronósticos y alertas a través de teléfonos móviles para la comunidad y el desarrollo de una plataforma digital para la integración y visualización eficiente de datos de utilidad a organismos tomadores de decisión que integran un enfoque de gestión del riesgo de desastres frente a inundaciones repentinas. El fin es asegurar la diseminación oportuna y efectiva de información vinculada al riesgo de inundaciones a la mayor cantidad de personas posible en diferentes plazos de previsión. Por otro lado, también se contempla el trabajo con comunidades vulnerables a través de la vinculación con escuelas y organizaciones de la sociedad civil con el objetivo de aumentar la concientización y el conocimiento de la población sobre las inundaciones urbanas repentinas.

Interacciones con organismos provinciales y municipales de gestión del riesgo de desastre ante inundaciones

PREVENIR es posible gracias a la existencia de equipos de trabajo, investigaciones, iniciativas y resultados anteriores. Los vínculos institucionales preexistentes hacen posible la realización de un proyecto que propone abordar el proceso de mejora del pronóstico desde un enfoque integral. A su vez, PREVENIR permite consolidar y construir nuevas asociaciones estratégicas con instituciones y organizaciones vinculadas con la gestión del riesgo de desastre ante inundaciones repentinas. El trabajo en dos cuencas de interés permite un abordaje de escala media, logrando articular una amplia área de estudio con el trabajo focalizado, en estrecho vínculo con tomadores de decisión en gobiernos municipales y provinciales.

Durante una etapa preliminar, previa al inicio formal del proyecto, se organizaron reuniones de articulación institucional con las áreas de gestión de riesgos y emergencias de los gobiernos provinciales de Córdoba y Buenos Aires. En coordinación con autoridades provinciales, entre abril y junio de 2022 se realizaron ocho jornadas de presentación a gobiernos municipales involucrados en las dos cuencas. Se logró entablar vínculo con responsables de áreas de Defensa Civil, Riesgo, Emergencias y Seguridad de los gobiernos municipales y obtener información valiosa para una primera caracterización del estado de situación inicial.

La segunda instancia de trabajo se llevó adelante entre octubre y diciembre de 2022. La convocatoria estuvo dirigida a organismos provinciales y municipales que intervienen en la gestión de inundaciones, logrando reunir a 56 integrantes de diversas dependencias (ver Figuras 1 y 2). Las jornadas estuvieron organizadas en dos grandes bloques. El primero, dedicado a presentar conceptos básicos y generales sobre meteorología e hidrología, junto con los productos y servicios generados por el Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional del Agua. Una segunda instancia estuvo destinada a realizar un ejercicio de simulación de toma de decisiones a partir de la aplicación de los contenidos presentados anteriormente. Estas instancias constituyen espacios valiosos de capacitación y formación de los tomadores de decisión, permiten establecer intercambios directos con los principales usuarios de la información que generan los organismos científico-técnicos oficiales y recolectar datos -cualitativos y cuantitativos- que son claves para los resultados que se esperan alcanzar en el proyecto PREVENIR. Las figuras 1 y 2 muestran la heterogeneidad de áreas de gobierno relacionadas con la gestión de las inundaciones repentinas. Este conjunto de instituciones constituyen el espectro de interlocutores con quienes se promueve trabajar de forma estrecha para incrementar las capacidades de monitoreo y toma de decisiones asociadas a los sistemas de alerta temprana que buscan contribuir con la reducción de los impactos de los eventos hidrometeorológicos severos.



Figura 1.- Proporción de áreas de gobierno representadas en la jornada de simulación en la cuenca Sarandí-Santo Domingo, sobre un total de 29 participantes.



Figura 2.- Proporción de áreas de gobierno representadas en la jornada de simulación en la cuenca Suquia, sobre un total de 27 participantes.

A continuación se presentan sucintamente los resultados de un indicador de interés referido al conocimiento y uso de información meteorológica e hidrológica oficial entre los participantes de las jornadas de simulación, manteniendo la segmentación por cuenca bajo estudio.

En la cuenca Sarandí-Santo Domingo, el 57.1% de los participantes de la segunda jornada de trabajo declaró utilizar de forma diaria los productos del SMN. 40% respondió que a veces consulta la información oficial y el 2.9% dijo que nunca.

Respecto a la información hidrológica, el 45.7% conoce los informes que realiza el INA para esta cuenca. Mientras que el resto, 54.3% no los conoce, por lo tanto no los utiliza.

En la cuenca Suquia los resultados obtenidos indican que el 59.3% de los participantes en la jornada de simulación utiliza de forma diaria los productos del SMN, el 33.3% los utiliza a veces y el 7.4% los desconoce o no lo utiliza. En referencia a la información de monitoreo hidrológico se invierte la proporción respecto a la otra cuenca: la mayoría de los participantes (55.6%) declaró conocer el Sistema de Gestión de Amenazas del INA-CIRSA, aunque se registra una alta proporción de participantes que no lo utilizan o desconocen (44.4%).

Los resultados de las jornadas de simulación nos permiten conocer en detalle el nivel de conocimiento, tipo de uso y toma de decisiones asociadas a cada uno de los productos que actualmente el SMN y el INA tienen operativos.¹

Actualmente, se encuentra en curso una tercera intervención que consiste en una jornada de testeo de servicios de monitoreo hidrometeorológico. En esta instancia nos interesa indagar en mayor profundidad sobre el uso y valoración de las diversas fuentes de información, oficiales y no oficiales, que se encuentran disponibles. Por medio de una estrategia sistematizada que consiste en talleres participativos y entrevistas semi-estructuradas se logra relevar información para construir un corpus de datos que servirá el proceso de codiseño de las herramientas informáticas previstas para organismos locales y provinciales de gestión del riesgo ante inundaciones repentinas. En un contexto donde abundan y proliferan múltiples fuentes de información y formas de acceso, es clave comprender cómo se desarrolla la experiencia del usuario a partir de conocer sus preferencias, usos y valoraciones. Integrar esta dimensión de análisis es un aspecto central de los sistemas de alerta temprana, la toma de decisiones anticipadas y la planificación basada en evidencia. Se tiene previsto ejecutar esta fase de trabajo entre abril y julio de 2023.

Interacciones con instituciones educativas y organizaciones comunitarias

En simultáneo, se lleva adelante una línea de trabajo con instituciones educativas y organizaciones comunitarias potencialmente afectadas por inundaciones repentinas en las cuencas bajo estudio. A partir de la experiencia desarrollada en proyectos previos, se potencian las capacidades para generar una estrategia de trabajo con contenidos educativos y pedagógicos con capacidad de incidencia en la población vulnerable frente a situaciones de inundación.

Durante 2022 se realizó un análisis exploratorio del universo de escuelas existentes en cada cuenca. Mediante una metodología de estimación de la mancha de inundación generada por una lluvia intensa se identificaron escuelas prioritarias agrupadas por niveles educativos. A partir de este primer reconocimiento, se organizaron reuniones de trabajo con el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, autoridades educativas, distritales y docentes de nivel secundario para presentar el proyecto y la propuesta de trabajo.

En coordinación con el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires se diseñó un cuadernillo didáctico destinado a docentes de escuelas medias de la cuenca Sarandí-Santo Domingo bajo la premisa de un abordaje de la Educación Ambiental Integral. Entre los temas abordados en el material teórico desarrollado para los docentes se encuentran: características y dinámica de la cuenca Sarandí-Santo Domingo, componentes del sistema climático, cambio climático, amenazas hidrometeorológicas y gestión de riesgo de desastres. Las actividades para trabajar en el aula se orientan a la observación de la amenaza y reconocimiento de las características de terreno, como por ejemplo, el armado de una red de monitoreo de lluvia, el desarrollo de una red de escurrimiento del agua y armado de una mapa comunitario de vulnerabilidad.

En la cuenca del río Suquia se sostiene desde hace años una red de registro comunitario de mediciones pluviométricas en articulación con escuelas de la zona y organizaciones comunitarias de barrios afectados por inundaciones. Durante los primeros meses de 2023 se articularon esfuerzos para construir puentes entre el trabajo que se viene realizando y las acciones del proyecto PREVENIR. Entre marzo y mayo de 2023 se diseñaron y ejecutaron jornadas de actividades educativas con escuelas primarias con el objetivo de trabajar temáticas vinculadas con la gestión de recursos hídricos en la cuenca y su relación con la problemática de la inundación por medio de relatos locales para recuperar la memoria social. Estas actividades permiten promover la generación de acciones destinadas a difundir la ciencia y el estudio de problemáticas ambientales en ámbitos educativos de educación inicial desde el enfoque de la ciencia ciudadana y la interdisciplina científica dedicada a tratar temas prioritarios de relevancia social.

Comentarios finales

Los resultados alcanzados durante los inicios del proyecto PREVENIR resultan satisfactorios y desafiantes. El trabajo realizado en los grupos de trabajo descritos en este documento constituyen insumos valiosos para alcanzar los objetivos generales propuestos en el período 2022-2027.

La información producida a través de metodologías cualitativas y cuantitativas de producción de datos es una muestra concreta y parcial del aporte sustantivo de las ciencias sociales en proyectos interdisciplinarios de coproducción en marcos institucionales de articulación entre ciencia y política, es decir entre conocimiento y decisión. Este trabajo promueve la idea de que es posible construir la confluencia y trabajo conjunto entre disciplinas científicas con concepciones divergentes y sectores con intereses variados que, frente a preguntas-problemas comunes, confluyen hacia la construcción de una comprensión integral preocupada por producir conocimientos y acciones que favorezcan la mejora continua de los productos y servicios hidrometeorológicos oficiales desde el desarrollo de ciencia y tecnología orientada a la reducción de riesgos de desastres.

Agradecimientos

PREVENIR es un proyecto del programa SATREPS (<https://www.jst.go.jp/global/english/>) financiado por la Japan International Cooperation Agency y Japan Science and Technology Agency.

¹ El análisis completo de los resultados alcanzados y detalles metodológicos se presentan en un informe integral de esta actividad.

EXPERIENCIAS DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA EN UNA ESCUELA SECUNDARIA EN EL PARTIDO DE TANDIL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Delgado M.I.^{1,2}, Gaspari F.J.¹, Acciaresi G.H.¹, Besteiro S.¹, de Antueno L.¹, Gonzalez Fuentes E.A.¹, Nicora B.^{2,3}, Barranquero R.^{2,3}, Anselmino C.¹, Cisneros Basualdo N.^{2,3}, Godoy Castañeda S.¹, Montealegre Medina F.A.¹, Giovenale V.E.¹, Delgado G.¹, Denegri G.¹, Guzmán A.¹, Leguizamón F.¹, Gonzalez Racero M.M.¹

¹Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Argentina

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

³Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Tandil, Argentina

Contacto: isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Introducción

El proyecto de Extensión universitaria “Territorios Serranos Sostenibles”, desarrollado desde julio de 2022, es llevado adelante por un grupo interdisciplinario de docentes-investigadores y estudiantes de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), junto a la Escuela de Educación Secundaria Técnica N°6 del Partido de Tandil (EEST N°6). El objetivo principal del proyecto, en consonancia con la Ley Nacional 27621/21 sobre Educación Ambiental Integral, consiste en contribuir a la generación de conciencia en los actores locales sobre la importancia que tienen sus propias acciones dentro del territorio que habitan. Cabe destacar que la Extensión en sentido amplio está cobrando año tras año mayor relevancia a nivel nacional, viéndose reflejada, por ejemplo, en las diversas convocatorias a proyectos destinados a dicho tipo de actividades; por su parte, la Extensión universitaria en particular (entendida como un proceso educativo no formal de doble vía) es considerada uno de los pilares sobre los que se basa la actividad en el nivel universitario (Estatuto UNLP, 2008).

El proyecto se desarrolla en la EEST N°6 de Tandil, los destinatarios del mismo son sus alumnos y respectivas familias. El trabajo con jóvenes se consideró propicio ya que, además del efecto multiplicador que pudiera generarse al llevar a sus hogares los conocimientos y nuevos conceptos aprendidos, constituyen ellos mismos uno de los principales grupos de actores que pueden materializar en el corto y mediano plazo posibles acciones tendientes a impulsar un uso sustentable de los recursos.

El Proyecto surgió a partir de trabajos de investigación previos que el equipo extensionista había realizado en el territorio, principalmente en la cuenca del arroyo Napaleofú, emplazada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1).

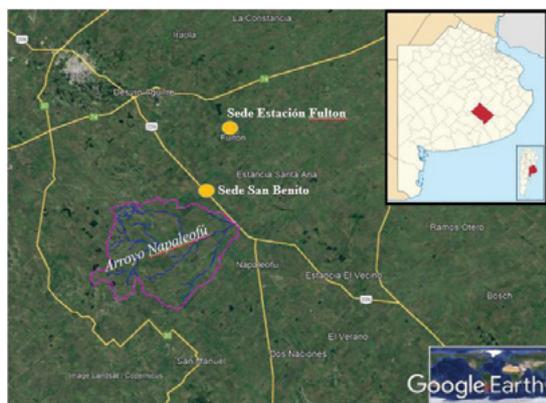


Figura 1.- Mapa de ubicación del área de influencia del Proyecto

La cuenca hidrográfica es considerada una unidad territorial conformada por un río y sus afluentes, en conjunto con el área colectora de las aguas (FAO, 1988). En la actualidad, la gestión de los recursos hídricos integra tanto aspectos técnicos y ambientales, así como socioeconómicos, legales e institucionales.

Materiales y Métodos

La metodología de trabajo empleada se inició con la realización de reuniones entre el grupo extensionista y el cuerpo docente y directivo de la Escuela, en formato híbrido (presencial y virtual), con el objeto de consensuar la logística de actividades y puesta en común de saberes y herramientas pedagógicas a implementar. Se realizaron dos encuentros (noviembre de 2022 y abril de 2023) bajo la modalidad de “taller” en ambas Sedes de la Escuela con el fin de generar un ámbito de aprendizaje mutuo. Cabe destacar que ambas sedes poseen una orientación curricular diferente: Tecnicatura en Programación en Paraje San Benito y Tecnicatura en Tecnología de los Alimentos en Estación Fulton; la matrícula promedio de cada sede es de aproximadamente 50 estudiantes.

En los talleres se trabajó sobre técnicas, metodologías e instrumental para el estudio de los recursos naturales, abordando principalmente los conceptos de cuenca hidrográfica, ciclo hidrológico y calidad de agua (tanto del recurso hídrico superficial como subterráneo). Previa y posteriormente a los talleres se realizaron consultas sobre opiniones, percepciones y preocupaciones ambientales de los estudiantes y de los docentes de la escuela. Se aplicaron encuestas online a través de distintas modalidades, tales como Mentimeter (aplicación web) y formularios de Google.

Resultados y Discusión

La encuesta realizada en la etapa inicial del proyecto, si bien denota que no todos los estudiantes completaron la misma, permite inferir que hubo representación de todos los cursos de la escuela y, además, se evidencia una preocupación general en cuanto a la posible falta de agua en un escenario futuro (Fig. 2). Otras preguntas realizadas en la encuesta abordaron temas como la/s posible/s fuentes de provisión de agua en la escuela y en el hogar, la responsabilidad sobre el cuidado de las fuentes de agua, la influencia de la cantidad y calidad del agua en la economía familiar, entre otros. Se considera que la mayor parte de las respuestas obtenidas en las encuestas anónimas realizadas posteriormente a los talleres aportaron sugerencias valiosas para las instancias posteriores de trabajo. Se resaltó la solicitud de poder contar con mayor cantidad de demostraciones prácticas.

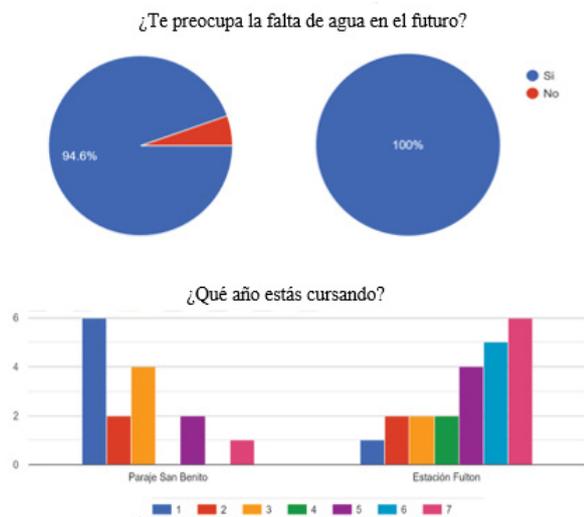


Figura 2.- Encuesta inicial realizada a estudiantes de la EEST N°6

Los talleres consistieron en encuentros desarrollados en ambas sedes, y estuvieron destinados a la totalidad de los estudiantes, donde se implementaron diferentes tipos de actividades (Tabla 1 y Fig. 3). Se contó además con la presencia de la directora del establecimiento y de algunos profesores de las distintas áreas.

En el desarrollo del proyecto fue necesario implementar ciertos cambios respecto al planteo original, el más significativo fue en cuanto a la realización de una salida a campo con los estudiantes de la escuela a la cuenca del arroyo Napaleofú. Esta actividad fue reemplazada principalmente por cuestiones presupuestarias que no se pudieron sortear, como el alquiler de vehículo para el transporte de los estudiantes, entre otros. Se procuró hacer hincapié y aunar esfuerzos en la realización de los Talleres dentro de los predios de la escuela, apelando siempre al vínculo con el territorio, brindando ejemplos locales, y fomentando la participación de los estudiantes y/o docentes, a través de la invitación a comentar experiencias propias vinculadas al manejo del agua, el suelo y la cobertura vegetal, entre los más relevantes.

Tabla 1.- Descripción de los Talleres en la escuela

Taller	Fecha	Temáticas principales
1	Noviembre 2022	<ul style="list-style-type: none"> Cuenca hidrográfica Ciclo hidrológico Uso del suelo
2	Abril 2023	<ul style="list-style-type: none"> Calidad del agua para distintos usos. Recurso hídrico superficial y subterráneo
3	A realizarse en el segundo semestre de 2023	<ul style="list-style-type: none"> Escorrentamiento superficial Erosión hídrica



Figura 3.- Fotografías tomadas en los Talleres en ambas sedes

El próximo taller, a realizarse durante el segundo semestre del año 2023, abordará cuestiones relativas al escurrimiento superficial y la erosión hídrica. Actualmente se está coordinando con los docentes de distintas áreas curriculares para que los estudiantes puedan preparar material por su propia cuenta de modo previo al Taller, para utilizarlo en las distintas experiencias que se realicen en el encuentro. Se abordarán tanto experiencias prácticas concretas en cuanto a textura y estructura edáfica, así como la influencia de distintos tipos de cobertura vegetal. Se prevé realizar encuentros más prolongados, de modo de ampliar la parte práctica y también con el fin de afianzar los vínculos entre actores. Si bien la temática central del taller será común, se plantearán diferencias en su implementación entre ambas sedes, en base a la orientación específica de cada tecnicatura.

Conclusiones preliminares

Teniendo en cuenta que el proyecto se encuentra en vigencia y aún resta un largo camino por recorrer, como conclusiones preliminares en cuanto al trabajo realizado rescatamos los siguientes aspectos:

- Coordinación interna del grupo extensionista: si bien muchos integrantes no se conocían entre sí, se logró una buena interacción, potenciando el trabajo desde las distintas formaciones. Incluso se incorporaron nuevos integrantes.
- Importancia del apoyo y predisposición desde la escuela: se torna muy relevante el aporte de los docentes de la escuela como puente hacia los estudiantes. A su vez, el apoyo de la Directora fue fundamental desde el inicio del proyecto.
- Continuidad de la iniciativa: en nuevas convocatorias se planea continuar trabajando con la temática y con la escuela.
- Retraso en la asignación de fondos: esta variable influyó negativamente en el inicio de la realización de los Talleres en la escuela. A pesar de ello, se pudieron realizar varias actividades antes de viajar a Tandil.

Referencias

FAO. (1988). Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en América Latina. Documento de Orientación y Capacitación a Distancia FAO/RLAC. Ed.: Red Latinoamericana en Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas. 36 pp.

Ley Nacional 27621 sobre Educación Ambiental Integral. (2021) Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27621-350594/texto>

UNLP. (2008). Estatuto de la Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37738>

CONSTRUIR PAISAJES DE AGUA.

HERRAMIENTAS DE URBANISMO PARTICIPATIVO EN LA CUENCA DEL ARROYO EL PESCADO, LA PLATA

A. Dominella, R. Martínez Damonte, V. Caraffini., D. Rotger

La Plata, Argentina,

agosdominella@gmail.com rmartinezdamonte@gmail.com victoriacaraffini@gmail.com dvrotger@gmail.com

Introducción

El siguiente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación PPID-UNLP (2019-2022): "Suelo vacante, riesgo hídrico y paisaje. Proceso de urbanización reciente en el sudeste del Gran La Plata y estrategias para la planificación del crecimiento urbano desde las cuencas hidrográficas", desarrollado en el Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales (CIUT-FAU-UNLP).

El caso de estudio comprende la cuenca hidrográfica del arroyo El Pescado, paisaje protegido de interés provincial (ley 12.247).

En los últimos veinte años, en este sector, se ha dado un proceso de urbanización extensivo debido a múltiples factores, entre ellos: la atracción que causa el paisaje sobre posibles pobladores, el acceso a créditos hipotecarios para la construcción de vivienda y la disponibilidad de suelo vacante accesible. Se ha abordado el estudio del Gran La Plata como territorio vulnerable a partir del riesgo por inundaciones, y la inclusión de infraestructuras verdes y azules, particularmente de sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Objetivos

Objetivo principal: Generar aportes para el fortalecimiento de las capacidades de los gobiernos locales en la planificación territorial y la gestión urbano ambiental.

Particulares:

-Construir una metodología de mapeo participativo orientada a la planificación territorial, que sea posible de replicar en múltiples cuencas hidrográficas de la ciudad y otros territorios.

-Indagar en los componentes escénicos y estéticos del paisaje que motivaron a vecinos e infancias a ser parte del proceso participativo, utilizando el arte como recurso para la participación y divulgación.

-Explorar las capacidades del arte y la creación artística colectiva para fortalecer la participación pública.

Hipótesis

Siguiendo lo expuesto por Montaner, (2011) entendemos que los procesos de participación conforman un indicador clave de que cada ciudad se esfuerza por ser más sostenible, más humana, y más atenta a la diversidad y la memoria, y expresan el deseo de la mayor parte de la ciudadanía de formar parte de ella y de reconocerse en sus transformaciones.

Metodología

En el marco del proyecto de investigación se ha avanzado en un trabajo de enfoque cualitativo desarrollado en dos etapas principales. Por un lado, el análisis técnico de la cuenca:

relevamiento de espacios verdes, vías de comunicación, equipamientos, conflictos urbanos, ordenanzas, normativas, etc. Por otro lado, se han realizado distintas instancias de trabajo participativo, con el fin de aproximarse a las percepciones sociales del paisaje, integrando en los procesos de planificación, la mirada de visitantes y pobladores.

Resultados

Según el Master de arquitectura en vivienda colectiva (2021), el urbanismo participativo plantea la necesidad de que el ciudadano adquiera un rol activo en su intervención en los procesos de configuración de la ciudad, identificándolo como directo afectado o beneficiado de los cambios territoriales.

Hernández-Araque (2016:11) señala la importancia de "entender la transversalidad que debe tener un proceso de gestión urbana, donde los componentes deben tener un carácter político, económico, académico, social, territorial y profesional en diferentes disciplinas, para lograr resultados óptimos"

En el marco del proyecto se han desarrollado las siguientes acciones con la comunidad hacia la construcción de herramientas de urbanismo participativo:

Encuestas referidas a usos del espacio público y la gestión de inundaciones, nivel de predisposición a implementar sistemas de retención o reciclaje de agua de lluvia.

Entrevistas a distintos actores e instituciones que tienen incidencia/ pertenencia en la cuenca.

Actividades desarrolladas en instituciones educativas, tocando temáticas relacionadas al vínculo entre el agua y los pobladores (Figura 1).



Figura 1.- Actividad "El paisaje en mi barrio". Fuente: elaboración propia

Mapeo collage: el material producto de las actividades desarrolladas en el sitio se utilizó como insumo para el armado

de un mapeo colectivo. En el uso de técnicas como el collage, la sumatoria o superposición de capas genera un producto final con cierta espesura donde se ven reflejadas las experiencias y percepciones de todos los participantes. Se incorporaron insumos como dibujos, fotos, escritos.

Caminatas para interpretación del paisaje, reconocimiento de flora, fauna, recursos naturales y producción local en relación con el paisaje del agua. Figs.2 y 3.

Arte como recurso para la divulgación partiendo de la posibilidad que brinda un producto artístico de acercar algún tipo de información o contenido académico a la sociedad de un modo más amigable y sensible.

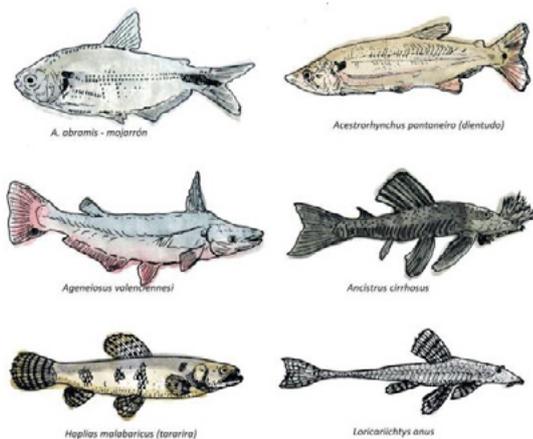


Figura 2.- Ilustración especies autóctonas Fuente: elaboración propia



Figura 3.- Jornada de interpretación de la naturaleza "Primavera en el pescado". Fuente: fotografías de las autoras.

Reflexiones Finales

A partir de las actividades propuestas para el caso particular, encontramos herramientas valiosas para un diagnóstico participativo aplicable a otros entornos. Entendemos que el urbanismo se transforma a través de pequeñas acciones y el ciudadano encuentra una oportunidad para participar en la construcción de soluciones a sus necesidades. El arte demostró ser un instrumento clave para visibilizar lo oculto, poner en valor lo cotidiano, y unir cultura y naturaleza en un relato que recupere la identidad comunitaria.

Referencias Bibliográficas

Hernández-Araque (2016) Urbanismo participativo. Construcción social del espacio urbano. Revista de Arquitectura, vol. 18, núm. 1, pp. 6-17, 2016

Máster de Arquitectura en Vivienda Colectiva. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (2021, 9 de febrero). *El urbanismo participativo* <https://www.mchmaster.com/es/noticias/el-urbanismo-participativo/>

Montaner, J.M. y Muxi, Z. (2011). Arquitectura y política. Ensayos para mundos alternativos. Editorial GG. Barcelona, España.

EXPERIENCIA DE TRABAJOS FINALES DE CARRERA EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN ANGOLA

Oscar Duarte, Felipe Franco, Rosana Hammerly, Pablo Serra, Agostina Zucarelli,
Viviana Zucarelli

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral - Argentina
vivianazucarelli@gmail.com

Introducción

La Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) tiene, desde 2014, un convenio con el Instituto Superior Politécnico de Bié (ISPB), de Angola, cuyo objetivo general es el diseño e implementación de la carrera de Licenciatura en Ingeniería de los Recursos Hídricos. En ese marco, durante el año 2022, docentes de la FICH trabajaron en el Proyecto Final de Carrera (PFC), que es la última instancia que los estudiantes de la primera cohorte de la carrera de Licenciatura en Ingeniería de los Recursos Hídricos del ISPB tienen que cumplimentar para poder obtener el título de Ingeniero. Una de las principales premisas para la ejecución de dichos Proyectos fue que los trabajos se hagan sobre la base de problemáticas locales y con el alcance y la profundidad que permitan los datos disponibles para su realización. Por otro lado, debe resultar integrador de la mayoría de los conocimientos adquiridos por los alumnos a la vez que debe ser factible de desarrollar en los tiempos y con la carga horaria que prevé el proyecto pedagógico de creación de la carrera. Los docentes de FICH, en colaboración con docentes del ISPB, orientaron a los alumnos durante el desarrollo de las actividades para concretar los PFCs, facilitando su ejecución y posibilitando que el mismo sea culminado con éxito en tiempo y forma. Los principales ejes de trabajo fueron el Diseño de Obras Hidráulicas, el Saneamiento y el Riego y Drenaje. Este trabajo relata el desarrollo de estas tareas haciendo hincapié en la importancia de la cooperación Sur-Sur que lleva ya 10 años en la UNL.

Estrategia de la colaboración

Durante al año 2022, la primera cohorte de alumnos (48 estudiantes) de la Licenciatura en Recursos Hídricos culminó con el cursado de la totalidad de las asignaturas que contempla el plan de estudio de la carrera (Schreider, 2015). Sin embargo, para alcanzar la graduación, los alumnos deben desarrollar un Trabajo Final Integrador o Proyecto Final de Carrera (PFC), en el cual podrán aplicar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, a la solución de un problema concreto de la región.

Para ello ya se contó con la colaboración del Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH) de Angola quien facilitó toda la información disponible para el desarrollo de los diferentes proyectos. Las temáticas de estos PFCs serán variadas y atenderán las diferentes realidades de la Provincia de Bié y la región, abarcando problemáticas tales como el acceso al agua potable y saneamiento, el riego, la previsión de eventos extremos, entre otros.

En este marco, la FICH acompañó esta última etapa de la formación de los estudiantes, desarrollando una propuesta que guía el diseño y desarrollo de los diferentes proyectos finales en colaboración con docentes del ISPB.

Algunos de los lineamientos para la ejecución de los proyectos son los siguientes:

Los trabajos finales serán desarrollados por grupos de estudiantes, con el objeto de facilitar su desarrollo y promover el concepto de trabajo en grupo, propio del desarrollo profesional.

Los temas serán elegidos en función de la información disponible y la colaboración que se disponga tanto del INRH, como de las autoridades provinciales y locales encargadas de la gestión del agua potable y el saneamiento y otras temáticas vinculadas al agua.

Cada grupo habrá de contar con la tutela de dos profesores de la FICH y un profesor del ISPB quienes guiarán a los estudiantes en todo el desarrollo del trabajo. Se habrá de establecer para ello una guía de trabajo que ordene la secuencia de actividades que los grupos deban desarrollar.

Las características del PFC, sus ámbitos de aplicación y la modalidad de trabajo previsto, hace necesario que el apoyo de los docentes de la FICH se haga combinando instancias virtuales y presenciales. Las primeras han de servir para el seguimiento regular de la evolución del trabajo, en tanto que las segundas resultan fundacionales para el inicio del proyecto, posibles instancias de medición o verificación de datos de campo y en el cierre del trabajo y su defensa.

Temas de los PFCs

Durante un año, los orientadores de la FICH trabajaron de manera virtual para que los estudiantes pudieran completar su trabajo final, no pudiéndose concretar las actividades presenciales que fueron previstas oportunamente. En ese marco, se formaron ocho Grupos de trabajo, siete de los cuales estaban integrados por dos alumnos y el restante por tres alumnos, lo que hace un total de 17 alumnos. Los temas abordados en los PFCs son los siguientes:

Grupo 1: Integración de barrios periurbanos a la red de distribución de agua potable, Kuito, Bié.

Grupo 2: Modelación hidrológica para el diseño de obras hidráulicas.

Grupo 3: Balance Hídrico como herramienta para la Gestión Integrada dos Recursos Hídricos.

Grupo 4: Diseño de una red de Drenaje Agrícola

Grupo 5: Estimación de la eficiencia de un sistema de riego por goteo.

Grupo 6: Optimización y mejoras de los servicios sanitarios en la Centralidad de Nuevo Horizonte, Kuito.

Grupo 7: Diseño de un Programa de riego para un establecimiento de las regiones de Bié.

Grupo 8: Plan de Desarrollo de Agua Potable y Saneamiento Sanitario. Municipio Camacupa, Bié.

Los docentes de FICH que acompañaron en esta tarea fueron: Viviana Zucarelli, Agostina Zucarelli, Rosana Hämmerly, Felipe Franco, Pablo Serra y Oscar Duarte. Es importante destacar el comprometido y sacrificado trabajo realizado por los docentes y alumnos, quienes no se permitieron restricciones de tiempo ni dedicación.

Defensas de los PFCs

Durante el mes de mayo de este año, se realizó el acto de defensa pública de los PFCs de los alumnos de la carrera. Desde la FICH, se pudo asistir de manera virtual a las presentaciones de los grupos dirigidos. La ceremonia de defensa fue un acto muy emotivo, contó con la presencia de un Tribunal evaluador,

familiares de los alumnos y público en general. Una vez finalizada la presentación, los alumnos respondieron a preguntas realizadas por los evaluadores.

Al finalizar, los egresados lucieron togas con banderas de Argentina y Angola, tal como se muestra en las Figuras 1 y 2.



Figura 1: En sus togas, los graduados lucieron la bandera argentina y la marca institucional de la FICH.



Figura 2: En sus togas, los graduados lucieron la bandera argentina y la marca institucional de la FICH.

Conclusiones

En los últimos 10 años la FICH; a través de sus docentes, completó todo el proceso acordado en el convenio: esto es, la elaboración del plan de estudios y creación de la carrera, única de su tipo en Angola; el diseño de la infraestructura y del equipamiento para la formación práctica de los alumnos, y la capacitación de profesionales angolanos para convertirse en los futuros profesores de la licenciatura. Con la pandemia, fue necesario adaptar el dictado de los últimos dos semestres a un campus digital para enseñanza b-learning y videoconferencias, una experiencia inédita en el ámbito de la FICH y de la UNL, realizada a través de la plataforma educativa de la facultad (e-FICH). Para culminar este proyecto, durante un año, los docentes de FICH, en conjunto con docentes del ISPB, orientaron a 17 estudiantes en la realización de su trabajo final de carrera, a través del cual obtuvieron su graduación. Este proyecto, donde la FICH “hizo historia en Angola”, constituye un

ejemplo de cooperación Sur-Sur que puede ser replicado en otras regiones del mundo.

Referencias

Schreider, M. G. Palhares, V. Zucarelli, R. Gioria, J. Macor (2015) La Formación de Ingenieros para el Desarrollo Sostenible. Anales del XXV Congreso Nacional del Agua, CONAGUA 2015. Paraná, Argentina

USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA CADENA VITIVINÍCOLA DE MENDOZA, ARGENTINA

Alicia Elena Duck

Instituto Nacional del Agua. Subgerencia Centro Regional Andino
Belgrano 210 Oeste, Mendoza, Argentina
+54 9 261 631122 aduek@ina.gob.ar

Introducción

Conocer el uso actual y futuro del agua facilita la toma de decisiones referidas a la correcta asignación de los recursos hídricos, más aún en zonas de escasez hídrica tal como es el caso de Mendoza. Esto adquiere especial relevancia para el desarrollo vitivinícola de la Provincia.

En los últimos años, la bibliografía internacional ha mostrado nuevos parámetros que tienden a medir el grado de avance hacia escenarios más sustentables. Entre estos, se desarrolló el concepto de huella hídrica. Mekonnen y Hoekstra (2010) obtuvieron un valor promedio mundial de huella hídrica de vid y otro para Argentina. Por su parte, Morábito et al. (2012a) demostraron que, en los oasis regadíos de Mendoza, la huella hídrica de la vid varía considerablemente de acuerdo al sistema de riego utilizado.

Los objetivos específicos de esta investigación son estimar el volumen de agua utilizado en la cadena de producción del sector vitivinícola para cada cuenca hidrogeológica de Mendoza; construir escenarios de uso eficiente del agua para el sector vitivinícola e identificar acciones que impliquen una mayor incidencia en el ahorro de agua.

Metodología

La demanda de agua de la cadena vitivinícola se calcula a través de la sumatoria de los eslabones agrícola e industrial. A su vez, el primero de ellos para cada cuenca hidrogeológica, se estima como la suma de la demanda de agua superficial y la demanda de agua subterránea, calculadas de acuerdo a las Ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Demanda actual de agua}_{sup.} = \sum_c SC_c \times Prop. SR_{a.sup.} \times \frac{NN_c}{EIA \times EEA} \quad [1]$$

$$\text{Demanda actual de agua}_{sub.} = \sum_c SC_c \times Prop. SR_{a.sub.} \times \frac{NN_c}{EIA} \quad [2]$$

Donde:

SCc: Superficie cultivada para el cultivo c, en hectáreas.

Prop. SRa.sup.: Proporción de superficie regada con agua superficial.

Prop. SRa.sub.: Proporción de superficie regada con agua subterránea.

NNc: Necesidades netas de agua del cultivo c, en metros cúbicos por hectárea por año.

EIA: Eficiencia de riego interna actual.

EEA: Eficiencia de riego externa actual.

c: Tipo de cultivo.

Por otro lado, la demanda de agua del eslabón industrial de la cadena se estima, para cada cuenca, a partir de datos de producción de vino y de coeficientes insumo/producto.

Los escenarios se construyen combinando eficiencias óptimas en el uso del agua en el riego del cultivo y en los procesos industriales de las bodegas. En relación a la eficiencia de riego externa potencial se considera que se implementan obras que mejoran la infraestructura de cauces, tales como revestimiento e impermeabilización.

En relación a la eficiencia de riego interna potencial, en

Mendoza corresponde a la obtenida mediante riego por goteo. Este valor es ajustado teniendo en cuenta las características del agua y suelo en cada cuenca (Morábito et al., 2012b).

Respecto del uso del agua en los procesos industriales, se considera el coeficiente insumo-producto aportado por la Comisión de Sustentabilidad de Bodegas de Argentina. Este valor es coincidente con los límites inferiores de los rangos propuestos por Storm (1997) y por la Beverage Industry Environmental Roundtable (2011).

Resultados

La estimación de la demanda actual de agua del eslabón agrícola de la cadena vitivinícola en Mendoza se obtiene de aplicar las Ecuaciones 1 y 2, las cuales contemplan las eficiencias de riego internas y externas actuales. En lo que respecta al eslabón industrial se tiene en cuenta el coeficiente actual de consumo en bodegas (Tabla 1).

Tabla 1.- Demanda actual de agua de la cadena vitivinícola según eslabón, por cuenca. En hectómetros cúbicos.

Cuenca	Demanda agrícola	Demanda industrial	Total demanda
Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	1587,10	2,6731	1589,77
Río Tunuyán Superior	437,58	0,2776	437,86
Ríos Diamante y Atuel	488,27	0,1997	488,47
Total Mendoza	2512,94	3,1503	2516,09

La construcción del Escenario I para el eslabón agrícola de la cadena vitivinícola, asume que se realizan las adecuaciones necesarias para alcanzar la máxima eficiencia de riego externa en todas las cuencas de la provincia, al tiempo que se mantiene la eficiencia de riego interna actual. Para el eslabón industrial, se emplea el coeficiente óptimo de consumo en bodegas (Tabla 2).

Tabla 2.- Demanda de agua de la cadena vitivinícola del Escenario I, según eslabón. Por cuenca. En hectómetros cúbicos.

Cuenca	Demanda agrícola	Demanda industrial	Total demanda
Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	1385,45	1,3018	1386,75
Río Tunuyán Superior	383,11	0,1352	383,24
Ríos Diamante y Atuel	362,72	0,0972	362,82
Total Mendoza	2131,28	1,5342	2132,81

En segundo término, la elaboración del Escenario II para el eslabón agrícola de la cadena vitivinícola de Mendoza, tiene en cuenta el supuesto de que se alcanza la máxima eficiencia de riego interna, mientras que se mantiene la eficiencia de riego externa actual. Por otra parte, y en referencia al eslabón industrial, se toma en consideración el menor coeficiente de

consumo susceptible de ser alcanzado en bodegas, es decir, el mismo que se empleó para el Escenario I (Tabla 3).

Tabla 3.- Demanda de agua de la cadena vitivinícola del Escenario II, según eslabón. Por cuenca. En hectómetros cúbicos.

Cuenca	Demanda agrícola	Demanda industrial	Total demanda
Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	1334,38	1,3018	1335,68
Río Tunuyán Superior	328,18	0,1352	328,32
Ríos Diamante y Atuel	334,81	0,0972	334,91
Total Mendoza	1997,37	1,5342	1998,91

Por último, la construcción del Escenario III para el eslabón agrícola de la cadena vitivinícola, se realiza bajo el supuesto de que se alcanzan las máximas eficiencias de riego, tanto interna como externa para las tres cuencas hidrogeológicas de Mendoza. Asimismo, en referencia a la demanda por parte de las bodegas, se toma en consideración el coeficiente de consumo de agua óptimo, empleado también en los Escenarios I y II. La Tabla 4 resume las demandas de agua correspondientes a este escenario agregadas por cuenca hidrogeológica.

Tabla 4.- Demanda de agua de la cadena vitivinícola del Escenario III, según eslabón. Por cuenca. En hectómetros cúbicos.

Cuenca	Demanda agrícola	Demanda industrial	Total demanda
Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	1164,84	1,3018	1166,14
Río Tunuyán Superior	287,33	0,1352	287,47
Ríos Diamante y Atuel	248,72	0,0972	248,82
Total Mendoza	1700,89	1,5342	1702,43

Cabe destacar que las eficiencias de riego internas y externas empleadas para la construcción de los escenarios I, II y III fueron extraídas de Morábito et al. (2012b) y del Departamento General de Irrigación (2008) respectivamente.

Tomando en consideración la diferencia existente entre los consumos actuales de agua para el eslabón agrícola de la cadena vitivinícola y los determinados bajo los supuestos de los Escenario I, II y III, resulta posible calcular el ahorro de agua que se produciría de cumplirse con estos postulados (Tabla 5).

Tabla 5.- Ahorro de agua en el eslabón agrícola de los Escenario I, II y III. En hectómetros cúbicos.

Cuenca	Ahorro de agua en el eslabón agrícola		
	Escenario I	Escenario II	Escenario III
Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	201,65	252,72	422,26
Río Tunuyán Superior	54,47	109,39	150,25
Ríos Diamante y Atuel	125,54	153,45	239,54
Total Mendoza	381,66	515,57	812,05

Finalmente, una vez encontrado el potencial excedente hídrico, puede determinarse la superficie potencial factible de ser irrigada con tal ahorro. Estos datos, tanto en términos absolutos como relativos, son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6.- Superficie actual y superficie potencial a irrigar, según escenario. Por cuenca. En hectáreas y porcentaje.

Cuenca	Ríos Mendoza y Tunuyán Inferior	Río Tunuyán Superior	Ríos Diamante y Atuel	Total Mendoza	
Superficie cultivada actual	114072	25530	20730	160332	
E I	Sup. pot. [ha]	16603	3630	7175	27408
	Aumento [%]	15%	14%	35%	17%
E II	Sup. pot. [ha]	21084	8660	9447	39192
	Aumento [%]	18%	34%	46%	24%
EIII	Sup. pot. [ha]	43433	15077	20419	78929
	Aumento [%]	38%	59%	98%	49%

Se observa que mediante los ahorros de agua generados en cada escenario es posible aumentar la superficie cultivada en cada una de las cuencas de la provincia. Así, de las 160332 hectáreas cultivadas actualmente en Mendoza, podrían incrementarse 27408 hectáreas (17%) bajo los supuestos del Escenario I, 39192 (24%) para el Escenario II y 78929 (49%) para el Escenario III. Nótese que, si bien estos porcentajes varían para cada cuenca, los mismos son significativamente mayores para la cuenca de los ríos Diamante y Atuel.

Conclusiones

Actualmente la demanda hídrica de la cadena vitivinícola de Mendoza es de 2516,09 hectómetros cúbicos por año, de los cuales el 63,18% corresponde a la cuenca de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, el 19,41% es demandado en la cuenca de los ríos Diamante y Atuel y el 17,40% restante por la cuenca del río Tunuyán Superior.

Mejoras en infraestructura de canales y en el uso del agua en bodegas generarían un ahorro de agua del 17%. Si se adoptara la generalización de métodos de riego tecnificado y al mismo tiempo se optimizara el uso industrial se obtendría un ahorro del 24%. Si se implementaran de manera simultánea los supuestos anteriores, se conseguiría un ahorro del 49%. Bajo los supuestos anteriores, podría incrementarse la superficie cultivada con vid en 27408, 39192 y 78929 hectáreas respectivamente.

Referencias

- Beverage Industry Environmental Roundtable.** (2011). *Water use benchmarking in the beverage industry. Trends and observations, 2010*. St, Paul, Estados Unidos, AnteaGroup.
- Departamento General de Irrigación.** (2008). Planes directores de los ríos de la provincia de Mendoza. Proyecto PNUD-FAO-ARG-00/08.
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A.** (2010). "The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products". *Value of Water Research Report Series No. 47*. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE.
- Morábito, J., Salatino, S., Hernández, R. y Nuñez, M.** (2012a). "Una aproximación al conocimiento de la huella hídrica en vid en los oasis regadíos de Mendoza, Argentina". *Actas del Foro de economía verde y agua*. Mendoza, Argentina.
- Morábito, J., Salatino, S. y Schilardi, C.** (2012b). "El desempeño del uso agrícola del agua en los oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán a través de nuevos indicadores". *Actas del VI Jornadas de riego y fertirriego*. Mendoza, Argentina.
- Storm, D.** (1997). *Winery Utilities: Planning, Design and Operation*. Estados Unidos, Chapman & Hall.

ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LABORATORIO DE HIDRÁULICA REMOTO EN EL CONURBANO BONAERENSE

Pablo A. Espiñeira^{1,2}, Daniel O. Díaz², Vivian Jeandet², Cristina M. Valero², Marcos H. Arrue², Fernando Schifini Galdchtein², Trinidad Y. Alzú Velázquez²

¹ Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina

² Universidad Nacional de La Matanza - Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Buenos Aires, Argentina
pabloespiñeira@unlam.edu.ar

Introducción

A nivel país, 41 unidades académicas dictan la carrera de Ingeniería Civil, sin embargo, 4 se ubican en el ámbito del “conurbano bonaerense”, y menos del 50% de ellas disponen de laboratorios de hidráulica en estado de funcionamiento regular.

Los costos asociados al montaje, mantenimiento y desarrollo de una laboratorio de hidráulica para el desarrollo de actividades prácticas para estudiantes, implican la asignación de importantísimas partidas presupuestarias por parte de las universidades. Esta situación repercute que en varios casos los laboratorios de hidráulica presentan carencias en su capacidad operativa debido a la falta de los recursos humanos y económicos necesarios tanto para el mantenimiento correctivo y preventivo de sus instalaciones, así como para la actualización de las prácticas existente y el desarrollo nuevas experiencias.

Por su parte, las restricciones a la movilidad y el distanciamiento social provocado por la pandemia de Covid-19, profundizó en muchos casos los problemas operativos de los laboratorios y agudizó la necesidad de buscar alternativas para que los estudiantes puedan realizar actividades prácticas de hidráulica como parte de su formación profesional y el desarrollo de competencias.

Un laboratorio remoto daría la posibilidad a que los alumnos realicen actividades prácticas a distancia. Además, la robotización y posteriormente remotización, de ciertas prácticas en los laboratorios de hidráulica de distintas universidades permitiría maximizar la oferta académica y estrechar los lazos de vinculación tecnológica, en especial en las instituciones de gestión estatal.

Relevamiento realizado

El primer lugar, es dable destacar que el término “conurbano bonaerense” comprende a los 24 municipio de la provincia de Buenos Aires o del “conurbano”, que conforman un área unida a la Ciudad de Buenos Aires, a los cuales el INDEC se refiere como “Partidos del Gran Buenos Aires”. Claramente, se trata del conjunto urbano más poblado del país, donde viven 10.865.182 habitantes.

En el ámbito del Conurbano, C.A.B.A. y la Ciudad de La Plata, son 10 las universidades que dictan la carrera de Ingeniería Civil, las cuales se detallan a continuación:

- 4 en el Conurbano bonaerense: UTN-Facultad Regional Avellaneda (UTN-FRA), UTN-Facultad Regional General Pacheco (UTN-FRGP), Universidad de Morón (UM) y la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM);
- 2 en La Plata: Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la UTN-Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP).
- 4 en la C.A.B.A.: Universidad de Buenos Aires (UBA-FI); UTN-Facultad Regional Buenos Aires (UTN-FRBA), Universidad Católica Argentina (UCA) y la Universidad de Belgrano (UB);

Por lo expuesto, se observa que en el Conurbano donde reside el 24% de la población del país, las universidades que dictan la

carrera de Ingeniería Civil representan tan solo el 10% de la oferta nacional.



Figura 1.-Ubicación geográfica de las universidades que dictan la carrera Ingeniería Civil en el Conurbano bonaerense y el Instituto Nacional del Agua (INA). Fuente: elaboración propia.

Respecto a la presencia de laboratorios de hidráulica, el 70% de las universidades mencionadas en el párrafo anterior, informaron disponer de instalaciones propias para la realización de actividades prácticas del área hidráulica (Universidad Nacional de La Plata, Universidad de Buenos Aires, Universidad de Morón (UM) y Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional General Pacheco).

Estrechar la vinculación entre universidades, permitiría el desarrollo de estrategias asociadas al uso compartido de las instalaciones de los laboratorios, permitiendo una optimización de los recursos destinados al mantenimiento del equipamiento y actualización de las máquinas de ensayos y actividades prácticas ofrecidas a los estudiantes. En tal sentido, la remotización de las prácticas de laboratorio, presenta una valoración adicional en el contexto un país con gran extensión territorial e importantes distancias por recorrer.

Conforme al relevamiento efectuado, los laboratorios de hidráulica de la UNLP, UTN-FRGP y UBA-FI presentan el mayor número de actividades prácticas e instalaciones operativas.

De las universidades del Conurbano que dictan Ingeniería Civil, la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM) se encuentra en el municipio más poblado del país, donde el 60 % de los estudiantes reside en el propio Partido. A diciembre de 2021, la universidad no contaba con equipamiento propio para la

realización de prácticas de laboratorio del área hidráulica.

En tal sentido, desde el punto de vista de la proximidad física, la UNLaM se encuentra ubicada a 76 km de UNLP, a 32 km de la UTN-FRGP y 22 km de la UBA-FI, lo cual se traduce en tiempos de viaje superiores a las 2 horas promedio, por trayecto, para un estudiante que reside en La Matanza. Por tal motivo, las posibilidades de programar la realización de actividades prácticas presenciales en laboratorios de hidráulica de otras instituciones deberán considerar aspectos logísticos relacionados con el traslado de los estudiantes y los tiempos adicionales de viaje, así como las limitaciones en las frecuencias del transporte público para el regreso a sus hogares después de las 22 horas.

Resultados

En primer término, el contacto con otras instituciones permitió agilizar las vías de contacto y cooperación mutua. En tal sentido, tanto la Facultad de Ingeniería de la UBA y el Instituto Nacional del Agua, han sido positivamente receptivos para avanzar con la firma de Convenios de vinculación que permitan el uso de sus laboratorios de hidráulica por parte de los estudiantes de la UNLaM.

Además del relevamiento efectuado, con la colaboración de varios docentes e investigadores de la UNLaM se desarrolló y materializó el primer “Banco de prácticas hidráulicas” en el Laboratorio de Ingeniería Civil del DIIT-UNLaM. Este nuevo Banco de Prácticas Hidráulicas, se incorpora al patrimonio de la universidad para el desarrollo de actividades académicas tanto en materias de la carrera de Ingeniería Civil, como para estudiantes de otras especialidades de la ingeniería que cursan las materias Física I y Mecánica de los Fluidos.

Dentro del DIIT – UNLaM, el proyecto y montaje del “Banco de prácticas hidráulicas” fue consecuencia del trabajo y vinculación entre docentes e investigadores de Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Informática. La labor conjunta permitió avanzar en el análisis de factibilidad, en la definición de necesidades y requerimientos para el desarrollo de un laboratorio remoto, considerando en primera etapa la robotización y posterior remotización.



Figura 2.-Banco de prácticas hidráulicas, en el Laboratorio de Ingeniería Civil en la UNLaM. Fuente: elaboración propia.

La robotización y remotización de prácticas de laboratorio de hidráulica permitiría simplificar la accesibilidad para los estudiantes, enriquecer el espectro de actividades y experiencias disponibles, reducir tiempos de viaje y agilizar la didáctica académica, así como optimizar los recursos humanos, técnicos y materiales disponibles.

En tal sentido, si bien los trabajos de robotización y remotización requieren de recursos económicos, materiales y humanos que

superan las posibilidades y alcances del presente trabajo, se avanzó en el diagnóstico, análisis de actividades, necesidades tecnológicas, identificación de riesgos asociados y en la definición de las etapas de trabajo para alcanzar la robotización y posterior remotización del “Banco de prácticas hidráulicas” del Laboratorio de Ingeniería Civil.

Conclusiones

El fomento y desarrollo de espacios de encuentro, vinculación y desarrollo conjunto entre autoridades, docentes e investigadores de las diferentes universidades e instituciones que desarrollan actividades de laboratorio del área hidráulica, relacionadas con la Ingeniería Civil, son de vital importancia, en especial, entre aquellas instituciones de gestión pública nacional. Entendemos que la generación de espacios de diálogo permitirá identificar problemas comunes y trazar medidas de acción colaborativas, con el fin de mejorar, desarrollar, ampliar y optimizar la oferta de actividades prácticas a desarrollar por los estudiantes en los laboratorios de hidráulica. En tal sentido, entendemos que las actividades iniciadas en julio de 2021 por la Red Argentina Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto – R-LAB, desarrollada en el ámbito del CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería), es importantísimo lugar de encuentro, debate y trabajo conjunto que permite optimizar recursos humanos y tecnológicos, muchas veces afectados por la falta de comunicación entre las instituciones.

Fortalecer lazos entre las autoridades de carrera de Ingeniería Civil, mediante Convenios de cooperación y colaboración mutua, son una medida fundamental para sortear ciertas de las debilidades observadas en la disponibilidad de los recursos humanos, técnicos y económicos necesarios para el montaje, ampliación, actualización y mantenimiento de los laboratorios de hidráulica. El uso de las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata por estudiantes de la UTN-Facultad Regional La Plata, son un claro ejemplo de vinculación y trabajo conjunto que debe ser tomado como referencia.

El desarrollo de laboratorios de hidráulica es una enorme posibilidad que se presenta para diversificar y ampliar las prácticas de hidráulicas ofrecidas a los alumnos.

En tal sentido, una red colaborativa permitiría definir cuáles son los aportes que cada institución puede brindar, en virtud de sus capacidades específicas, relacionados con la disponibilidad de instalaciones, equipamiento y bancos de ensayos, de personal técnico de laboratorio y de profesionales especialistas en robotización e informática, necesarios para el software y hardware.

Referencias bibliográficas

Laboratorios Remotos para Prácticas de Ingeniería en Carreras de Grado- 47JAIIO - EST - ISSN: 2451-7615 - Autores: M. Grisolio, P.Zanetti, M.A.Bellotti, José Castiñeiras.

Sistema de Laboratorios Remotos basado en una plataforma Raspberry/Arduino - I Congreso Internacional de Ingeniería Aplicada a la Innovación y Educación, y Asamblea General De Istec. 2019–Autores: Villafañe, A., Brumovsky, A., Aveleyra, Ema.

Diseño de una plataforma remota para desarrollo de prácticas de laboratorio, XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Tandil, año 2018. Autores: Zabaljauregui, Marcelo; Rodríguez, Omar; Mazzeo, Hugo; Rapallini, José.

¿Qué es el Gran Buenos Aires? Ministerio de Economía y Producción de la Nación - INDEC, agosto 2003.

Resultados provisionales del Censo Nacional 2022 – INDEC, enero 2023.

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: FACTORES QUE DETERMINAN EL CONSUMO EN EL ÁMBITO RURAL

Fantozzi, A.¹, Fernandez, M.¹, Velasco V.², Calianno, M.¹, Cabrera, JM.

¹ IFAB (INTA-CONICET) INTA EEA Bariloche, AER-INTA Jacobacci; CRUB - Universidad Nacional del Comahue
Todas/os los autores pertenecen a instituciones argentinas.
E-mail: fantozzi.anabella@inta.gob.ar

Introducción

Más de un tercio de la población rural dispersa, en países en desarrollo, no tiene acceso al agua de calidad y en cantidad suficiente (Fundación Bariloche y Universidad de San Pablo 2013). La localidad de Ingeniero Jacobacci (Río Negro) y su área de influencia no son ajenas a esta problemática. En 2011 se declaró la emergencia hídrica en la Región Sur de Río Negro, por la disminución en las precipitaciones y los problemas de acceso al agua para consumo humano y animal.

Los cuerpos de agua superficiales de la región son transitorios y tienen caudales mínimos a partir del deshielo hasta secarse durante el verano. Este fenómeno se ha acrecentado durante los últimos 20 años. Las familias de esta zona se dedican a la cría de ganado ovino y caprino principalmente. Las fuentes de agua predominantes son manantiales o pozos cavados cuyo caudal varía significativamente dependiendo de las precipitaciones anuales y, en algunos casos, se han tenido que profundizar pozos producto de la disminución del nivel freático por debajo de la captación. Estas últimas son, en general, precarias en términos de calzado y tapa, y en muchos casos el baldeo es la forma de transporte.

En la mayoría de los casos, la escasez de agua se resuelve con una gestión basada en la oferta, ya sea a través de la búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua (Calianno et al. 2017; Calianno, 2018) tales como captación y distribución desde vertientes o perforaciones. Sin embargo, esta estrategia focalizada en resolver la disponibilidad de agua no es suficiente si se quiere encontrar una solución sostenible a la crisis hídrica regional, por un lado, y es poco aplicable en una región donde la población rural está dispersa y las fuentes se encuentran distanciadas por kilómetros entre sí. Como alternativa, se presenta la gestión integral del agua (Reynard et al., 2014; Grouillet et al., 2015) que abarca el ciclo completo al nivel de cuenca y que incluye no solo la evaluación de los recursos hídricos (agua disponible: la *oferta*), sino también el consumo de agua (agua utilizada: la *demanda*), su manejo técnico y su manejo social. En paralelo, la metodología de Análisis de decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA) propuesta por la ONU (Mendoza et al., 2020) también promueve una gestión de los recursos hídricos basada en la demanda, considerando las necesidades de los/as usuarios/as del agua, e involucrando en el análisis a las comunidades locales a través de procesos de gestión integrada del recurso hídrico como parte del proceso de gobernanza.

Frente a la falta de datos sobre los usos de agua en general (Calianno, 2020) y de esta zona en particular (Easdale, 2017), este trabajo realiza un aporte desde una perspectiva integral para la realización de un diagnóstico más completo de la problemática de escasez hídrica en gran parte del territorio correspondiente a la Región Sur de la provincia. Precisamente generamos conocimiento sobre la *demanda*, recolectando información sobre el consumo de agua en la escala predial, que aquí entendemos como el conjunto de prácticas y usos internos y externos. En este sentido, nos proponemos identificar variables que permitan comprender los factores que determinan las características del consumo y los distintos usos del agua por parte de la población rural, dispersa en su mayoría, en la zona de estudio.

Metodología

Se diseñó un conjunto de preguntas abiertas y cerradas sobre el consumo de agua a partir de Vaucelle y Salinas-Kraljevich (2019). Se consideraron las variables más relevantes y pertinentes y se incluyeron nuevas, de acuerdo al contexto local y a la factibilidad en lo que concierne su relevamiento.

El monitoreo se realizó a partir de una base de datos de predios generada por el INTA (INTA, inédito). La zona de estudio se dividió en bloques y de cada uno se seleccionaron cuatro predios, con lo cual se garantizó que las 80 viviendas relevadas fueron representativas del territorio ya que dada la topografía, la población no se distribuye de forma homogénea. La encuesta fue llevada adelante de forma presencial por distintas personas encuestadoras. Las mismas usaron el mismo formulario donde se dejó registrada la información con la misma codificación. Las encuestas fueron transcritas y se elaboró una base de datos.

Factores y variables

Encontramos siete factores en la literatura, explicativos del consumo de agua en distintas escalas territoriales: clima, uso del agua, gestión del agua, contexto económico, contexto local, características de la vivienda, y características del hogar. Para estudiar la escala predial/doméstica hemos priorizado cinco de ellos. Además, incorporamos otros factores y variables explicativas sobre las prácticas y usos de agua, tales como los riesgos asociados a la disponibilidad y la calidad del agua, y la percepción de las familias pobladoras acerca del agua como servicio ecosistémico (MEA, 2005) o contribución de la naturaleza a las personas (IPBES, 2019).

El factor *clima* resulta relevante principalmente para una escala regional y no fue relevado en la encuesta.

El factor *uso del agua* refiere a la estrecha relación entre el consumidor y el agua, determinada por la composición del consumo y la cultura del uso del agua, la *demanda*. Incorporamos la percepción sensorial del agua.

El factor *gestión del agua* implica el modo en el que se accede y se gestiona el agua. En este sentido, nos resulta interesante incorporar al estudio las distintas tecnologías de captación de agua, que hace referencia a las capacidades instaladas en el predio; las acciones de cuidado de la calidad de agua, que se utilizó para relevar el nivel de cuidado de la fuente y de la infraestructura instalada en el predio en un contexto de escasez de agua y de recursos económicos para reparar o reemplazar piezas o equipos completos; la responsabilidad de la gestión del agua en el hogar asumiendo que el consumo varía de acuerdo con quién lo gestiona; y la asistencia técnica y económica recibida para adquirir, instalar y mantener infraestructura hídrica en el predio.

Las variables económicas como los ingresos del hogar resultan explicativas de un cuarto factor, el *contexto económico*, mientras que el factor *contexto local*, hace referencia a variables demográficas, como la densidad o los rangos etarios de la población, que responden a consumos diferenciados y es más relevante para una escala regional. Los factores *características de la vivienda* y *características del hogar*, ponen el foco en el tipo de vivienda y su estado general, y en el tamaño y composición del hogar, respectivamente.

Cada persona o familia tiene una forma única de percibir el agua dependiendo del contexto en el que se encuentre, su memoria sensorial, sus experiencias personales, su cultura, sus creencias, sus conocimientos o incluso el rol y estatus que posee en un momento dado dentro de su familia o comunidad. El agua puede ser considerada como un recurso, un objeto, una necesidad vital, un bien adquirido, una entidad etc., aunque la frase más escuchada en los relevamientos es vaga y potente a la vez: "el agua es vida", lo cual cobra mucho más sentido en un semidesierto donde el bien es muy escaso. Considerando que en la región viven familias rurales de distintas características, perteneciendo muchas a comunidades indígenas Mapuche y la mayoría de la población es dispersa, nos resultó importante abordar otro factor relativo a la percepción sobre los *beneficios* u ofrendas de la naturaleza, según los casos, que el agua provee.

Asimismo se incorporó un último factor relativo a los *riesgos* asociados al agua que tuvo en cuenta que las percepciones condicionan las conductas, el consumo y el tipo de gestión. La percepción del riesgo se puede definir como "una evaluación de la probabilidad de peligro y la probabilidad de los resultados (más a menudo, las consecuencias negativas) percibidos por la sociedad" (Lechowska, 2018). Indagamos en los riesgos asociados a la mala calidad y a la escasez de agua y a las amenazas al sistema hídrico.

Resultados

Presentamos en la Tabla 1 resultados de algunas variables estudiadas del factor *gestión del agua*.

Tabla 2.- Resultados de las variables estudiadas del factor Gestión del agua. Todos los valores están expresados en %

Variable	Estado	%
fuente principal	vertiente-manantial	45
	pozo freatico	31
	vertiente-lloradero	15
	pozo profundo	2
	sd	7
TOTAL		100
tecnología de captación	baldeo	16
	bomba solar	20
	por desnivel	32
	motobomba	7
	bomba centrifuga	4
	sin captacion	14
sd	7	
TOTAL		100
cuidado de la calidad	no limpia	18
	limpieza	55
	limpieza y protección	20
	protección	5
	sd	2
TOTAL		100
costos de la perforación	familia	64
	proyecto	11
	n/a	24
	sd	2
TOTAL		100
costos de la captación	familia	21
	proyecto	25
	mixto	4
	n/a	50
TOTAL		100

Conclusiones

El relevamiento realizado a través de las encuestas nos brindó información muy valiosa en diversos sentidos. Por un lado nos permitió erradicar algunos prejuicios en relación a los tipos de captaciones y con el cuidado de las mismas. Además, las instituciones que intervienen en el territorio contamos ahora con información valiosa y detallada respecto de caudales (en términos de alto/medio/bajo) y de infraestructura predial, lo que nos permite diseñar estrategias productivas distintas de las

prácticas históricas y determinar en qué grado la asistencia del Estado en la asignación de recursos materiales relacionados con la captación de agua fue determinante en la calidad de las captaciones y en qué medida es necesario continuar generando proyectos que mejoren la calidad de vida de la población en su relación con el agua.

Por último, como se mencionó más arriba, la encuesta aportó información muy valiosa acerca de *los diversos usos* y *consumos* de agua, en términos de los caudales o volúmenes empleados, siendo muy importantes el total de agua utilizada para cada uso "doméstico" del bien como del consumo personal diario y la forma en que se consume (agua sola, infusiones, jugo, etc.) ya que ello permite proyectar un análisis epidemiológico en función de las concentraciones de dos contaminantes endémicos de la región y de buena parte de la Argentina, el flúor y el arsénico que están asociados a fluorosis dentaria y ósea (dependiendo de la dosis consumida) y el HACRE (hidroarsenismo crónico endémico).

En resumen, el relevamiento aportó gran diversidad de datos acerca de la *demanda*, que permitirán co-construir estrategias entre la comunidad local y las agencias estatales que permitan mejorar el acceso y la eficiencia en el uso del agua a través de distintas prácticas de manejo predial.

Referencias bibliográficas

- Calianno M., Reynard E., Milano M., Buchs A. (2017). Quantifier les usages de l'eau: une clarification terminologique et conceptuelle pour lever les confusions. *Vertigo*, 17(1).
- Calianno, M. (2018). Quantifier les usages de l'eau en territoire touristique de montagne. Tesis de doctorado, Université de Lausanne.
- Calianno, M. (2020). The Analogues Method: Reproducing the Seasonality of Drinking Water Distribution in Mountain Tourist Resorts. *Journal of Alpine Research |Revue de géographie alpine*, 108-1.
- Easdale M. (2017). Hacia lógicas de resiliencia en innovaciones tecnológicas y gestión productiva de sistemas ganaderos extensivos en Patagonia, Argentina, en X Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos, Buenos Aires, 7-10 de noviembre.
- Grouillet B., Fabre J., Ruelland D., Dezetter A. (2015). Historical reconstruction and 2050 projections of water demand under anthropogenic and climate changes in two contrasted Mediterranean catchments. *J Hydrol* 522:684–696.
- IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Lechowska, E. (2018). What determines flood risk perception? A review of factors of flood risk perception and relations between its basic elements. *Natural Hazards*, 94(3), 1341-1366.
- M.E.A. (2005) A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being. Island Press, Washington DC.
- Mendoza G., Jeuken A., Matthews J., Stakhiv E., Kucharski J., Gilroy K. (2020). Análisis de decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA): planificación colaborativa de los recursos hídricos para un futuro incierto. UNESCO, International Center for Integrated Water Resources Management, Paris, 161p.
- Reynard E., Bonriposi M., Graefe O., Homewood C., Huss M., Kauzlaric M., Liniger H., Rey E., Rist S., Schädler B., Schneider F., Weingartner R. (2014). Interdisciplinary assessment of complex regional water systems and their future evolution: how socioeconomic drivers can matter more than climate. *WIREs Water* 1(4):413–426.
- Vaucelle, S. y Salinas-Kraljevich, P. (2019) Les regards sur la consommation d'eau domestique et les variables qui l'influencent. [Rapport de recherche] ANR Ville Durable; Passages UMR5319.2014.hal-02353767

¿QUÉ SABEMOS DEL AGUA QUE CONSUMIMOS Y CÓMO LO PODEMOS AVERIGUAR?

Fortunato, María Susana; González, Ana Julieta; Gorino, Natalia Marina; Cerqueiro, Cynthia Natalia; Cerqueiro, Noelia Raquel; Finocchiaro, Pamela Alejandra; Saban, Micaela Gabriela; Antonio, Melisa Belén; Korol, Sonia Edith y Gallego, Alfredo

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Cátedra de Salud Pública e Higiene Ambiental
E-mail: fortunatomaria.ffyb@gmail.com

Introducción

Un 88% de la población urbana del país tiene acceso a agua de red (MOP, 2021), sin embargo, su calidad no siempre es valorada positivamente, lo que lleva a mucha gente a utilizar filtros domiciliarios o comprar agua envasada. Uno de los motivos de esta desconfianza puede ser la amplia difusión que tienen los casos de contaminación de agua que ocasionalmente tienen lugar. Puede servir de ejemplo el brote de shigelosis en Berazategui en 2016 (TELAM, 2016) o la detección de plaguicidas en el agua en la ciudad de Pergamino en 2019 (La Voz del Pueblo, 2019). Otra razón no menos importante es la extensa publicidad de productos alternativos, ya sea agua envasada o filtros domiciliarios, que prometen un agua “más pura y saludable”.

En la Cátedra de Salud Pública e Higiene Ambiental de la Facultad de Farmacia y Bioquímica (Universidad de Buenos Aires) realizamos como servicio el análisis de potabilidad de agua, esto nos permite estar en contacto con los temores de la gente que trae a analizar su agua o consulta sobre la necesidad de usar una fuente alternativa. Estas dudas pueden ser comprensibles para los pozos domiciliarios individuales, pero no debería serlo para los servicios de agua de red, para los que claramente la información debería ser pública.

El objetivo de este trabajo fue evaluar cuánto conocen los usuarios sobre la calidad del agua que consumen y en qué medida pueden acceder a la información para dilucidar sus dudas.

Metodología

Para evaluar la opinión de los usuarios se realizó una encuesta en un formulario de Google, que fue difundida por las redes sociales Facebook, Instagram y también a través de contactos particulares. Las preguntas estuvieron dirigidas a indagar los hábitos de consumo de agua de los participantes y su percepción de cuáles consideraban que eran los contaminantes más relevantes que podían estar presentes, así como sus efectos en la salud. Los datos finales fueron recopilados en una planilla de Excel para su análisis.

Con el objetivo de analizar la información disponible sobre calidad de agua se utilizó la Provincia de Buenos Aires (PBA) como ejemplo. Existen dos grandes empresas estatales que operan en la provincia, Agua y Saneamientos Argentinos (AySA) y Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA). En el resto de los municipios, no cubiertos por esas empresas, se debió indagar en primer lugar quiénes eran los proveedores del servicio. Tanto para las grandes empresas como para los municipios individuales el esquema de trabajo consistió en un primer paso de investigación de la información disponible en su página web. Se analizó si la información era completa para todos los parámetros microbiológicos y químicos que se solicitan y si había algún tipo de error en los análisis publicados. De no existir información disponible el paso siguiente fue contactar al proveedor para solicitarla, primero a título personal, como haría cualquier usuario. En una segunda instancia, se consultó identificando la pertenencia a este proyecto de investigación y dando la referencia de un mail institucional de la Facultad de Farmacia y Bioquímica para recibir la respuesta.

Resultados

Análisis de la encuesta: Un total de 497 personas respondieron la encuesta. La mayor parte de los encuestados (93%) reside en CABA o PBA. El 93% tiene agua de red en su domicilio, este porcentaje es mayor en CABA (100%) que en PBA (87%). El agua que con más frecuencia se consume es el agua envasada (38,9%) seguida por el agua de red o pozo existente (32,5%) o la misma agua purificada con un filtro domiciliario (28,6%). Cuando el agua existente en el hogar es de pozo, el porcentaje que utiliza agua envasada sube al 62%. La mayoría de los usuarios (50,3%) considera que los peligros químicos han sido a lo largo de la historia más relevantes que los peligros biológicos. Solo en el grupo etario de mayores de 60 años se invierte esta tendencia. Cuando se indaga sobre las posibles enfermedades infecciosas que pueden ser transmitidas por el agua, solamente el cólera y la diarrea por rotavirus son conocidas por más de la mitad de la población, inclusive en el caso de la gente de mayor edad que vivió, por ejemplo, las epidemias de poliomielitis o Hepatitis A. La mayoría de los usuarios considera improbable que estos peligros lleguen al agua de su hogar, aunque en menor proporción cuando el agua es de pozo. Más de la mitad de los usuarios consideran al cloro y a la dureza como los principales contaminantes que pueden causar un problema de salud. El cloro ocupa el primer lugar cuando el agua es de red y la dureza cuando es de pozo. En menor medida existe temor a que el agua contenga arsénico (37,3%), plaguicidas (34,9%), plomo (34,1%), nitrato (31,1%), solventes (20,1%), cromo (15,5%), fluoruro (14,3%) o sustancias radiactivas (9,0%). Solamente un 12,7% considera que no contiene estos compuestos en niveles que sean peli-grosos para la salud. En cuanto a las consecuencias de los contaminantes, un 70% considera que la dureza del agua puede llevar a la aparición de cálculos renales. Por otra parte, la mayoría conoce los problemas que puede causar el nitrato, el arsénico o los plaguicidas. En un elevado porcentaje la gente sospecha que estos tres contaminantes pueden estar habitualmente presente en agua de pozo, o agua de red de origen subterráneo, en muchas regiones de nuestro país (67,7% nitrato, 66,9% arsénico y 69,7% plaguicidas). Esta sospecha, en el caso del arsénico y los plaguicidas, es notoriamente mayor para la gente que tiene agua de pozo.

Acceso a la información pública sobre calidad del agua: En PBA, AySA está presente en un total de 27 partidos mientras que ABSA en 53. En los 56 municipios restantes la provisión del servicio es llevada a cabo por la misma municipalidad o cooperativas. En la página web de AySA se puede acceder a los reportes anuales de calidad de agua (AySA, 2021). No existe disponible una información comparable en ABSA. Tampoco la información fue brindada a través del contacto que ofrece en su página, aun cuando fue solicitada en nombre de este proyecto. Solamente diez municipios de un total de 56 tenían disponible en su página web algún tipo de información, habitualmente en una solapa de “Datos abiertos”. A pesar de que la gran mayoría de las páginas ofrecen la posibilidad de contactar al municipio, solamente en un caso se obtuvo una respuesta satisfactoria, enviando los datos solicitados. Dos municipios ofrecieron como respuesta iniciar un trámite presencial ante la mesa de entradas

para solicitar el informe. Excepcionalmente la información disponible es completa, totalmente correcta y se publica periódicamente. General Pueyrredón, Pergamino, Balcarce, Mar Chiquita y 9 de Julio son los partidos que presentan la mejor calidad de información, aunque de modo incompleto o con algunos errores de distinto tipo. En general, es más frecuente que se publiquen los datos del análisis microbiológico que los del físico químico. Algunos errores comunes detectados en la redacción de los análisis microbiológicos son la escritura incorrecta de las especies bacterianas, la confusión en el volumen de muestra en el que se investigan, o el empleo de una nomenclatura antigua para algunos de los grupos de microorganismos, como “el grupo KEC”.

Discusión

Cada vez más se escuchan noticias sobre los problemas presentes y futuros de acceso al agua, de fuentes cada vez más escasas y contaminadas (Liber & Justo, 2015). No sorprende en este contexto que la gente desconfíe del agua que toma.

De acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta, el agua de bebida más usada es la envasada, sobre todo cuando la fuente disponible es agua de pozo. Este hecho, ampliamente reportado en la literatura, tiene lugar a pesar de que la calidad del agua envasada no siempre es mejor, su costo es elevado y su comercio implica un mayor impacto ambiental (Fortunato y col, 2020).

En cuanto a los datos de la encuesta, sorprende que generan más preocupación los contaminantes químicos que los microbiológicos y que inclusive se los considere prioritarios desde una perspectiva histórica. El hecho de que enfermedades como poliomielitis o Hepatitis A no sean ya casi reconocidas como de origen hídrico, puede tomarse como una medida del éxito de las políticas de salud pública, saneamiento y vacunación aplicadas en las últimas décadas. De los contaminantes químicos los más reconocidos fueron el cloro y la dureza. El cloro, a las concentraciones que se emplea en el proceso de potabilización, no tiene ningún efecto en la salud, tampoco la dureza, pero ambos son fácilmente detectables, uno por su sabor, otro por las incrustaciones que causa. Este temor es muy hábilmente explotado por quienes comercian alternativas.

No siempre la opinión de la gente es errónea ya que en ciertos casos el agua que se distribuye en algunas jurisdicciones no cumple con los requisitos mínimos de calidad, tal es el caso del nitrato y el arsénico, éste último sin duda uno de los mayores problemas vinculados al agua en nuestro país. Por otra parte, esta sospecha se hace extensiva incorrectamente a los plaguicidas que, si bien pueden ser detectados en bajas concentraciones en algunas aguas subterráneas, los valores hallados sólo constituyen una alerta para disminuir su uso y optimizar su aplicación, y no un problema inmediato de salud pública.

En resumen, se presentan dos hechos concurrentes y antagónicos: los usuarios tienen temor a sustancias que carecen de riesgo para la salud, pero a su vez, logran identificar otras que realmente lo tienen. Falta divulgación para evitar los temores infundados e información para confiar en la calidad del agua que reciben.

A pesar de que existe una ley de acceso a la información pública no es sencillo conseguir los datos de calidad del agua, éstos se encuentran disponibles en el caso de AySA, pero no de ABSA. que tampoco los ofrece ante la solicitud. Lo mismo ocurre con el 82% de los municipios. Muchos que tienen en su página un sitio de “información pública” presentan información económica de gestión, pero no de datos ambientales. Esta carencia de información ambiental no se restringe solamente a los datos de calidad de agua para consumo, tampoco se brinda información sobre tratamiento de efluentes cloacales, disposición de residuos

sólidos urbanos o contaminación atmosférica. Otro hecho preocupante es que la mayoría de los once municipios que presentan sus informes lo hacen con errores, en algunos casos informando datos de grupos microbianos con denominación obsoleta, no considerados desde hace décadas en la literatura.

Conclusiones

Según datos de la Organización Panamericana de la Salud 28 millones de personas en la región carecen aún de acceso a una fuente de agua mejorada y 7600 niños menores de 5 años mueren anualmente por enfermedades diarreicas, causadas principalmente por el agua (OPS, 2023). Un objetivo clave del desarrollo sostenible es brindar acceso a agua potable para toda la población (ONU, 2015). Para ello, además de las obras necesarias, es indispensable que la información sobre la calidad del agua sea pública, para que la comunidad pueda confiar en su seguridad.

Este trabajo fue realizado como parte de la formación de nuevos ayudantes-alumnos para la cátedra. Tanto la investigación como la escritura fueron realizadas por ellos con el apoyo de sus docentes.

Referencias Bibliográficas

- AySA- Agua y Saneamiento de Argentina** (2021). “Informe de Niveles de Servicio 2021”. Disponible en Internet: https://www.aysa.com.ar/media-library/usuarios/informacion_util/informes_anuales/2021_Informe_de_Niveles_de_Servicio.pdf. Acceso 21 de marzo de 2023.
- Fortunato, M.S., González, A.J., Tellechea, M.F., Reynoso, M.H., Vallejos, F., Donaire, A.N., Korol, S.E., Gallego, A.** (2020). “Evaluation of bottled waters quality by determining nitrate concentration”. *Journal of Water and Health*. 18(5) 681-691.. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.125>
- La Voz del Pueblo** (2019) “Pergamino: la Corte Suprema ratificó que el agua no es apta para el consumo” Disponible en Internet: <https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/82448-Pergamino-la-Corte-Suprema-ratific%C3%B3-que-el-agua-no-es-apta-para-el-consumo>. Acceso 13 de abril de 2023.
- Liber, M; Justo, J.B.** (2015) *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe*. CEPAL. Naciones Unidas. Santiago de Chile. ISSN 1680-9017.
- MOP-Ministerio de Obras Públicas** (2021) “Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y al saneamiento”. Dirección Nacional de Transparencia de la Secretaría de Gestión Administrativa y la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. Disponible en Internet: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_coyuntura_sobre_acceso_e_igualdad_al_agua_y_al_saneamiento_0.pdf. Acceso 21 de marzo 2023.
- ONU-Organización de las Naciones Unidas** (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en Internet: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> Acceso 21 de marzo de 2023.
- OPS – Organización Panamericana de la Salud** (2023) Agua y Saneamiento. Disponible en Internet: <https://www.paho.org/es/temas/aguas-saneamiento#:~:text=EI%20acceso%20a%20servicios%20inadecuados,en%20el%20agua%20de%20consumo>. Acceso 13 de abril de 2023.
- TELAM** (2016) “Brote de gastroenterocolitis: La hipótesis es la contaminación del agua”. Disponible en Internet: <https://www.telam.com.ar/notas/201604/143331-contaminacion-del-agua-epidemiologia-gastroenterocolitis.html>. Acceso 13 de abril de 2023.

EFFECTOS DEL USO DE EFLUENTES URBANOS TRATADOS E INTERACCIÓN CON LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN UN CULTIVO DE REPOLLO BLANCO (*BRASSICA OLERACEA* VAR. *CAPITATA*)

Galfione Alexis¹, Salusso Fabricio¹, Pereyra Rita¹, Crespi Raúl Jesús¹, Pautasso Gastón¹

1. Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, Tel: +54 9 358 4676503, Argentina
E-mail: rpereyra@ayv.unrc.edu.ar

Introducción

El agua es un recurso vital en la que cada día se vuelve más escaso y esto obliga a reutilizar agua de menor calidad, como los efluentes obtenidos mediante el tratamiento de aguas residuales, en usos menos exigentes como es el riego. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, donde se aprovechan más del 65 % en el área metropolitana de Tel Aviv para riego de la región de Dan (Parra y Arbos, 1997). De la superficie agrícola irrigada en Argentina, Perú y República Dominicana, el 45,1 % corresponde a hortalizas, 29,2 % a cultivos industriales y 21,1 % a forrajes, por lo tanto podría afirmarse que el uso de aguas residuales en agricultura es una práctica aún incipiente, pero esto no significa un rechazo al rehúso, sino más bien un limitado conocimiento sobre esta alternativa (Cavallini y Young, 2002).

La reutilización de efluentes residuales tratados en el riego, garantiza no solo una fuente constante, sino también aporte continuo de nutrientes y microelementos para las plantas, ahorro en gastos de fertilización, y sobre todo hace a la sustentabilidad del sistema (Crespi *et al.*, 2009). Sin embargo, contienen microorganismos patógenos, por lo tanto se debe poner especial cuidado en minimizar el riesgo que su uso presenta (Fasciolo *et al.*, 2005).

Por tales motivos, su uso deberá considerar la calidad del agua en tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria está determinada por la concentración de parásitos, representado por huevos de helmintos y coliformes fecales, como indicadores de formadoras de colonias de bacterias. La calidad agronómica está relacionada con la cantidad de nutrientes oligoelementos, elementos tóxicos, salinidad y metales pesados, y por último la calidad ambiental involucra todos los mencionados anteriormente con énfasis en aquellos impactos negativos en los cuerpos receptores (Lorenzo *et al.*, 2009).

El objetivo del estudio fue evaluar la utilización de efluentes urbanos tratados como fuente de agua y nutrientes, y su interacción con la densidad de plantación.

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos instalada en el año 2005 en un complejo de residencias estudiantiles en la Universidad Nacional de Río Cuarto (33° 06' 48" Sur, 64° 18' 17,71" Oeste; 425 m.s.n.m.), Río Cuarto, Córdoba, Argentina. La zona de estudio se caracteriza por un clima templado-subhúmedo, con un régimen de precipitaciones tipo monzónico, con una media anual de precipitaciones de 858,7 mm, concentrada entre los meses de septiembre y abril. El régimen térmico es templado-mesotermal, con una temperatura media anual normal de 16,4 °C, con temperatura media anual para el mes más cálido (enero) de 22,9°C y una temperatura media normal de 8,9°C para el mes más frío (julio) (Serie 1981-2010 Estación Río Cuarto Aero, SMN).

La planta cuenta con un sistema de recolección de afluentes que se conducen mediante una tubería con pendiente que se descarga en una cámara receptora, donde comienza la etapa de pre-

tratamiento. El material pasa a través de un disco de acero inoxidable, que actúa como primer filtro de material grueso, y luego se vierte por gravedad a un canasto de acero inoxidable que actúa como segundo filtro. Desde la cámara receptora, cada vez que se almacena un volumen de 3.000 L, son transportados hacia un tanque sedimentador de lodos que posee una capacidad de 10.000 L, y su función es concentrar el efluente y permitir la deposición de los sólidos en forma de lodos en la parte inferior del tanque.

En la parte superior del tanque sedimentador se genera un líquido sobrenadante que se deriva a una primera laguna facultativa con presencia de macrófitas acuáticas flotantes (*Lemnas* sp), produciéndose una remoción del 97 % de las coliformes fecales y un 73 % de coliformes totales. Luego, son derivados a una segunda laguna, también con macrófitas, donde se produce una remoción del 100 % de coliformes fecales, quedando un remanente de coliformes totales de 4×10^5 NMP (número más probable) por cada 100 ml de efluente urbano tratado. Finalmente, el efluente urbano tratado se conduce al sitio experimental mediante un sistema de riego gravitacional (Fig. 1) por surcos.



Figura 1.- Sistema de riego gravitacional por surcos. UNRC.

El cultivo utilizado fue Globe Master F1 esta variedad es de madurez precoz a intermedia, con cabezas redondas y uniformes, de gran adaptabilidad a la región. Tiene tolerancia a la Podredumbre Negra (*Xanthomonas* sp.). Su cabeza es de forma redonda y compacta. Alcanza un peso promedio de 2,2 a 2,5 Kg por unidad; el tiempo a cosecha es de 80 a 95 días después del trasplante (Agrical, 2017).

Se trasplantó en marzo del 2019 y su cosecha terminó en octubre del mismo año, el ciclo del cultivo fue de 195 días. Este retraso en la madurez está explicada porque luego del trasplante, tuvo condiciones de bajas temperatura. Por lo tanto si la temperatura es menor a la óptima requerida, la tasa de desarrollo del mismo disminuye, y la duración de las fases fenológicas se alargan, por lo que hay un retraso en el desarrollo (Bertero y González, 2012).

Los tratamientos resultaron de la combinación factorial de 2 densidades de plantación: 17.000 pl ha⁻¹ y 27.000 pl ha⁻¹; y 2 calidades de agua de riego: efluentes urbanos tratados (EUT) y Agua de pozo (AP). El diseño experimental se realizó en parcelas divididas, donde el riego con diferentes calidades de agua corresponde a las parcelas principales, contando con 6 líneas de riego para cada tratamiento; y la densidad de plantación, a las parcelas secundarias. Se realizaron 4 tratamientos y 3 repeticiones.

Para determinar el momento de riego se tomaron semanalmente muestras en dos profundidades 0 - 0,20 m y 0,20 - 0,40 m, la evolución hídrica del perfil del suelo, se siguió por el método gravimétrico y la reposición de la lámina de riego, se hizo considerando un valor del punto de marchitez incipiente del 50 % desde el punto de vista de consumo. Durante el ciclo del cultivo se efectuaron controles de malezas en forma manual, y aplicaciones fitosanitarias sobre todo para el control de plagas. La cosecha del cultivo se realiza cuando las cabezas adquirieron el diámetro adecuado según las exigencias del mercado local.

Para evaluar la circunferencia ecuatorial se separó la cabeza del resto de la planta y se tomaron datos de la circunferencia promedio. Tomando alícuotas de hojas externas y cabezas, para cada tratamiento, y luego se llevaron a estufa a 65°C hasta obtener peso seco constante. La partición de asimilados se expresó en gr MS acumulada. Para determinar la calidad de las cabezas cosechadas se midió el peso individual (g) y el diámetro (mm). Se determinó el rendimiento total (kg ha⁻¹). Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011), aplicando análisis de varianza y comparación de medias con el test de Fisher ($p \leq 0,05$).

Los análisis microbiológicos para evaluar la calidad sanitaria se realizó en el laboratorio de microbiología del Mercado de Abasto de Río Cuarto. Se determinó la presencia de coliformes totales y coliformes fecales y *Escherichia coli*.

Resultados

En cuanto al peso fresco y seco acumulado en hojas exteriores, cabeza y peso fresco y seco total se observó un leve aumento en el peso fresco total cuando se incrementó la densidad de plantación, tanto en riego con AP como EUT, siendo el incremento de 3,16 % para el AP y 5,01 % para el EUT pero sin marcar diferencias estadísticas significativas. Esto se explica porque al aumentar la densidad, hubo un incremento tanto del peso fresco de la cabeza como de las hojas externas para el caso de AP; y un aumento mayor en el peso fresco de las hojas externas como de la cabeza para el tratamiento con EUT.

Para el caso de peso seco total, no se observaron diferencias significativas con el riego de AP al aumentar la densidad de plantación, ya que se mantiene en el mismo peso, sin embargo, si hubo respuesta al utilizar riego con EUT, con un incremento promedio de 24 %. El tratamiento que mejor desempeño presentó tanto en incremento de peso fresco y seco total fue la mayor densidad combinada con el riego con EUT. Aquino *et al.*, (2005), sostiene que si hay una reducción de la distancia entre plantas, disminuye la materia fresca. Para este caso no se observó de esa manera, sino lo contrario, hubo un aumento en la materia fresca, con un mayor peso en una mayor densidad de plantación, para ambos sistemas de riego.

La circunferencia ecuatorial no ha manifestado diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los tratamientos. En cuanto al rendimiento comercial, podría aseverarse que la utilización de riego con EUT no logró aumentar dicha variable en relación al riego con AP, si mantenemos la misma densidad. Si bien, el agua de EUT presenta aportes de nutrientes, ésta no ha sido suficiente para aumentar el rendimiento comercial del cultivo. Filgueira (2000) sostiene que cuanto mayor sea la densidad, la cabeza es más pequeña. No obstante, en función de los datos arrojados podemos decir que al aumentar la densidad de plantación dentro de los rangos evaluados en el estudio no se observaron cambios en la circunferencia ecuatorial.

El recuento de microorganismos en las cabezas frescas al momento de la cosecha (Tabla 1) determinó que el producto obtenido fue apto para su consumo en fresco. Se detectó ausencia de microorganismos perjudiciales como *Escherichia coli* y *Salmonella sp*. Estos hallazgos coinciden con estudios previos,

en el que sugieren que el riego con agua proveniente de efluentes tratados no implican necesariamente contaminación de los cultivos (Vergine *et al.*, 2017).

Tabla 1.- Recuento de microorganismos en cabezas frescas a cosecha.

Determinación	Unidad (*)	Resultado	Método empleado
Recuento de Coliformes Totales	UFC g ⁻¹	7,3 x 10 ⁶	método ISO 16649-2:2001 modificado
Recuento de Coliformes Fecales	Mo g ⁻¹	< 10	
Recuento de <i>Escherichia coli</i>	Mo g ⁻¹	< 10	
Recuento de <i>Salmonella sp</i>	A / P	Ausencia	método ISO 6579:2002

(*)UFC g⁻¹: Unidades Formadoras de Colonia por gramo de muestra; Mo g⁻¹: Microorganismos por gramo de muestra; A/P: Ausencia/Presencia

Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad de reutilizar efluentes urbanos tratados como fuente de riego, si bien el aporte de nutrientes no ha sido significativo para contribuir a un mayor rendimiento en el cultivo de repollo blanco, si se ha obtenido un producto final con calidad sanitaria y apta para el consumo humano en fresco. El incremento en la densidad de plantación ha presentado respuestas significativas en el rendimiento comercial (kg ha⁻¹) sin afectar la circunferencia ecuatorial de las plantas.

Referencias Bibliográficas

- AGRICAL, CHILE (2017). "Repollo - GlobeMaster". En: http://www.agricol.cl/web/wp-content/uploads/REPOLLO_LISO_GOLBE_MASTER_F1.pdf Consultado: 09/08/2021.
- AQUINO, L. A., M. PUIATTI, P. R. PEREIRA y E F. H. PEREIRA. (2005). "Efeito de espaçamento e doses de nitrogênio sobre as características qualitativas da produção do repollo." *Horticultura Brasileira*. Vol. 23, No 1, Marzo 2005, pp. 100-104.
- BERTERO D. y F. GONZÁLEZ. (2012). "Descripciones simplificadas del efecto de factores ambientales sobre el desarrollo." *Desarrollo y fenología. Área de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires (UBA)*, Vol. 1, pp. 9-13.
- CAVALLINI, J. M. y L. E. YOUNG. (2002). *Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. América*. Vol 36, pp. 360-589.
- CRESPI, R.; CAMACHO, E. y POLO, J.M. (2009). "Riego subsuperficial con aguas residuales tratadas." *Ingeniería del agua*. Vol. 16, No 2, Pp. 145 – 155.
- DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZÁLEZ, L., TABLADA, M. y ROBLEDO, Y. C. (2011). *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En: <http://www.infostat.com.ar> Consultado: 09/08/2021.
- FASCILOLO, G.; M. I. MECA; E. CALDERON y M. REBOLLO. (2005). "Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados." *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, tomo XXXVI. No 1, pp. 31 - 40.
- FILGUEIRA, F. A. R. (2000). "Brassicáceas: couves e outras culturas." *Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças*. 2º Ed. UFV, Viçosa. pp: 269-285.
- LORENZO, E. V.; OCAÑA, J. G. L.; FERNÁNDEZ, L. A. y M. B. VENTA. (2009). "Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola". Valoración crítica. *CENIC ciencias biológicas*. Vol. 40, No. 1.
- PARRA, J. P. y A. M. ARBOS. (1997). "Reutilización de las aguas residuales de la ciudad de Almería en los regadíos del Bajo Andarax." *Actas del I y II seminario del agua. Instituto de Estudios Almerienses*. pp. 265-287.
- VERGINE, P.; SALERNO, C.; LIBUTTI, A.; BENEDEUCE, L.; GATTA, G.; BERARDI, G. y POLLICE, A. (2017). "Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation." *Journal of Cleaner Production*. Vol. 164, pp. 587-596.

LA FERIA DEL AGUA: CRÓNICA DE UN ENCUENTRO DE SABERES QUE YA ES PARTE DE LA AGENDA DE LA REGIÓN

García de Souza Javier Ricardo, Monti Carolina, Alvarez María Fernanda, Altieri Paula, Nicolosi Gelis Mercedes, Delevati Colpo Karine, Pecile Agostina, Paredes del Puerto Juan Martín, Pazos Rocío, Mujica Micaela

Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet” (ILPLA, CONICET CCT La Plata-UNLP-Centro Asociado CICPba), Argentina.
Boulevard 120 y 62, N°1460. CP: 1900 - CC: 712, La Plata, Buenos Aires, Argentina

Tel: (54-0221) 422-2775

javiergds@ilpla.edu.ar, bibliote@ilpla.edu.ar, feralvarez@ilpla.edu.ar, altieripaula@ilpla.edu.ar, mercedesnicolosi@ilpla.edu.ar, kacolpo@ilpla.edu.ar, apecile@ilpla.edu.ar, jmparedesdelpuerto@gmail.com, rpazos@ilpla.edu.ar, micaelamujica@ilpla.edu.ar

Introducción

La Feria del Agua es un evento anual que se realiza en la ciudad de La Plata (Buenos Aires, Argentina) organizado por el Proyecto Exploracuatic@s (UNLP) (García de Souza et al., 2017, Altieri et al., 2019) y el Área de Extensión y Comunicación del Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet” (ILPLA, CONICET-UNLP) (Alvarez et al., 2017). Surgió en 2019 de la mano de motivaciones personales y del esfuerzo de estos equipos, pretendiendo dar a conocer el trabajo desarrollado por docentes, extensionistas, comunicadores/as y científicos/as cuyas líneas de acción están vinculadas con el agua. La temática se aborda desde múltiples enfoques: investigación, extensión, educación, gestión y arte, incorporando la interacción entre diversas instituciones y la sociedad civil, con el objetivo de reflexionar acerca de la importancia de este bien común en el marco del “Día Mundial del Agua”, definido por la Organización de las Naciones Unidas cada 22 de marzo (UN-Water, 2023). El Día Mundial del Agua busca crear conciencia sobre la crisis global del agua y la importancia de tomar medidas para abordarla, con el fin de lograr el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6 de garantizar agua y saneamiento para todos antes de 2030 (UNESCO, 2023; UN-Water, 2023). Hasta el momento, se han realizado cuatro Ferias: la primera en 2019 frente al Museo de La Plata, en 2021 de forma virtual, y en 2022 y 2023 en la Plaza San Martín de la misma ciudad. Las formas de participación comprenden stand de exposición, póster de divulgación y producciones audiovisuales que se comparten durante el evento y luego a través del sitio web del ILPLA (<https://www.ilpla.edu.ar/agua/>). Además, radio abierta en donde se realizan entrevistas, e intervenciones de danza y/o teatro.

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de las distintas ediciones de la Feria desde diversas perspectivas, para evaluar cómo fue la participación de los diferentes equipos, las áreas temáticas abordadas, los formatos elegidos y la concurrencia del público a través del tiempo.

Materiales y Métodos

Para realizar el análisis se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: 1) cantidad de propuestas; 2) temas abordados; 3) formato o modalidad de las propuestas y 4) concurrencia de público. Para el punto 1, fue calculada de acuerdo a los equipos inscriptos a participar y aquellos efectivamente presentes el día de la Feria. Asociado a dicho parámetro se evaluó: 1a) cantidad de talleristas/expositores/as por propuesta (aquellas personas presentes durante la Feria) y 1b) procedencia institucional de la propuesta (científica, educativa, gobierno, etc.). Para el análisis de los temas abordados (2), se realizó una nube de palabras utilizando las descripciones de cada propuesta presentada. Si bien la concurrencia del público (4) es un factor muy difícil de estimar o cuantificar, se planteó la siguiente fórmula estimativa de alcance:

$$N^{\circ} \text{ personas} = Z * \text{intervalos } T * Prp \quad [1]$$

Z: factor fijo definido como 3 (personas promedio por actividad a partir del registro audiovisual). intervalos T fijo: 12 - calculados con las 3 hs de duración de la feria dividido en intervalos de 15 minutos (promedio de tiempo que las personas permanecían en cada actividad). Prp: número de actividades propuestas, variable año a año

Resultados

Desde sus inicios la concurrencia mostró una tendencia creciente, tanto en el número de expositores como de público visitante. En 2019 participaron de la Feria 16 grupos de expositores, mientras que en 2023 fueron 36 (125% más). A su vez, la procedencia o filiación de los equipos participantes también fue cambiando a lo largo de los años (Fig. 1), mostrando que participaron cada vez más equipos vinculados con la educación (en cualquiera de sus niveles), entidades gubernamentales y ONGs, proyectos populares, etc., (incluidos en “otros”).

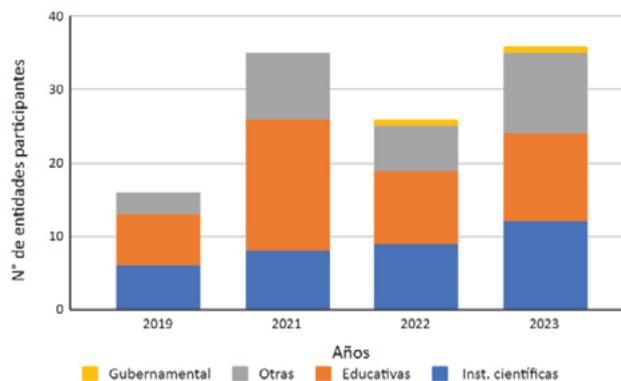


Figura 1.- Procedencia de los equipos participantes en las distintas ediciones de la Feria del Agua.

Con respecto a los temas abordados, la nube de palabras muestra una gran diversidad de temáticas incluídas a lo largo de estos 4 años (Fig. 2); en donde sin dudas la palabra Agua cumple un rol protagónico, pero también se destacan palabras como Investigación, Gestión, Humedales, Extensión, Comunidades vulnerables y Cuidado del agua, entre otras. A su vez, el número de actividades también aumentó de 16 (2019) hasta superar las 40 actividades en 2023 (168% más). Este cambio fue progresivo a lo largo de los años (Fig. 3) con una tendencia de incremento que continúa; mostrando principalmente un salto importante entre el 2019 y el 2021. Además, la proporción en cuanto al formato elegido para las presentaciones también fue cambiando (Fig. 3).

El formato stand fue el más elegido durante el 2022 y 2023; en tanto que los videos predominaron en 2021, un hecho vinculado

ACCESO AL AGUA EN EL PARQUE COSTERO DEL SUR: VINCULANDO VISIÓN ACADÉMICA Y PERCEPCIONES LOCALES

Jazmín Ilana Glustein^{1,4}, Tatiana Sonia Arturi², Pablo César Stampella^{1,4} y María Isabel Delgado^{3,4}

¹ Laboratorio de Etnobotánica y Botánica Aplicada, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Argentina, jazminglustin@gmail.com, pstampella@yahoo.com

² Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP, Argentina, arturitiana@gmail.com

³ División Ficología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Argentina. FCAyF-UNLP, isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Introducción

La Reserva de Biosfera Parque Costero del Sur se ubica sobre la margen derecha del estuario del Río de la Plata, abarcando un sector de los Partidos de Magdalena y Punta Indio (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Esta área protegida, creada en 1984, presenta una categoría de protección parcial -categoría VI UICN- que permite la utilización sostenible de los ecosistemas naturales. En dicha zona existen sitios con escasez de datos básicos y de conocimiento adecuado del medio físico (Kruse y Ainchil, 2011). A su vez, se reconocen diferentes problemáticas vinculadas con el acceso al agua potable, entre ellas el elevado contenido de arsénico -de origen geológico- presente en el agua subterránea, el exceso de nitrato asociado a actividades ganaderas y tambos, y la contaminación microbiológica generada por una incorrecta gestión de los efluentes de dichas actividades, sistemas de saneamiento inadecuados y deficiencias constructivas en las perforaciones (Cellone, 2019; Melo, 2019; Pugliese, 2018). El presente trabajo tiene como objetivo aportar a la caracterización del recurso hídrico subterráneo en la Reserva de Biosfera Parque Costero del Sur a partir de la integración de dos fuentes de información complementarias: la percepción de la calidad del agua por diferentes grupos de actores locales, y el análisis de parámetros de calidad en muestras recolectadas dentro del territorio.

Metodología

Relevamiento de percepciones locales en relación con el agua de consumo

Entre mayo de 2021 y diciembre de 2022 se realizaron entrevistas semiestructuradas a cuatro grupos de pobladores locales (usuarios, proveedores de servicios de agua y saneamiento, funcionarios públicos y entidades sociales). En ellas se indagó acerca de las percepciones y saberes relacionados con la calidad y cantidad de agua disponible actualmente, así como de los cambios percibidos en este recurso durante las últimas décadas (Glustein y Estampilla, 2021).

Selección de sitios de muestreo

Partiendo del análisis de las narrativas obtenidas se seleccionaron sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Incluir los distintos tipos de fuentes utilizadas para consumo en la zona (red, perforaciones domiciliarias, envasada, canilla pública, planta de tratamiento municipal, entre otras).
- Incluir muestras provenientes tanto del sector rural como del semi urbanizado.
- Incluir propietarios pertenecientes a los cuatro grupos de actores definidos.

La selección de los puntos de muestreo estuvo sujeta a la predisposición de los propietarios particulares para facilitar el acceso a la fuente de agua subterránea.

Selección de parámetros a analizar

Se analizaron parámetros de calidad físicoquímicos y microbiológicos centrales en las narrativas locales, junto con otros utilizados frecuentemente para la caracterización de la

calidad del agua. Los primeros se seleccionaron en base a su prevalencia (mediante el cálculo del índice de consenso cultural) y a su relevancia (de acuerdo a la existencia o no de evidencia que respalde dichas percepciones, el nivel de involucramiento de los entrevistados con la temática, entre otros factores). Se definieron como referencia los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para agua potable (CAA, 2021).

Recolección de muestras

En febrero de 2023 se llevó adelante un muestreo de agua subterránea en 21 puntos de recolección previamente seleccionados (figura 1). Las muestras fueron tomadas en compañía de pobladores locales y en el contexto, la forma y el lugar en el cual ellos habitualmente se proveen de agua (Martínez et al, 2014). Estas se mantuvieron almacenadas en oscuridad y se conservaron refrigeradas a 4°C hasta su análisis.

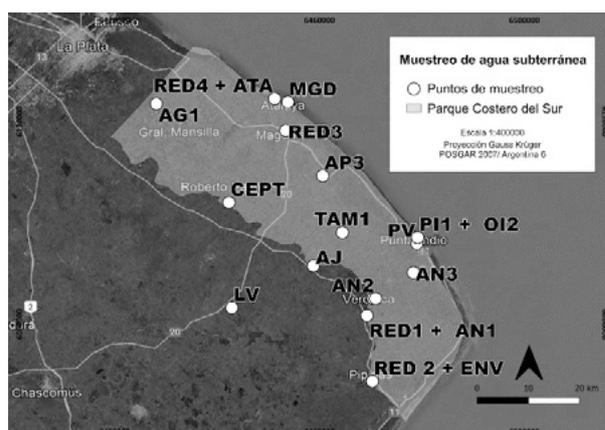


Figura 1.- Mapa de los sitios de recolección de muestras. Fuente: elaboración propia a partir de las capas Cuencas de la PBA (OPDS) y Departamentos y Provincias (IGN).

Análisis de las muestras

Los parámetros microbiológicos fueron medidos en el Laboratorio de Microbiología del Instituto de Limnología "Dr. Raúl A Ringuet" (ILPLA). Los parámetros físicoquímicos fueron medidos en el Laboratorio docente de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Para los métodos absortimétricos se utilizó un espectrofotómetro Hach modelo DR/2100 y uno Chrom Tech modelo UV-1800. En las Tablas 1 a 3 se detallan los métodos de análisis utilizados para los diferentes ensayos. Los códigos corresponden a los métodos estándar para análisis de aguas y efluentes (APHA, 2012).

Integración de la información cualitativa y cuantitativa

Se desgrabaron las entrevistas en las que se hizo mención a una o más de las fuentes muestreadas y se cargaron en el software ATLAS.ti 23 para su codificación y posterior análisis cualitativo. Los resultados de los análisis de calidad de agua fueron codificados en forma binarizada -en función de si cumplen o no con la reglamentación del CAA- y cargados en el

mismo software. Para contrastar ambos tipos de información se generó una tabla de coocurrencia entre los códigos asociados a los descriptores de calidad y los códigos del tipo “cumple/no cumple” asociados a cada uno de los parámetros analizados. Luego, se identificaron en esta tabla los pares de códigos con mayores frecuencias de coocurrencia.

Tabla 1.- Métodos de medición de parámetros in situ.

Parámetro	Método
pH	Sonda multiparamétrica Hanna HI9828
Conductividad	
Temperatura	
Turbidez	Turbidímetro Hanna HI93703
Cloro libre	Colorímetro Hanna HI701

Tabla 2.- Métodos de medición de parámetros microbiológicos.

Parámetro	Método
Bacterias mesófilas totales	Recuento en placas deshidratadas CompactDy™ TC
<i>E. coli</i>	Cultivo en medio cromogénico CHROMAgar™ ECC
Bacterias coliformes totales	
<i>P. aeruginosa</i>	Cultivo en medio Pseudomonas Cetrimide Agar (Oxoid)

Tabla 3.- Métodos de medición de parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Método
Hierro total	Colorimétrico con KSCN
Fósforo reactivo total	Colorimétrico con ácido ascórbico/ 4500 P E
Fluoruro	Electrodo selectivo Hanna HI4110
Nitrato	Absorbancia a 220nm/4500-NO ₃ ⁻ B
Dureza total	Volumetría de complejación con EDTA/ 2340-C
Cloruro	Volumetría de precipitación con AgNO ₃ / 4500 Cl- B
Sólidos suspendidos	Método por pesada / 2540-D

Resultados

La mayor parte de las muestras, exceptuando las provenientes de red de distribución, resultaron no aptas para consumo humano desde el punto de vista microbiológico. Los parámetros fisicoquímicos se encontraron, en la mayoría de los casos, dentro de los límites establecidos por el CAA. La concentración de nitrato en un agua envasada (ENV) presentó un valor de 67 mg/L, en tanto que en un predio donde se desarrolla agricultura orgánica (AG1) y en un establecimiento de ganadería bovina (AP3) se halló una concentración de 44 mg/L (siendo el límite de 45 mg/L). Dos muestras provenientes de perforaciones particulares cercanas a la costa del Río de la Plata (PI1 y MDG) presentaron concentraciones en exceso de cloruro y dureza (expresada como ppm de CaCO₃). Se entregaron informes de los resultados a todas las personas contactadas, incluyendo recomendaciones en los casos en que las muestras resultaron no aptas para consumo. Durante el mes de julio de 2023 se realizará un segundo mues-

treo en los mismos puntos de recolección a fin de estudiar variaciones estacionales, así como evaluar si se produjeron cambios a partir de la aplicación de las recomendaciones realizadas.

El análisis integrado de la información generada revela coincidencias y divergencias entre las respuestas brindadas en las entrevistas y los resultados del análisis de calidad. Las principales coincidencias se dieron con relación a propiedades organolépticas, tales como el sabor a cloro y el gusto salado, que influyen en su aceptabilidad para consumo. Las diferencias con mayores valores de coocurrencia estuvieron vinculadas a las siguientes cualidades:

-Aptitud microbiológica. La mayor parte de las muestras no aptas para consumo fueron calificadas como “buenas” y “ricas”.
 -Contenido de hierro. En todos los casos este elemento se encontró por debajo del límite del CAA. Sin embargo, en varias entrevistas se hizo mención a la “formación de depósitos negros en cañerías” y a la “coloración de alimentos durante el hervor”. Se deberá continuar investigando para hallar una explicación alternativa para estas observaciones.

-Presencia de partículas en suspensión. En las muestras en las cuales se mencionó la presencia de “basuras”, “arenilla” o “partículas”, el contenido de sólidos suspendidos se encontró por debajo del límite de cuantificación.

Conclusiones

Se identificaron divergencias entre los valores de determinados parámetros de calidad de agua, medidos en diferentes fuentes disponibles dentro del territorio del Parque Costero del Sur, y las percepciones que tienen las personas que consumen y/o proveen dichas fuentes. Esto resulta un punto de partida para el diseño de políticas públicas vinculadas a la difusión de información y la participación ciudadana, enfocadas en las necesidades particulares de cada grupo social. Se considera que proyectos interdisciplinarios como el presente contribuyen a fortalecer la cooperación hídrica al incorporar la visión local, a menudo desconocida por los organismos de gestión, e indispensable para la implementación de planes de manejo efectivos.

Referencias bibliográficas

- APHA.** (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition*
- Cellone, F.** (2019). *Evaluación de los recursos hídricos en un sector de la planicie costera del Río de La Plata*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73330>
- Código Alimentario Argentino [CAA].** (2021). *Capítulo XII- Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*. Ley N° 18284. Actualizada por Resolución Conjunta SCS y SAByDR N° 22/2021
- Glustein, J. y Stampella, P.** (2021). “Los cambios en la cantidad y calidad de agua en el partido de Punta Indio: un abordaje interdisciplinario focalizado en problemáticas territoriales”. XIV Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. <https://cdsa.aacademica.org/000-074/253>
- Kruse, E. y Ainchil, J.** (2011). “El agua en la llanura bonaerense”. *Rev. Univ. Nac. La Plata*, 36, 109-122.
- Martínez, G., Beccaglia, J. y Llinares, A.** (2014). “Problemática hídrico-sanitaria, percepción local y calidad de fuentes de agua en una comunidad toba (Qom) del Impenetrable (Chaco, Argentina)”. *Salud Colectiva* 10 (2): 225 -242.
- Melo, M.** (2019). *Geohidrología de la planicie costera del Río de la Plata medio, partido de Magdalena*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73324>
- Pugliese, I.** (2018). *Evaluación del contenido de nitratos en agua subterránea en áreas rurales asociadas a tambos*. [Tesis Final de Licenciatura, Universidad Nacional de La Plata]. http://naturalis.fcnyu.unlp.edu.ar/repositorio/ docres/tfl_pugliese.pdf

COMUNICACIÓN PÚBLICA DESDE EL OBSERVATORIO HIDRO-METEOROLÓGICO DE CÓRDOBA (OHMC)

Guillermo V. Goldes, Andrés Rodríguez, Edgardo Pierobon, Carina Vargas

Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba, Argentina

Ituzaingó 1300, Parque de las Tejas, ciudad de Córdoba

Contacto: 351-152158567

Correo electrónico: ggoldes@unc.edu.ar

Introducción

El Observatorio Hidro-Meteorológico de Córdoba (OHMC) es un organismo que integra aportes tanto del Estado Provincial como de la Universidad Nacional de Córdoba y de muchos otros actores institucionales públicos y privados con competencias en cuestiones hidrológicas y meteorológicas.

Nació en 2017, en el marco de la celebración del Día Nacional de Agua. Desde sus inicios, su rol principal fue el de proveer información detallada y específica a sectores de la producción y de la administración para permitirles cumplir sus funciones de manera más apropiada.

Sin embargo, muy pronto incorporó un área que se ocupa de la comunicación a nivel de público general de las tareas de investigación y servicio que en él se realizan. Dichas tareas de comunicación/difusión/divulgación científica se llevan a cabo mediante diferentes estrategias, medios y canales.

En este trabajo se detallan las principales líneas de acción del OHMC en materia de comunicación pública, que tienden tanto a dar a conocer la labor cotidiana del Observatorio, posicionar al OHMC como un actor relevante de la sociedad cordobesa en materia hidrometeorológica, es decir como un referente local en esta temática, capaz de brindar servicios muy especializados para clientes puntuales pero también de generar información de consumo masivo, así como también de realizar una tarea de comunicación y esclarecimiento de conceptos básicos del relacionados al *agua*.

Resumen de Líneas de Trabajo

Las principales estrategias de actividad del área de comunicaciones del OHMC se resumen a continuación:

1. La comunicación pública cotidiana tiene lugar a través de redes sociales. Se publican pronósticos meteorológicos para 10 diferentes regiones de la provincia de Córdoba a través de la red Twitter, la noche anterior al día al cual se refieren esos pronósticos. En la figura 1 se observa un ejemplo. Dicha dinámica se repite de lunes a viernes, es decir, publicando los pronósticos las noches de domingo a jueves.

Observatorio Hidro-meteorológico de Cór... @HidroCord... · 22 jun. ...
Compartimos el pronóstico meteorológico detallado elaborado por @HidroCordoba para el viernes 23 de junio. Sigue el tiempo fresco y húmedo, con neblinas matinales. Vientos suaves del Nor-Este. Sin lluvias.

Pronóstico para el día: viernes 23 de junio de 2023										
	Córdoba	Villa María	Alto Correo	San Francisco	Villa Carlos	Villa María	Labrida	V. de los Ríos del Sur	San	Elío del Sur
Condiciones esperadas	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado
Temperatura máxima/mínima	7 °C / 19 °C	6 °C / 17 °C	6 °C / 17 °C	10 °C / 20 °C	6 °C / 16 °C	6 °C / 16 °C	5 °C / 17 °C	5 °C / 16 °C	6 °C / 16 °C	6 °C / 16 °C
Humedad	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
El viento proviene del	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Vientos (km/h)	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8
Ráfagas (km/h)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Probabilidad de lluvia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figura 1.- Publicación en Twitter de pronóstico meteorológico diario para 10 regiones diferentes de la provincia de Córdoba.

Asimismo, se publica en forma cotidiana en Twitter el Índice de Peligro de Incendios (FWI), en formato de mapa, tal como se observa en la figura 2. Dicho índice es elaborado para ser enviado, el día anterior al pronosticado, a la Secretaría de Gestión de Riesgo Climático, Catástrofes y Protección Civil de la Provincia.

Observatorio Hidro-meteorológico de Cór... @HidroCord... · 22 jun.
Compartimos el Índice de Peligro de Incendios elaborado por @HidroCordoba para el viernes 23 de junio.

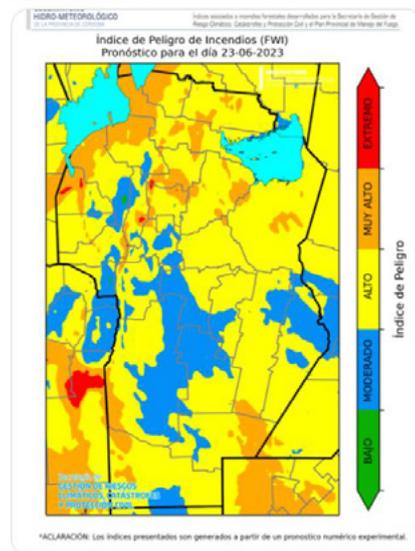


Figura 2.- Publicación en Twitter del Índice de Peligro de Incendios

Además de dichas publicaciones basadas en pronósticos, el OHMC realiza otro tipo de publicaciones en Twitter, a saber:

- mensajes de tipo didáctico, en los que se explican en pocas palabras temas generales de meteorología e hidrología. Se emiten bajo el lema *el OHMC te cuenta*.
- mensajes específicos de prevención ante eventos hidro-meteorológicos severos.
- mensajes de carácter institucional, que promueven eventos, informan sobre acciones, etc.
- mensajes informativos sobre la participación del OHMC en medios de comunicación o que comparten el contenido de los mismos.

Asimismo, el OHMC mantiene una página de Facebook, una cuenta de Instagram, y un canal de YouTube. En este trabajo se resumen las principales características de las publicaciones en dichas redes.

2. Semanalmente, los días viernes, se emite un pronóstico meteorológico para el viernes, sábado y domingo mediante un micro radial grabado, en la radio FM 102.3 MHz del multimedio de la Universidad Nacional de Córdoba. Asimismo, esos micros se suben a la nube y permanecen accesibles, por ejemplo, para ser compartidos en redes sociales. Se mantiene asimismo contacto fluido con diferentes medios televisivos, radiales y gráficos de la ciudad de Córdoba a los fines de proporcionar información detallada.

3. Se mantiene la sección de noticias del sitio web del OHMC: ohmc.ar

4. Se organizan ciclos de charlas virtuales de divulgación meteorológica, hidrológica, ambiental y de temas afines. Dichos ciclos se desarrollan bajo el título: *Entre el Agua y el Aire*, y la participación en los mismos es libre y gratuita. Esos ciclos cuentan con el apoyo de las secretarías de extensión de las facultades de la UNC que participan del OHMC. Un ejemplo del material de difusión de una de las charlas realizadas en 2022 se incluye como figura 3.



Figura 3.- Afiche de difusión charla virtual del OHMC

5. Se asesora a los miembros del OHMC en materia comunicacional ante los variados requerimientos que se reciben al respecto.

6. Se responden consultas puntuales que se reciben por correo electrónico, provenientes de particulares y de instituciones.

Se presenta, en este trabajo, una descripción resumida de todas las diferentes actividades desarrolladas.

PROYECTO DE MUSEO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA

Guillermo V. Goldes y Andrés Rodríguez

Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba, Argentina

Ituzaingó 1300, Parque de las Tejas, ciudad de Córdoba

Contacto: 351-152158567

Correo electrónico: ggoldes@unc.edu.ar

Introducción

Desde el Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba (OHMC) se está desarrollando un proyecto denominado: Espacio H₂O – Museo del Agua.

La idea-fuerza del mismo se relaciona con el diseño y construcción de un espacio de divulgación científica centrado en los diferentes aspectos relacionados con el agua: su rol para la vida, su distribución geográfica a nivel mundial, nacional y local, sus principales características físicas y químicas, las buenas prácticas para su obtención, conservación, almacenamiento, utilización y tratamiento posterior, entre otros. Esos aspectos se abordarían en forma transversal y desde una aproximación ligada a la comunicación pública de la ciencia, que muestre las múltiples relaciones causales entre los diferentes fenómenos y procesos descritos. Técnicamente, la facilidad respondería a la tipología de un *Centro de Interpretación*, es decir un espacio de características esencialmente expositivas, sin objetos de valor patrimonial intrínseco, de características inmersivas y en el cual se brindarían claves interpretativas en diferentes registros, sobre la compleja problemática del agua.

Debe destacarse que a nivel local no existe en la actualidad ninguna facilidad de este tipo. El Espacio H₂O - Museo del Agua se piensa como una instalación abierta al público general, con posibilidades de ser visitada por contingentes de educandos de todos los niveles, así como por turistas. Se integraría por tanto a la oferta de centros de turismo científico que se desarrolla en la provincia de Córdoba.

En este trabajo se detallan los principales lineamientos de este proyecto que se encuentra en plena fase de concepción, como parte de las acciones destinadas al gran público que el Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba lleva adelante.

Principales Líneas del Proyecto

El Espacio H₂O – Museo del Agua estaría ubicado en un edificio de nueva planta, en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Córdoba. Dicha edificación sería la sede del Polo del Agua, un espacio inter-institucional que compartirían diferentes organismos, académicos y de servicios, con competencias en aspectos variados relacionados con la investigación, la administración, la gestión y el cuidado del agua.

En la planta baja del Polo del Agua, se ubicaría un auditorio y el Espacio H₂O - Museo del Agua.

El Museo estaría contenido en un recinto cerrado, sin más aberturas al exterior que el ingreso, el egreso y las ventilaciones, sin ingreso de luz del exterior a fin de poder controlar la iluminación en el interior, que sería un factor esencial en la exposición permanente de este espacio. La planta de ese recinto será rectangular y tendría 160 m² de superficie.

Ese único recinto tendrá divisiones interiores que permitirían un recorrido ordenado y planificado, con sentido único de circulación.

El interior del recinto, de altura 3,5 m, será de color celeste en sus paredes y techo. Ese color se logrará con efecto de pintura e iluminación adecuada. El piso será de cemento peinado de color natural. Sin embargo, en el piso se representará un curso de agua con meandros, que marcará el sentido propuesto de la visita. Se considera importante mantener el sentido de la visita, por cuanto la misma estará jalonada de claves y contenidos interpretativos que deberían ser leídos en orden secuencial.

La iluminación general de la sala tendrá un nivel bajo, que creará junto al color celeste de las paredes una atmósfera intimista. Las zonas en las cuales haya escritos para lectura serán iluminadas con pequeños spots localizados

Espacios Expositivos y Contenidos

En cuanto a espacios expositivos, estarán segmentados en cuatro sectores. La sala general, cuyo hilo conductor estará materializado mediante la representación de un curso de agua en el piso, y tres *burbujas de proyección*, espacios en los cuales se proyectarán materiales multimediales sobre tres temas específicos relacionados con el agua. Esas burbujas se encontrarán adosadas a las paredes del espacio central, como sectores diferenciados. En las burbujas ingresarán y egresarán en forma libre los visitantes para visualizar videos cortos. Cada una de las burbujas representa esquemáticamente uno de los átomos que componen la molécula de agua. El listado de espacios expositivos sería entonces el siguiente:

1. Espacio general. El sentido de ingreso, circulación y egreso sería único en este sector del Museo del Agua: de izquierda a derecha, es decir, sentido horario o de lectura, a fin de que el relato principal, ploteado en panelería, tenga sentido definido de lectura. En cuanto a estructura expositiva, este espacio general se visitará siguiendo el curso de agua representado en el piso, vinculando diferentes estaciones o paradas. Ese curso de agua será flanqueado por un falso muro de durlock o similar, de 1,5 m de altura, sobre el cual se plotearán los contenidos. Detrás de ese falso muro habrá un espacio de guardado, sin acceso al público.

El relato principal del espacio general será lineal. Las principales estaciones de ese recorrido serán:

- A. Qué es el agua, propiedades químicas, físicas. Estados y circulación general del agua.
- B. Distribución global del agua en el planeta.
- C. Mares, lagos, lagunas y cursos de agua
- D. Circulación del agua en los mares: corrientes marinas, causas y consecuencias.

E. El ciclo del agua en detalle

F. Las mareas

G. Contaminación del agua. Causas, consecuencias, posibilidades de remediación

H. Diferentes perspectivas acerca de la problemática del agua. El agua en diferentes culturas. Relación del ser humano con el agua.

H. Cuidado del agua.

2. Primera burbuja H1. Contiene un cañón multimedia, una pantalla de proyección, banquetas, y un sistema de audio independiente. La temática de los videos que se proyectan en esa burbuja tiene que ver con el *agua en el planeta*. Hará hincapié en la escasez del recurso. El exterior de la burbuja estará ploteado con imágenes y contenidos relacionados, que se leerán desde el exterior, es decir, desde el espacio general.

3. Burbuja mayor O

Contiene un cañón multimedia, una pantalla de proyección, banquetas, y un sistema de audio independiente. La temática de los videos que se proyectan en esa burbuja tiene que ver con el *agua en la Argentina*. Hará hincapié en la desigualdad de su distribución, tanto geográfica como estacional. El exterior de la burbuja estará ploteado con imágenes y contenidos relacionados, que se leerán desde el exterior, es decir, desde el espacio general.

4. Tercera burbuja H2

Contiene un cañón multimedia, una pantalla de proyección y un sistema de audio independiente. La temática de los videos que se proyectan en esa burbuja tiene que ver con el *agua en Córdoba*. Hará hincapié en la posición de Córdoba como región de transición, en los límites de la zona semiárida. El exterior de la burbuja estará ploteado con imágenes y contenidos relacionados, que se leerán desde el exterior, es decir, desde el espacio general. En este caso, se representarán los principales cursos y espejos de agua de la provincia.

Discusión

El Espacio H₂O - Museo del Agua se encuentra en etapa de planificación. Su concreción depende, en primer lugar, de la instalación del Polo del Agua. El avance del proyecto involucra una etapa de consultas con diferentes actores acerca de las mejores formas de desarrollar, en detalle, los diferentes bloques de contenido. En caso de llevarse a cabo, será un espacio temático de comunicación e interpretación de características únicas en el centro del País por su visión integradora.

NEXO ENTRE EL AGUA, LA ENERGÍA, LOS ALIMENTOS Y EL TERRITORIO EN EL VALLE DE TULUM, SAN JUAN: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA

Goti Ayala, Ana Ayelén¹; Andrieu, Jimena²; Roco, Lisandro³

1. Becaria doctoral INTA-CONICET y docente en UNSJ. Calle 11 y Vidart S/N, Pocito, San Juan, Argentina. Cel: 2616370409.
2. Investigadora en INTA EEA San Juan y docente en UNSJ. Calle 11 y Vidart S/N, Pocito, San Juan, Argentina. Cel: 2914290356.
3. Instituto de Economía Agraria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Cel: +56984405323.

E-mail: goti.ayelen@inta.gob.ar, andrieu.jimena@inta.gob.ar, lisandro.roco@uach.cl

Instrucciones Generales

En la región agrícola del Valle de Tulum (VdT), la interrelación entre el agua, la energía, los alimentos y el territorio desempeña un papel fundamental en el desarrollo y sostenibilidad del sistema agroalimentario. La compleja interacción entre estos elementos claves, plantea desafíos y oportunidades significativos para la seguridad alimentaria y el manejo sostenible de los recursos. En la actualidad, San Juan está atravesando una crisis hídrica significativa lo que impulsa a replantear las formas de gestión de los recursos de uso común en el territorio. Particularmente el sector agrícola, al consumir alrededor del 70% del agua disponible para producir, tiene un gran impacto no solo en la cantidad de agua que utiliza, sino que también es un sector que tiene un peso importante en la economía regional.

El presente documento es parte de un trabajo más amplio el cual tiene como objetivo analizar y comprender la interrelación entre el agua, la energía, los alimentos y el territorio en la región agrícola del VdT. Mediante el análisis de las Unidades Productivas (UP) encuestadas y sus prácticas agrícolas, se busca identificar patrones y desafíos clave asociados con esta interconexión, con el fin de evaluar su impacto en la sostenibilidad y seguridad alimentaria de la región. Como así también se analizarán los desafíos y restricciones en la adopción de estas formas de producción, lo que permitirá identificar posibles barreras y áreas de mejoras.

En este estudio se presenta la síntesis de los resultados preliminares del trabajo de campo en relación al Nexo y el territorio, teniendo como base la información recopilada a través de encuestas realizadas a productores agrícolas que tienen en sus fincas paneles solares (PS) los cuales los utilizan para producir.

Materiales y Métodos

La metodología de este trabajo fue la realización de una encuesta separada en nueve etapas, de las cuales se analizará algunos datos relacionadas con el terreno, la producción, el agua, los sistemas de riego y la energía. Se contactaron a 19 productores que tienen en sus fincas energías renovables con el fin de producir alimentos, en donde la fuente energética son PS. Los mismos fueron ubicados a través de método de bola de nieve por medio de productores, empresas de instalación de energías renovables y de referentes del territorio.

No obstante, este estudio presenta como limitante el número de encuestados, aunque estos representan a la mayoría de los productores que utilizan PS para la producción de alimentos en la región agrícola del VdT.

Resultados

Las UP encuestadas están distribuidas en ocho de los trece departamentos del VdT, concentrándose el 63% del total en Pocito (32%) y 9 de Julio y Caucete (16%). En cuanto a la cantidad de superficie cultivada el 32% corresponde a San

Martin, el 19% a 9 de Julio y Caucete con el 14%. Esto implica que en la región donde se encuentran la mayor cantidad de UP con PS están abarcando menos hectáreas cultivadas, alrededor del 44% del total. En relación con la proporción entre la superficie total y la cultivada, se observa una notable diferencia en el tamaño de las hectáreas. El 84% de la superficie total se concentra en un rango de 10ha a 200ha y el 86% de la superficie cultivada entre 0ha a 50ha. Además, al analizar la vinculación de estos terrenos se puede ver que el 49% de la superficie relevada se destina a la producción de alimentos, lo que indica que se utiliza menos de la mitad del territorio para cultivos. Uno de los factores que influyen en este comportamiento es que casi el 90% de los encuestados declaran enfrentar problemas relacionados al agua, principalmente en cuanto a cantidad y frecuencia. Se identifica que la vid representa el 75% de la cantidad de superficie plantada y en Pocito, que es el departamento donde se concentra la mayor parte de los PS instalados la producción que predomina son las hortalizas con el 38%.

En cuanto al acceso al agua, el 68% de los encuestados informan obtenerla a través de turnos de riego, gestionados por el Departamento de Hidráulica (DH), y de pozos para compensar la falta de agua los cuales han tenido que ser reactivados o profundizados. Cuentan, además, que el turno de riego no es suficiente debido a varias razones: ha disminuido la cantidad de entrega, se han reducido las horas de riego, han aumentado los intervalos entre los turnos y se han aplicado restricciones durante períodos de menor demanda de agua.

Según el sistema de riego, el 58% de las UP emplea riego por goteo, mientras que el 26% utiliza un sistema de riego mixto (presurizado y tradicional). Es relevante señalar que en los departamentos donde se ha instalado la mayor cantidad de PS, el sistema de riego predominante es el de goteo. A su vez, la planificación del riego depende del acceso al agua y al sistema de regadío. La mayoría de las producciones se riegan todos los días, pero no implica que sea en toda la superficie, sino que se riega por sectores. En particular, los que se encuentran al final de la cola de los canales plantean tener complicaciones con la llegada del agua, incluso en muchos casos no les llega (Andrieu y Rodríguez Savall, 2019). En promedio, cada UP utiliza alrededor de 2 bombas, dependiendo de la extensión de tierra cultivada, el acceso al agua, el uso de almacenamiento y sistemas de riego. Casi el 80% de las UP utiliza una combinación de energía solar y convencional para alimentar las bombas. No obstante, hasta el momento, ninguna UP ha logrado independizarse por completo de la red energética convencional.

En relación a la energía, se observa que todas las UP cuentan con instalación de red convencional y, en los últimos años, han incorporado PS para producir. A pesar de esto el 74% de las UP comparten el medidor para uso domiciliario, industrial y comercial. En cuanto a los PS, se evidencia que la cantidad instalada no guarda proporción con las hectáreas cultivadas, lo que muestra que su implementación no es una limitante. Sin embargo, algunos productores han encontrado restricciones debido a los costos de adquisición del sistema, ya que varios de

ellos manifiestan no poder instalar más PS debido a la falta de fondos. Además, no se pueden almacenarla debido al alto costo de las baterías y su impacto ambiental poco favorable, y la inyección a la red está en proceso de desarrollo, ya que los productores han enfrentado trabas administrativas para formalizar el trámite. Con respecto a la financiación de los PS el 41% del capital proviene de recursos propios, de los cuales el 33% incluye un aporte adicional de préstamos estatales reembolsables y subsidios gubernamentales. Es relevante mencionar que el 70% de las fuentes de financiamiento adicionales provienen de entes estatales, mientras que el 30% restante proviene de bancos privados, algunos de los cuales ofrecen tasas subsidiadas.

Finalmente, por el lado de lo territorial, se puede ver que la entrega de agua se hace cada 5 días en promedio en las zonas más cercanas al sector urbano, extendiéndose en las zonas más alejadas, no solamente en cuanto a cantidad de agua sino también en frecuencia.

Discusión

Se está estudiando una nueva perspectiva en base del agua, la energía y los alimentos con un enfoque integral, conocido bajo el concepto de Nexo, que muestra una interrelación y dependencia de estos tres elementos a la hora de ser gestionados y se plantea que las políticas y acciones pueden ser eficientes en sus rendimientos si se optimiza los subsistemas de manera conjunta (Smajgl, Ward y Pluschke, 2015). En este marco, la planificación y gestión de los componentes del Nexo, aporta a mejorar la satisfacción de la demanda socioeconómicas del presente como las futuras en pos de mejorar los indicadores del Desarrollo Sostenible (Zhang y Vesselinov, 2017). Por otro lado, hay autores como Ringler, Bhaduri y Lawford (2014) que proponen incorporar a este enfoque el componente tierra, ya que este elemento está muy relacionado con la producción de alimentos, generación de energía y como reserva de agua. Bajo este contexto, el análisis de los resultados muestra que existe una interdependencia entre los elementos del Nexo y el territorio, presentando una serie de determinaciones significativas que resalta la importancia de tener en cuenta esta conexión en la planificación y gestión del territorio.

El departamento con mayor superficie cultivada no es el mismo donde se encuentran la mayoría de UP con PS. Este dato sugiere que, a pesar de la presencia de energías renovables, hay una porción significativa de tierra que no se está utilizando para la producción. En cuanto a la proporción entre la superficie total y cultivada, los resultados muestran una marcada diferencia en el tamaño de las hectáreas utilizadas. Esto indica que existe un uso limitado del territorio para cultivos resaltando la necesidad de explorar estrategias planteadas para aumentar la productividad y la eficiencia en el uso de la tierra. Uno de los factores más significativos es la falta de acceso y disponibilidad de agua. Resaltando la importancia de abordar la gestión sostenible del recurso hídrico para mejorar la productividad agrícola.

La problemática del acceso al agua se destaca como un desafío importante en el valle. Los resultados indican que las UP obtuvieron el suministro a través de turnos de riego y pozos. Sin embargo, las dificultades de disponibilidad y entrega de agua son evidentes, lo que lleva a los productores a enfrentar restricciones en el riego. Esta situación se agrava por la disminución de la cantidad y frecuencia de entrega. Esta combinación de fuentes de agua resalta la importancia de promover prácticas de uso eficiente y sostenible del recurso hídrico, especialmente en un contexto donde la escasez de agua es una preocupación creciente.

En relación a la implementación de los PS y prácticas de uso eficiente se muestra como una posible solución para reducir los problemas relacionados con el acceso al agua y el uso de energía en las UP. Se destaca que su cantidad instalada no guarda una

proporción directa con las hectáreas cultivadas. Si bien su implementación no parece ser una limitante para la expansión de la superficie plantada, los altos costos de adquisición de los sistemas energéticos se han identificado como una restricción. Los resultados sugieren que las políticas de apoyo y financiamiento para la adopción de PS juegan un papel fundamental en la promoción de prácticas más sostenibles y eficientes en el uso de energía en el sector agrícola lo que sugiere la necesidad de políticas y programas de apoyo para promover la adopción de este tipo de fuentes energéticas. Se observa una asociación entre la implementación de tecnologías fotovoltaicas y el uso eficiente del agua en la agricultura al vincularlo con los sistemas de riego por goteo.

Finalmente, desde lo territorial se observan diferencias de entregas de agua entre el centro-urbano y la periferia lo que muestra que su gestión no se está vinculando con un ordenamiento del territorio, ya que la provincia tiene un enfoque departamental (Malmod, Tonelli, Deiana, 2014). Esto genera políticas y decisiones en los elementos del Nexo de manera independiente, lo que sugiere la necesidad de una planificación integrada que considere estas dimensiones de manera conjunta.

Conclusiones

Este trabajo ha abordado la interrelación entre Nexo y el territorio en la región agrícola del VdT, con el objetivo de analizar su impacto en el desarrollo sostenible del sistema agroalimentario y la seguridad alimentaria en la zona. Se ha identificado que la crisis hídrica en San Juan representa un desafío significativo para la gestión de los recursos de uso común en el territorio, especialmente en el sector agrícola. Esta situación destaca la importancia de una gestión más eficiente de los recursos y la adopción de prácticas sostenibles para mejorar la resiliencia del sector agrícola en la región.

Como conclusiones se puede ver que las UP ante las problemáticas principalmente relacionadas con los aumentos de los costos energéticos y la falta de agua para riego, han variado su estructura productiva incluyendo sistemas de riego por goteo y la instalación de PS. Se identifica que para realizar estas adaptaciones el Estado juega un papel importante para poder llevar a cabo estos cambios. El estudio ha evidenciado que la implementación de estas prácticas puede contribuir a mitigar los problemas relacionados con el acceso al agua, el uso de energía y la producción de alimentos. Aunque se han identificado desafíos y restricciones, los resultados sugieren que existe un esfuerzo significativo por parte de los diferentes actores para adoptar tecnologías solares, sistemas de riego y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Esto muestra una conciencia creciente sobre la importancia de la sostenibilidad energética y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles en el sector agrícola.

Finalmente, se espera que este estudio contribuya a promover una gestión más eficiente de los recursos de uso común y una mayor resiliencia del sector agrícola en el VdT. Bajo este contexto, es importante incluir estos nuevos enfoques en las políticas públicas con una perspectiva más integrada del agua, la energía, la tierra y los alimentos, y también incluir la perspectiva de los diferentes actores sociales ya que puede contribuir al bienestar de la comunidad y al uso eficiente de los recursos.

Referencia

Andrieu, J. y Rodriguez Savall, M.F (2019). "Tensiones por el gobierno del agua: el caso de Colonia Fiscal Norte-Cuyo, Argentina". MILLCAYAC - Revista Digital de Ciencias Sociales / Vol. VI / N° 10 / marzo - agosto 2019. ISSN: 2362-616x. (pp. 245-260). SIPUC. FCPyS. UNCuyo. Mendoza.

Malmod, A., Tonelli, I. y Deiana, S. (Septiembre, 2014). "Crecimiento urbano periférico. Planificación y mercado de suelo en la ciudad de San Juan, Argentina". Trabajo presentado en XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente (UPE 11) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU - UNLP), La Plata, Argentina.

PROPUESTA DE FORMACIÓN POR COMPETENCIAS PARA EL ÁREA HIDRÁULICA

Patricia Infante, Sara Rodríguez, José Flores, Alejandra Punta, Facundo Correas, Walter Barchiesi y Mariana Troncoso

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Área Hidráulica. Centro Universitario (M5502), Ciudad de Mendoza, Provincia de Mendoza, República Argentina

patricia.infante@ingenieria.uncuyo.edu.ar, sara.rodriguez@ingenieria.uncuyo.edu.ar, jose.flores@ingenieria.uncuyo.edu.ar, alejandra.punta@ingenieria.uncuyo.edu.ar, facundo.correas@ingenieria.uncuyo.edu.ar, wjbarchiesi@gmail.com, mariana.troncoso@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Introducción

En el año 2018 se aprobaron los alcances del título y las actividades profesionales reservadas exclusivamente al título de Ingeniero/a Civil (Ministerio de Educación de la Nación, 2018), y en el año 2021 se sumaron los contenidos curriculares básicos, carga horaria mínima, criterios de intensidad de la formación práctica y actividades profesionales reservadas al título para la carrera de Ingeniería Civil (Ministerio de Educación de la Nación, 2021), estos últimos son los denominados estándares de segunda generación. Por último, el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, mediante Resolución 357/2021, avala la propuesta preliminar del Perfil de Egreso y los Alcances de las Titulaciones de grado, con estándares de segunda generación, para las carreras de Ingeniería en Petróleos, Industrial, Civil y Mecatrónica, los que indican el rumbo en el trabajo a desarrollar para el rediseño curricular bajo un Modelo de Formación por Competencias (FPC) y Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE).

El propósito de este trabajo es contribuir al proceso institucional de migración del diseño curricular hacia un Modelo de FPC y ACE, específicamente desarrollando una propuesta para implementar en el Área Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, con la participación de los equipos docentes de los diferentes espacios curriculares que la integran, consistente en el estudio, análisis y revisión de sus prácticas docentes y propuestas de modificación con el fin de cumplir con los nuevos estándares.

Espacios Curriculares del Área Hidráulica, Actividades Reservadas y Competencias Específicas de Egreso para el título de Ingeniero Civil

Las áreas tienen como finalidad la agrupación de espacios curriculares que poseen gran afinidad disciplinar, en la Tabla 1 se indican las características de los espacios incluidos en el Área Hidráulica, objeto de este estudio (Facultad de Ingeniería, 2021).

Tabla 1.- Espacios Curriculares del Área Hidráulica

Espacio Curricular	Característica	Espacio Curricular	Característica
Hidráulica General	Obligatorio	Hidrología II	Optativo
Hidrología I	Obligatorio	Obras Hidráulicas II	Optativo
Obras Hidráulicas I	Obligatorio	Aprovechamientos Hidráulicos	Optativo
Ingeniería Sanitaria	Obligatorio	Hidráulica Experimental	Optativo

De los cuatro espacios curriculares obligatorios, los dos primeros se ubican en el Bloque de las Tecnologías Básicas, mientras que los dos restantes en el Bloque de las Tecnologías Aplicadas, al igual que la totalidad de los espacios curriculares optativos.

Teniendo en cuenta las actividades profesionales reservadas al

título de Ingeniero Civil (Ministerio de Educación de la Nación, 2018), denominadas AR en la matriz, las competencias específicas, denominadas CE en la matriz, y los descriptores de conocimiento (CONFEDI, 2018 y Ministerio de Educación de la Nación, 2021) se ha elaborado la Matriz de Tributación de los espacios curriculares correspondientes al Área Hidráulica. En la misma, Tablas 2 y 3, se ha valorado cualitativamente el aporte o tributación de cada espacio curricular a las AR y a las CE, indicando con A el aporte alto a la competencia, con M el aporte moderado, con B el aporte bajo y con N cuando no hay aporte.

Tabla 2.- Matriz de Tributación del Área Hidráulica

Espacio Curricular	AR1			AR2
	CE 1.1	CE 1.2	CE 1.3	CE 2.1
Hidráulica General	M	N	M	N
Hidrología I	M	M	M	N
Obras Hidráulicas I	A	A	A	A
Ingeniería Sanitaria	A	A	A	A
Hidrología II	M	M	M	N
Obras Hidráulicas II	A	A	A	A
Aprovechamientos Hidráulicos	A	A	A	A
Hidráulica Experimental	M	N	M	N

Tabla 3.- Matriz de Tributación del Área Hidráulica

Espacio Curricular	AR3		AR4	AR5
	CE 3.1	CE 3.2	CE 4.1	CE 5.1
Hidráulica General	N	N	N	N
Hidrología I	N	N	N	N
Obras Hidráulicas I	N	N	B	M
Ingeniería Sanitaria	N	N	A	M
Hidrología II	N	N	N	N
Obras Hidráulicas II	N	N	M	A
Aprovechamientos Hidráulicos	N	N	M	A
Hidráulica Experimental	N	N	N	N

Las actividades reservadas AR son las siguientes:

AR1: Diseñar, calcular y proyectar estructuras, edificios, obras; a) civiles y puentes, y sus obras complementarias e instalaciones concernientes al ámbito de su competencia; b) de regulación, almacenamiento, captación, conducción y distribución de sólidos, líquidos y gases, riego, desagüe y drenaje, de corrección y regulación fluvial y marítima, de saneamiento urbano y rural, estructuras geotécnicas, obras viales, ferroviarias, portuarias y aeroportuarias.

AR2: Proyectar, dirigir y controlar la construcción, rehabilitación, demolición y mantenimiento de las obras arriba indicadas

AR3: Dirigir y certificar estudios geotécnicos para la fundación

de obras civiles

AR4: Proyectar y dirigir lo concerniente a la higiene y seguridad en las actividades mencionadas

AR5: Certificar el funcionamiento y/o condición de uso o estado de lo mencionado anteriormente

Las competencias específicas CE son las siguientes:

CE 1.1: Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras civiles y de arquitectura, obras complementarias, de infraestructura, transporte y urbanismo, con aplicación de la legislación vigente

CE 1.2: Medir, calcular y representar planialtimétricamente el terreno y las obras construidas y a construirse con sus implicancias legales

CE 1.3: Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras e instalaciones para el almacenamiento, captación, tratamiento, conducción y distribución de sólidos, líquidos y gases, incluidos sus residuos

CE 2.1: Dirigir y controlar la construcción, rehabilitación, demolición y mantenimiento de las obras arriba indicadas

CE 3.1: Dirigir, realizar y certificar estudios geotécnicos para las obras indicadas anteriormente, incluidas sus fundaciones

CE 3.2: Caracterizar el suelo y las rocas para su uso en las obras indicadas anteriormente

CE 4.1: Proyectar, dirigir y evaluar lo referido a la higiene y seguridad y a la gestión ambiental en lo concerniente a su actividad profesional

CE 5.1: Certificar el funcionamiento y/o condición de uso o estado de lo mencionado anteriormente

Propuesta de actividades a realizar

El modelo de FPC y ACE se basa en tres pilares: la Formulación de Competencias, la Mediación Pedagógica y el Sistema de Evaluación de Competencias. El primero ya está definido por la normativa y fue analizado en el título anterior, mientras que el segundo corresponde a la propuesta que el equipo docente diseña para cumplir con el modelo y desarrollar competencias en los estudiantes.

Teniendo en cuenta los niveles de aporte a las competencias específicas valorados en la matriz de tributación, se han identificado principalmente dos niveles de dominio, el primero asociado a los espacios curriculares del Bloque de las Tecnologías Básicas, y el segundo a los espacios curriculares del Bloque de las Tecnologías Aplicadas.

Para el Bloque de las Tecnologías Básicas se propone desarrollar actividades prácticas de resolución de casos y problemas de ingeniería en el campo de la hidráulica, bajo condiciones especificadas previamente. De modo que el estudiante identifique, comprenda, aplique conceptos y metodologías, analice y evalúe resultados en problemas integradores de temáticas sujetos a condiciones de borde especificadas. También se incluye trabajo experimental de laboratorio, con el desarrollo de experiencias controladas y la medición de las diferentes magnitudes predominantes, y visitas de campo para el reconocimiento in situ del comportamiento del agua en las obras hidráulicas.

Para el Bloque de las Tecnologías Aplicadas se propone plantear el desarrollo de actividades destinadas a identificar y formular un problema para generar alternativas de solución, aplicando los métodos aprendidos y utilizando los conocimientos, técnicas, herramientas e instrumentos de las ciencias y tecnologías básicas. Por lo que no existen condiciones previamente especificadas,

sino que el estudiante debe evaluar y tomar decisiones fundamentadas respecto de la definición de determinadas condiciones para el diseño.

También se incluye dentro del segundo nivel de dominio concebir, diseñar, calcular y analizar soluciones a problemas específicos mediante trabajos con estructura de proyecto con pautas marcadas, aplicando técnicas y herramientas de la ingeniería, analizando las diferentes etapas de un proyecto de ingeniería (diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono). Identificando y definiendo las actividades y los medios necesarios para la construcción considerando las condiciones de operación y mantenimiento.

Simultáneamente al avance del grado de definición del proyecto se debe también avanzar en la consideración de aspectos técnicos relacionados con la higiene, la seguridad, la contaminación en los ambientes de trabajo y la preservación del ambiente.

Todas estas consideraciones se completan con visitas de campo a obras hidráulicas durante su etapa de construcción y funcionamiento, con el fin de visibilizar bajo condiciones reales las diferentes acciones a realizar in situ.

En ambos casos se plantea que el estudiante desarrolle trabajo presencial en el aula y en el laboratorio, y que la dedicación no presencial esté destinada al estudio previo del material que los equipos docentes deben preparar en cada caso para el cumplimiento de las actividades planificadas.

Finalmente, y con el objeto de completar el tercer pilar del Modelo de FPC y ACE, se debe desarrollar un sistema de evaluación de competencias. Para lo cual se pueden utilizar rúbricas de evaluación con el fin de certificar el desempeño del estudiante, las que requieren definir criterios de evaluación y niveles de dominio o indicadores de logro.

Referencias Bibliográficas

Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería ASIBEI (2016). *Competencias y Perfil del Ingeniero Iberoamericano, Formación de Profesores y Desarrollo Tecnológico e Innovación (Documentos Plan Estratégico ASIBEI)*. Editor ASIBEI, ISBN: 978-958-99255-8-4, Bogotá, Colombia.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería CONFEDI (2017). *Marco conceptual y definición de estándares de acreditación de las carreras de ingeniería – Libro Oro Verde*. CONFEDI, www.confedi.org.ar, República Argentina.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería CONFEDI (2018). *Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina - Libro Rojo de CONFEDI*. Editores: Roberto Giordano Lerena, Sandra Cirimelo www.confedi.org.ar © CONFEDI, República Argentina.

Kowalski, Morano, Erck, Cirimelo & Enríquez (2019). *Serie Materiales de Apoyo para el Curso de Posgrado: Formación por Competencias, Aprendizaje Centrado en el Estudiante y Estándares de Acreditación de Segunda Generación para Ingeniería*. Editor Víctor Andrés Kowalski, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, República Argentina.

Ministerio de Educación de la Nación (2018). *Resolución ME N° 1254/2018*. República Argentina.

Ministerio de Educación de la Nación (2021). *Resolución ME N° 1549/2021*. República Argentina.

Universidad Nacional de Cuyo (2003). *Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil – Ordenanza N° 03/2003-CS*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, <https://ingenieria.uncuyo.edu.ar/upload/ocs00032003.pdf>, República Argentina.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo (2021). *Ordenanza N° 6/2021-CD: Áreas disciplinares y al agrupamiento de espacios curriculares*. Facultad de Ingeniería, UNCUYO, <https://digesto.ingenieria.uncuyo.edu.ar/view/inline/regulation/file/10996>, República Argentina.

PRESENTACIÓN DE LA LICENCIATURA EN HIDROMETEOROLOGÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Ricardo Ingaramo^{2,4,5}, Eldo Avila^{1,3}, Nesvit Castellano¹, Andrés Rodríguez^{2,4,5}, Magalí Perez Carro², Rodrigo Bruni², Daniel Fridlender¹

¹ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (UNC)

² Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC)

³ Laboratorio de Física de la Atmósfera, Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (UNC)

⁴ Laboratorio de Hidrometeorología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC)

⁵ Observatorio Hidro-Meteorológico de Córdoba

República Argentina

E-mail: ringaramo@unc.edu.ar

Introducción

La formación de Recursos Humanos en Hidrometeorología se viene desarrollando en la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) desde el año 2016 a través de distintas acciones de capacitación. Posteriormente, en el año 2019 la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYN) comenzaron a trabajar en la propuesta de una Licenciatura en Hidrometeorología, cuya creación se materializa en el año 2022. El objetivo de esta oferta académica es atender un área de vacancia muy importante para el centro del país, en una temática muy relevante desde el punto de vista técnico, que tiene un fuerte impacto tanto social como económico. Por este motivo, desde las dos unidades académicas de la UNC que presentan numerosos antecedentes en distintos aspectos de esta área del conocimiento, se aunaron esfuerzos para poder llevar adelante la iniciativa.

Antecedentes

La Meteorología y la Hidrología están íntimamente relacionadas en lo que se conoce como Hidrometeorología, puesto que ambas especialidades analizan el ciclo del agua y su impacto en la superficie de la tierra. Ya en 1961 las Naciones Unidas abordaban en forma pionera el análisis de estas dos disciplinas en forma integrada, como se ilustra en el Documento Actividades de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el Desarrollo de la Hidrometeorología en América Latina (México, DF, 31/07/61, Cons. Ec. y Soc. Doc.: ST/ECLA/CONF.7/L. 3.10).

Las dos disciplinas son de relevancia para nuestro país ya que la mayoría de las actividades económicas que se desarrollan en su territorio dependen en gran medida de la evolución del ciclo hidrológico. La disponibilidad del recurso agua junto con el suelo son fundamentales para la producción agropecuaria, mientras que en lo relativo a seguridad ciudadana, un alto porcentaje de los desastres naturales están relacionados con la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, como vientos, lluvias, sequías e inundaciones.

Argentina tiene numerosos organismos relacionados con la temática, principalmente el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional del Agua (INA), y otros como el Servicio de Hidrografía Naval, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), los centros regionales del CONICET, los Institutos, Centros y Laboratorios de las Universidades Nacionales, el Sistema Nacional de Información Hídrica, el Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo, el Sistema Nacional de Radares Meteorológicos, la Dirección Nacional de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, las Defensas o Protección Civil provinciales, etc., encargados de brindar información y/o dar las alertas hidrometeorológicas en el país, para mitigar los desastres naturales asociados a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos severos.

Estas instituciones, para el desarrollo de sus actividades se nutren de profesionales formados mayoritariamente en universidades argentinas (e.g. ingenieros, físicos, meteorólogos, matemáticos, licenciados en especialidades afines). Debido a los avances científicos y tecnológicos, así como la especificidad del área, surge la necesidad de formar recursos humanos con una sólida base académica, donde se conjuguen los conocimientos apropiados de meteorología, hidrología, física, química, matemática, sensado remoto y sistemas de alerta, para consolidar el área específica de Hidrometeorología.

En particular, en la Provincia de Córdoba, dada la importancia del impacto socio-económico que acarrear los fenómenos hidrometeorológicos en su territorio, con el fin de llevar a cabo estudios dentro de esa área que apunten a integrar los sistemas de monitoreo y contribuir a mejorar los pronósticos hidrometeorológicos, desde el Ministerio de Servicios Públicos se creó el primer Observatorio de Monitoreo Hidro-Meteorológico del país (OHMC, <https://ohmc.ar/>). La UNC, conjuntamente con el INA, el SMN, la CONAE, el INTA, etc. han sido cofundadoras de dicho Observatorio y han contribuido a su consolidación, aportando entre otros sus recursos humanos. Durante la IV Reunión del Consejo del OHMC, realizada en la Ciudad de Córdoba el 19/09/2019, la Directora del SMN planteó la necesidad de contar con recursos humanos en hidrometeorología, área de vacancia no solo en la provincia sino en todo el país. En respuesta a lo planteado, las máximas autoridades de la FAMAF y de la FCEfYN presentes en dicha reunión se comprometieron en aunar esfuerzos para satisfacer la demanda mencionada. Acompañó dicha postura la Presidencia del INA y demás miembros del Consejo del OHMC.

Por otra parte cabe mencionar que la propuesta se enmarca dentro de las necesidades descriptas en el documento Áreas de Vacancia, Vinculación y Pertinencia y Planificación del Sistema Universitario, Secretaría Ejecutiva de los Consejos Regionales de Planificación de la Educación Superior (CPRES). En particular, para el CPRES Centro se definen las siguientes áreas de vacancia en las que encuadra esta carrera: “Campo de formación: Preservación de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Subcampo de formación: Recursos Renovables. Nivel: Pregrado y Grado”. Cabe recalcar que, dicha vacancia se registra para los CPRES Metropolitano, Noroeste y Sur.

A su vez, el perfil de egreso está alineado con la Agenda 2030, la cual ha definido 17 objetivos del desarrollo sostenible con 169 metas, que fueron aprobadas por 193 estados miembros de las Naciones Unidas.

A nivel nacional existen antecedentes de carreras de meteorología y de hidrología, pero no específicamente de hidrometeorología. A nivel internacional en cambio sí se pueden encontrar numerosas referencias de carreras de grado y postgrado afines, que fueron tenidas en cuenta para la formulación de esta nueva Carrera. Por su parte, la Universidad Nacional de Córdoba cuenta con una amplia oferta de postgrado en temas relacionados con el área de incumbencia de la

Licenciatura. Particularmente la FAMAf ofrece postgrados en Física de la Atmósfera y Sensado Remoto, mientras que la FCEfYn tiene implementados diversos postgrados en Recursos Hídricos, Ambiente, Energías, etc.

Objetivos de la Carrera

La Licenciatura en Hidrometeorología formará profesionales altamente calificados, con una capacitación metodológica sólida que les permita, entre otros:

- Desarrollar actividades profesionales e investigaciones en su área de especialidad.
- Aportar ideas originales en las ciencias de la atmósfera, hidrología, meteorología espacial e interacción suelo-mar-atmósfera, entre otros temas de incumbencia.

La formación recibida a lo largo de su carrera permitirá al egresado un abordaje transdisciplinario de la problemática hidrometeorológica, que debe articular en forma eficiente las componentes hidrológica, meteorológica, de gestión de los recursos hídricos y de seguimiento de la variabilidad y cambio climático. Se prevén los siguientes alcances para el Título profesional:

- Participar y coordinar proyectos transdisciplinarios que requieran de capacidad de análisis y el rigor que aporta la visión integral de las Ciencias de la Atmósfera, la Meteorología y la Hidrología.
- Participar en equipos de trabajo que procesan y analizan información hidrometeorológica, especialmente en grandes volúmenes.
- Diseñar simulaciones de fenómenos naturales relacionados con la hidrometeorología que contribuyan a predecir sus resultados.
- Crear y aplicar herramientas numéricas para la resolución de problemas de naturaleza compleja que pueden trascender áreas del conocimiento.
- Modelar y resolver problemas en hidrometeorología, especialmente aquellos provenientes de investigaciones transdisciplinarias.

Estructura de la Carrera

La duración prevista para la Licenciatura en Hidrometeorología es de 5 años, divididos en 10 semestres, con una carga horaria de 3052 horas (247,5 RTF). Incluye un Trabajo Especial orientado a encarar un problema real y aplicado. El Programa de la Carrera contempla las siguientes áreas curriculares o formativas: Matemática, Física, Química, Análisis de datos, Física de la Atmósfera, Hidrología, Meteorología, Hidrometeorología, Instrumental y Laboratorio, Sensores Remotos, Materias Optativas y Trabajo Especial. El enfoque metodológico adoptado en las asignaturas de la carrera es con clases teórico-prácticas y estrategias acordes al aprendizaje centrado en el estudiante.

Implementación

La Carrera fue aprobada mediante Resolución HCD-2022-00277143 de la FCEfYn, Resolución HCD 2022-186 de FAMAf, Resolución HCS-2022-722 de la UNC y Resolución 2022-2595-APN-ME del Ministerio de Educación de la Nación. Su inicio está previsto para el primer semestre del año 2024. Para informes: hidrometeo@fcefyn.unc.edu.ar

Finalmente, cabe destacar que también se encuentra en desarrollo el proyecto de creación de una Tecnicatura en Hidrometeorología de tres años de duración.

Referencias

- Collier, Christopher G.** (2016): *Hydrometeorology*. University of Leeds, UK.
- Bruce, J. P. and Clark** (1980) *Introduction to Hydrometeorology*. Canadá. Pergamon Press.
- Ahrens, D.** (2002) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment*. Brooks Cole.
- Barros, V.** (2004) *El cambio climático global*. Buenos Aires. Libros del Zorzal.
- Barry, R. and Chorley, R.** (1998) *Atmosphere, Weather and Climate*. 7th Ed. Routledge.
- Camilloni, I. y Vera, C.** (2006) *El aire y el agua en nuestro planeta*. Eudeba.
- Reynolds Ross.** (2005) *Guide to Weather. A practical guide to observing, measuring and understanding the weather*. Firefly books.
- Sellers, A. and Robinson, P.** (1996) *Contemporary Climatology*. Longman.
- Wallace, J. & Hobbs, P.** (2006) *Atmospheric Science. An Introductory Survey*. Acad. Press.
- John H. Seinfeld and Spyros N. Pandis** (2016) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 3rd Edition. Wiley.
- Áreas de vacancia, vinculación y pertinencia y planificación del sistema universitario, 2018.** Secretaría Ejecutiva CPRES, ISBN 978-950-00-1209-6, 2018.
- Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, OMS, 2019.**
- Ley 24.521: Ley de Educación Superior.**
- Ordenanza 04-HCS-2016.** Universidad Nacional de Córdoba.
- Resolución HCS-731-2019:** Pautas para estructurar un plan de estudios en modalidad presencial o a distancia.

Universidad Nacional de Córdoba FAMAf – FCEfYn Lic. en Hidrometeorología - Plan de Estudios

Ingreso		Curso de Nivelación
Primer Año	Primer Semestre	Análisis Matemático I
		Introducción a la Atmósfera
		Química General
	Segundo Semestre	Análisis Matemático II
		Instrumental y Prácticas de Laboratorio I
		Física I
Segundo Año	Tercer Semestre	Algebra Lineal
		Física II
		Probabilidad y Estadística
		Hidrometeorología I
	Cuarto Semestre	Análisis Matemático III
		Física III
		Inglés
		Mecánica de Fluidos
		Métodos Numéricos
		Tercer Año
Termodinámica de la Atmósfera		
Informática		
Sexto Semestre	Dinámica de la Atmósfera I	
	Análisis de Series Temporales	
	Hidrometeorología II	
Cuarto Año	Séptimo Semestre	Instrumental y Prácticas de Laboratorio II
		Introducción al Sensado Remoto
		Modelos Hidrológicos
	Octavo Semestre	Sistemas de Alerta Hidrometeorológicos
		Meteorología Sinóptica
		Sensores Remotos y SIG
Quinto Año	Noveno Semestre	Química de la Atmósfera
		Climatología
		Modelado Numérico de Procesos Hidrometeorológicos
	Décimo Semestre	Variabilidad y Cambio Climático
		Dinámica de la Atmósfera II
	Asignatura Optativa I	
	Asignatura Optativa II	
	Trabajo Final	

ACCESO AL AGUA PARA USOS MÚLTIPLES EN LA AGRICULTURA FAMILIAR RELEVAMIENTO Y EVALUACIÓN PARA LA MEJORA EN LA TOMA DE DECISIONES

Verónica Lamas¹, Roger Alejandro Benitez², Luz Vallejos³, Andres G. Nakab⁴, Mabel E. Amarilla⁵, Joaquín A. Córdoba⁶

1 Estación Experimental Agropecuaria INTA Cerro Azul, Misiones Argentina

2 Agencia de Extensión Rural INTA Córdoba, Argentina

3 Oficina de Información Técnica INTA, Río Bermejito, Chaco Argentina

4 Dirección Nacional Asistente de Transferencia y Extensión INTA. Argentina.

5 Estación Experimental Agropecuaria INTA El Colorado, Formosa Argentina

6 Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región Patagonia (CIPAF-INTA), Argentina
E-mail: lamas.veronica@inta.gob.ar

Acceso al agua en Argentina.

El acceso al agua segura para usos múltiples en áreas rurales es una problemática recurrente en la República Argentina. De acuerdo a los datos del CENSO INDEC 2010 existen más de 1.800.000 habitantes rurales que no acceden al agua potable. Esta situación se profundiza en contextos de población dispersa, comunidades rurales y familias campesinas e indígenas que se encuentran fuera del área de cobertura de los prestadores de servicio de agua y saneamiento.

El acceso al agua para la Agricultura Familiar Campesina Indígena (AFCI) viene siendo una temática abordada desde distintos niveles, tanto públicos como privados, desde mediados de la década del 2000. Institucionalmente, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) reconoce el valor social del agua y asume el compromiso de trabajar de forma integrada con otras entidades y organizaciones, en el desarrollo, validación e implementación de tecnologías para el acceso al agua segura.

En 2011, se llevó adelante el proyecto Manejo Integral del Agua para la Agricultura Familiar y los Productores de Áreas de Secano. En 2014, el Proyecto Específico Manejo y Gestión Integral del Agua con Fines Múltiples en Secano desplegó diversas actividades, como parte del Programa Nacional Agua del INTA.

Año tras año, el INTA ha incorporado en su agenda esta problemática, lo cual se vio reflejado en programas institucionales tales como Minifundio, Pro Huerta y Proyectos Nacionales. Asimismo, se han efectuado acciones conjuntas con diversas instituciones y programas para su abordaje (PROINDER, SAFCI, Pequeñas Donaciones, Municipalidades, entre otros).

El INTA y su rol en el acceso al agua para la Agricultura Familiar Campesina indígena.

La vida en la ruralidad muchas veces depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua. Parte del trabajo cotidiano que se desarrolla en el INTA está orientado a encontrar soluciones técnicas, tecnológicas y socio organizativas ante esta limitante mediante el desarrollo de tecnologías apropiadas para cada región, con sus particularidades en cuanto al acceso, la escasez y la falta de infraestructura.

Desde el Proyecto Estructural Nacional “Acceso, uso, re-uso y manejo del agua con fines múltiples” del INTA (2019-2022) se abordaron estas y otras temáticas, como la caracterización de los recursos hídricos a niveles local y/o regional; la gestión,

innovación y desarrollo de tecnologías de aprovechamiento sustentable del agua con fines múltiples con participación de los actores territoriales y en relación a distintas actividades agropecuarias; la adaptación al cambio climático con una perspectiva de género; el fortalecimiento de procesos organizativos; el relevamiento y evaluación de la infraestructura hídrica, entre otras.

Como punto de partida para generar el presente trabajo, se detectó que entre 2015 y 2019 más de 17.451 familias que accedieron a mejoras en sus derechos de acceso al agua segura en el marco los Proyectos Especiales del programa Pro Huerta. Es por ello que desde el Proyecto Estructural se establecieron criterios para la evaluación de las tecnologías e infraestructuras hídricas instaladas por el INTA y otras instituciones, que facilitan el acceso al agua en la AFCI como insumo para el diseño de nuevas políticas públicas sectoriales.

Propuestas metodológicas para la evaluación para proyectos de acceso al agua.

Durante el año 2021, en plena Pandemia Covid 19, el Equipo de Gestión del Proyecto Estructural Nacional “Acceso, uso, re-uso y manejo del agua con fines múltiples” organizó el 1° TALLER NACIONAL VIRTUAL sobre “Acceso al agua para usos múltiples en la Agricultura Familiar – Relevamiento y evaluación para la mejora en la toma de decisiones (Benitez et. al., 2023)”.

El objetivo de este espacio se centró en generar instancias de intercambio de conocimientos e información sobre la situación de acceso, uso, re-uso y manejo de agua para fines múltiples en las distintas regiones en las que se organiza el proyecto estructural y definir pautas comunes para la evaluación de usos, tecnologías e infraestructuras hídricas para la agricultura familiar campesina indígena.

También se propuso: 1. Relevar los antecedentes de trabajo de los distintos equipos por macro- regiones e identificar las principales tecnologías de acceso al agua y saneamiento a evaluar, 2. Seleccionar tecnologías e infraestructuras a evaluar por macro- región, 3. Definir criterios generales para relevar y evaluar las condiciones de acceso, uso, re-uso y manejo de agua para fines múltiples, 4. Definir criterios generales para relevar y evaluar tecnologías e infraestructuras hídricas para la agricultura familiar, 5. Crear insumos para el trabajo de relevamiento: cronograma de trabajo, recortes temporales, territoriales y unidad de análisis, métodos de recolección de datos, criterios de análisis, etc.

Durante la primera jornada del Taller, referentes de las cinco macro regiones del país realizaron una presentación

describiendo distintos aspectos relacionados a la geografía, clima, producciones predominantes, aspectos político institucionales, dificultades para el acceso al agua por parte de la Agricultura Familiar Campesina Indígena, principales tecnologías de acceso al agua aplicadas en la región y los actores participantes de los procesos de acceso al agua. Las presentaciones se realizaron a partir de las experiencias de los distintos grupos de trabajo de cada región y tuvieron como objetivo seleccionar las tecnologías de acceso al agua utilizadas en el ejercicio de construcción de indicadores. La información brindada por los referentes de cada macro región fue sistematizada en cinco infografías (Figura 1).

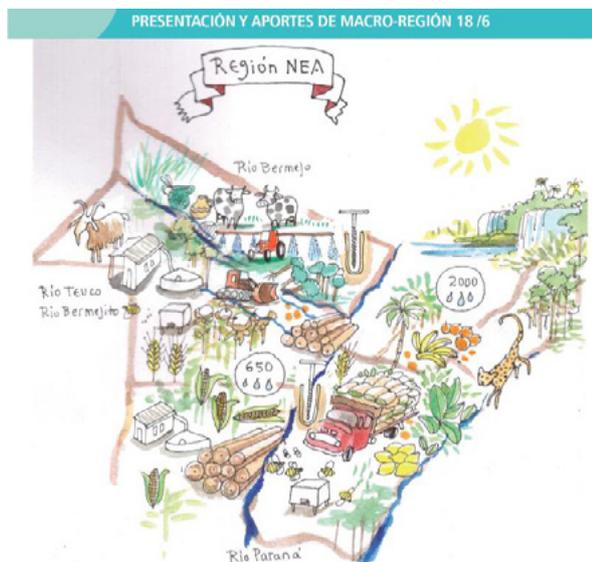


Figura 1.- Infografía de la región NEA.

En todas las instancias del Taller, como parte del intercambio democrático a nivel territorial y transdisciplinar en cuanto a las competencias profesionales de los participantes, se consideró la evaluación como un proceso de valoración participativo de aprendizaje en el ciclo de Planificación, Seguimiento y Evaluación de Proyectos de Desarrollo. Para ello, se utilizó como marco conceptual y metodología de lógica causal la “teoría del cambio” para la construcción de las variables e indicadores (Di Filippo, M, 2008) para el relevamiento y la evaluación de las tecnologías e infraestructuras hídricas en la agricultura familiar.

Es así que se llegaron a identificar cuatro sistemas de acceso al agua más significativos para la Agricultura Familiar: acumulación de agua que ingresa al hogar, acumulación de agua para usos productivos, captación de vertientes y conducción y finalmente, perforaciones. También se definieron diferentes dimensiones de análisis: 1. el hogar, el hábitat y el espacio físico, 2. aspectos socio-organizativos, comunitarios e institucionales, 3. la tecnología, 4. aspectos económicos/productivos; y se propusieron variables e indicadores de evaluación.

A partir de estas actividades y productos iniciales, se construyeron participativamente indicadores de evaluación para las principales tecnologías de acceso al agua para la Agricultura Familiar Campesina Indígena, confeccionando para cada caso una matriz definiendo variables e indicadores para cada etapa en la secuencia *Productos-Resultados-Impactos*.

Tecnología	Etapa productos	Etapa resultados	Etapa impactos
 <p>Captación de vertientes y conducción</p>	<p>PREGUNTA: ¿Cómo y quiénes realizaron el diseño de la propuesta?</p> <p>VARIABLE: Participación en la instalación del sistema de agua.</p> <p>INDICADOR: Cantidad de hombres que participaron en la construcción del sistema de agua.</p> <p>INDICADOR: Cantidad total de beneficiarios que participaron en la construcción del sistema de agua.</p>	<p>PREGUNTA: ¿Qué dificultades encuentran en la operación, uso y mantenimiento de la tecnología aplicada?</p> <p>VARIABLE: Complejidad de la tecnología para su operación, uso y mantenimiento.</p> <p>INDICADOR: Grado de complejidad de la tecnología para su operación, uso y mantenimiento.</p> <p>VARIABLE: Facilidad de adquisición de insumos.</p> <p>INDICADOR: Grado de Facilidad de adquisición de insumos (Alto, Medio, Bajo).</p>	<p>PREGUNTA: ¿Diversificaron sus actividades productivas y reproductivas como consecuencia de mejor y mayor disponibilidad de agua?</p> <p>VARIABLE: Diversificación de actividades productivas.</p> <p>INDICADOR: Cantidad de nuevos cultivos en producción en la comunidad.</p> <p>INDICADOR: Cantidad de nuevos emprendimientos pecuarios en la comunidad.</p>
	<p>PREGUNTA: ¿Es la tecnología adecuada al contexto y necesidades, en relación a, dinámicas productivas, disponibilidad de tiempo, saberes disponibles, los géneros, edades y culturas?</p> <p>VARIABLE: Adecuación / Adaptación de la tecnología empleada a las características de la comunidad.</p> <p>INDICADOR: Grado de adecuación/adaptación (Alto, Medio, Bajo) de la tecnología empleada a las características de la</p>	<p>PREGUNTA: ¿Qué mejoras en su calidad de vida y en sus actividades productivas adquirieron con la implementación de la tecnología?</p> <p>VARIABLE: Producción de las familias beneficiadas con el proyecto.</p> <p>INDICADOR: Superficie de huerta (m2) después de la implementación de la tecnología de agua.</p> <p>INDICADOR: Cantidad de plantas frutales después de la imple-</p>	<p>PREGUNTA: ¿Se observan iniciativas similares? ¿Se impulsó el desarrollo de esta tecnología en la zona?</p> <p>VARIABLE: Iniciativas de proyectos similares en la comunidad.</p> <p>INDICADOR: Cantidad de iniciativas de proyectos similares en la comunidad.</p>

Figura 2.- Ejemplo de indicadores de evaluación para la tecnología de Captación de vertientes y conducción.

Consideraciones finales

A lo largo de esta experiencia de intercambio y sistematización de saberes y prácticas en territorio, se reflejó el enorme trabajo que viene impulsando el INTA y sus trabajadores en torno al abordaje de la problemática del acceso al agua en la agricultura familiar campesina indígena. La representación de todas las provincias y la diversidad de situaciones que fueron surgiendo son un claro ejemplo de su compromiso.

La selección de las diferentes tecnologías y la construcción participativa, desde distintas realidades geográficas, de la matriz de variables e indicadores en torno al acceso al agua constituyen aportes significativos en dos planos de las políticas públicas: 1. Como insumos básicos para la elaboración de nuevas propuestas de trabajo ajustadas a las particularidades territoriales del país, 2. Como contribución metodológica e instrumental para la evaluación de otras propuestas, proyectos y programas.

Así mismo, todo lo vivenciado en los encuentros nos permitió seguir analizando y adecuando recomendaciones para los próximos desarrollos e innovaciones en relación a temáticas centrales como calidad del agua, mejora de la producción y la calidad de vida, procesos de gestión y la incorporación transversal de perspectivas ambientales y de géneros.

Consideramos que lo aprendido y sistematizado es una herramienta para implementar otras evaluaciones en los territorios, así como para establecer nuevos contactos y redes junto a referentes de todo el país.

Referencias

Benitez, R., Córdoba, J. y Vallejos, L. (2023) “1º TALLER NACIONAL VIRTUAL “Acceso al agua para usos múltiples en la Agricultura Familiar – Relevamiento y evaluación para la mejora en la toma de decisiones”. Informe técnico. INTA.

Di Filippo, M. y Mathey, M. (2008) “Los indicadores sociales en la formulación de proyectos de desarrollo con enfoque territorial: documento de trabajo Número 2. 1a ed. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Programa Nacional de Apoyo al Desarrollo de los Territorios.

RELACIÓN ENTRE LOS ODS 6 Y 3: SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y MICROORGANISMOS OPORTUNISTAS DE TRANSMISIÓN AÉREA.

Liliana Silvina Lösch¹, Héctor Marcelo Marín¹, Juan Leandro Pellegrini¹; Luis Antonio Merino¹

1. Área de Bacteriología, Instituto de Medicina Regional, Universidad Nacional del Nordeste. Avenida Las Heras 727, Resistencia, Chaco, Argentina.

Correo de contacto: silvinalosch@gmail.com

Introducción

Los microorganismos oportunistas son reconocidos por organismos internacionales de salud como los principales responsables de brotes de infecciones de origen hídrico relacionados a sistemas de distribución y almacenamiento de agua tratada (Huang,2021). Entre estos oportunistas se encuentra *Legionella*, único género de la familia *Legionellaceae* conformado por 58 especies. Sin embargo la legionelosis es causada principalmente por la especie *L. pneumophila*, cuyo ingreso al ser humano es por vía inhalatoria y su mayor concentración se encuentra en el agua tratada (Kruse, 2015). La legionelosis puede tener tres presentaciones clínicas distintas: enfermedad del legionario, la fiebre de Pontiac y la legionelosis extrapulmonar (Alonso,2023). En los países donde hace varios años se instauró la vigilancia epidemiológica y la denuncia obligatoria de legionelosis se reporta un incremento anual del 5% de casos (CDC, 2021; ECDC 2018). En Argentina en los términos de la Ley 15465 y la Resolución 2827/22 la legionelosis constituye un evento de notificación obligatoria al Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud a partir del año 2022 (Alonso, 2023).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3, salud y bienestar, y 6, agua potable y saneamiento, se encuentran relacionados y *Legionella* spp y los cuadros clínicos de legionelosis son un ejemplo de ello. Esta relación se sustenta a partir de la meta 6.1 que refiere al acceso universal al agua potable en tanto que la 3.9 a reducir el número de muertes y enfermedades producidas por la contaminación del agua (ONU, 2015). A su vez, los estándares nacionales de calidad de agua destinada al consumo humano no consideran a este grupo de gérmenes oportunistas cuya vía de ingreso al ser humano es la inhalatoria y no la digestiva (CAA, 2021; OMS, 2022).

El objetivo del trabajo fue evaluar la presencia *Legionella pneumophila* y la combinación de técnicas para su detección en depósitos domiciliarios de agua potable.

Materiales y métodos

La detección de *Legionella* en muestras de agua procedentes de los depósitos domiciliarios de agua potable de la ciudad de Resistencia, Chaco, se realizó por cultivo siguiendo la norma ISO 11731:2017. De esta manera en cada vivienda se seleccionó el grifo conectado directamente al tanque de almacenamiento que no hubiera sido utilizado durante las 12-24 horas previas al muestreo. El volumen de muestra para el estudio fue de un litro el cual se concentró por filtración, usando membranas de 0,45µm. Alícuotas de 0,5 ml se sembraron en el medio selectivo BCYE con cisteína. Paralelamente, otra alícuota de 0,5 ml se sometió a tratamiento térmico (50°C durante 30 minutos) y se sembró en el mismo medio. Se utilizó como control positivo una muestra de agua inoculada con la cepa *Legionella pneumophila* subsp. *pneumophila* (American Type Culture Collection, ATCC® 33152TM). Las placas se incubaron durante 7 días a 36°C. En aquellos casos en los que se

evidenció desarrollo bacteriano, se seleccionaron colonias características que fueron subcultivadas a 36°C durante 2 días, en agar BCYE con y sin cisteína. Se definió como muestra positiva aquella en la cual se recuperaron cepas que en el subcultivo desarrollaron en el agar BCYE con cisteína y no desarrollaron en el medio sin cisteína, las que se identificaron como *Legionella* spp. acorde a la normativa internacional. La confirmación de género y especie de los aislamientos identificados como *Legionella* spp, se realizó por un ensayo de qPCR con colorante intercalante. Las secuencias diana utilizadas para la identificación de *Legionella* correspondieron a fragmentos conservados del gen *23S rRNA*, para confirmación del género, y del gen *mip* específico para la especie *pneumophila* (Nazarian, 2008).

Resultados

De las 50 muestras de agua de depósitos domiciliarios analizadas, 17 fueron positivas para *L. pneumophila* (17/50; 34%). Además, 3 muestras (3/50; 6%) también fueron positivas para otras especies del género *Legionella*.

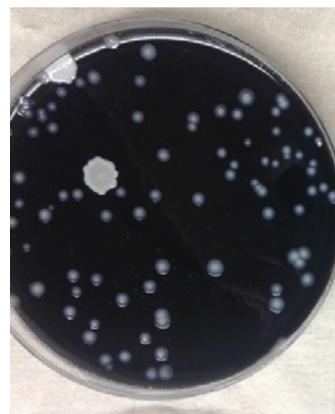


Figura N°1.- desarrollo de *Legionella* spp en medio selectivo.

Conclusión

Los resultados del trabajo demuestran la presencia de este microorganismo oportunista en los sistemas de almacenamiento del agua tratada. Si bien la presencia de *Legionella* spp es condición necesaria pero no suficiente para el desarrollo de la enfermedad estos hallazgos deben alertar a los profesionales de la salud sobre el riesgo potencial existente. Al mismo tiempo se debe transmitir a la comunidad la importancia de limpiar y desinfectar los tanques domiciliarios como mínimo dos veces al año para disminuir la carga bacteriana en los hogares. Nuestros resultados también demuestran la viabilidad de la combinación de las técnicas para la vigilancia de este germen y ponen en evidencia la necesidad implementar normativa complementaria a la existente para la vigilancia de estos microorganismos oportunistas considerados mundialmente como patógenos emergentes.

Palabras claves: depósitos domiciliarios, agua tratada, microorganismos oportunistas.

Referencias bibliográficas

Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Código Alimentario Argentino. (2021). *Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat-caa-capitulo-xii-aguas-actualiz-2021-08.pdf>.

Alonso L; Landreau F; Pagano I; Cipolla L; Prieto M; et. al. (2023). LEGIONELOSIS: Recomendaciones para la prevención, vigilancia epidemiológica y control de casos y brotes. Ministerio de Salud de la Nación. Disponible en: <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/legionelosis-recomendaciones-para-la-prevencion-vigilanciaepidemiologicay-control-de>

Centro para el Control y la prevención de Enfermedades (CDC). 2021. *Legionella* (enfermedad del legionario y fiebre de Pontiac). Disponible en: <https://www.cdc.gov/legionella/about/history-sp.html>

European Centre for Disease Prevention and Control. European Centre for Disease Prevention and Control. Legionnaires' disease. (2020). In ECDC. *Annual epidemiological report for 2018*. Stockholm: ECDC; 2020.

Huang J.; Chen S.; Ma X. (2021). *Opportunistic pathogens and their health risk in four full-scale drinking water treatment and distribution systems*. Ecological Engineering 160 106134.

International Organization for Standardization. *Water Quality Detection and Enumeration of Legionella*. ISO 11731:2017.

Kruse E B, Wehner A, Wisplinghoff H. (2015) Prevalence and distribution of *Legionella* spp in potable water systems in Germany, risk factors associated with contamination, and effectiveness of thermal disinfection. *Am J Infect Control*. 2015;44(4):470–4

Nazarian E J; Bopp D J; Saylor A; et. al. (2008). *Design and Implementation of a Protocol for the Detection of Legionella in Clinical and Environmental Samples*. *Diagn Microbiol Infect Dis*. 2008;62:125-132.

Organización de las Naciones Unidas. (2015) *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

A DIEZ AÑOS DE AGUA DE ESPERANZA. PROYECTO UNIVERSITARIO COOPERATIVO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN UNA COMUNIDAD PILAGÁ DE FORMOSA

Adriana Machuca¹, Eduardo Alvarez¹, Gabriela Rusek² y Sofía Della Villa²

Afiliación de los autores: 1.Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, 2.SIGBAS, País de los autores: Argentina, Venezuela
E-mail: agms8@hotmail.com, grusek@fiuba.com, ealvare@fiuba.com

Introducción

El proyecto Agua de Esperanza surgió de una necesidad estudiantil de utilizar los conocimientos de Ingeniería para dar solución a problemáticas hídricas en zonas remotas. No habiendo en el año 2013, ofertas de Trabajo Profesional en FIUBA con un enfoque socioambiental y/o territorial, la iniciativa de la «ONG SOS Aborígenes» de acercarse en coincidencia al Departamento de Mecánica solicitando cooperación, permitió articular la propuesta de estudiar soluciones para la provisión de agua con calidad de consumo a los habitantes de la comunidad Pilagá La Esperanza, en la Provincia de Formosa.

Durante la primera visita de reconocimiento se realizó un relevamiento detallado de la población donde se constató que contaban con un abastecimiento de agua, muy limitado, proveniente de una laguna artificial que no cumplía con los límites de calidad exigidos, al estar contaminada con material biológico y que tampoco garantizaba la dotación necesaria. Por otra parte, la red de agua potable más cercana se encontraba a más de 170 km de distancia.

En su momento, “El programa conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y Saneamiento”, recomendaba como acceso básico un mínimo de 20 litros por día, por persona, de una fuente a menos de 1km de distancia o 30 min. de trayecto ida y vuelta, por lo que definimos esta condición como objetivo mínimo. Actualmente la OMS, redirige el foco de acceso al agua segura, exhortando a los estados y organizaciones a garantizar el acceso desde una perspectiva de derechos humanos, enfocado en los hábitos y necesidades de las sociedades contemporáneas.

Desarrollo

El alcance de la propuesta inicial como Trabajo Profesional se enfocaba únicamente en el análisis de factibilidad técnico económica, elaboración de planos detalle y presupuestos de los diversos diseños. La difusión y acompañamiento de la Secretaría de Extensión Universitaria (hoy Secretaría de Inclusión, Género, Bienestar y Articulación Social, SIGBAS) sumado al trabajo de profesores titulares, el altísimo número de voluntarios inscriptos y del equipo No Docentes, permitió que el proyecto fuera seleccionado para la asignación de fondos de la convocatoria «UBANEX», posibilitando de esta manera, proyectar también su real implementación.

Estudiantes y docentes, UBA, ITBA y UTN de distintas Facultades, se organizaron en distintos grupos de trabajo interdisciplinarios que, articulando con los líderes de la comunidad, el Diacono Posta Salazar, INTA, Gendarmería Nacional y el Laboratorio de Recursos Hídricos de Formosa, entre otros actores, cubrieron todos los aspectos del proyecto.

En paralelo, se interconsulta al Departamento de Recursos Naturales de la Universidad de Formosa, personal de Excavaciones Repsol, al Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento de Formosa y el Instituto Nacional del Agua.

A partir de los estudios y consultas realizados, se descarta inicialmente el agua subterránea como fuente de aprovisionamiento. Esto se debe a la alta profundidad de la napa y la calidad insuficiente para consumo, requiriendo mayores

inversiones para tratamientos adicionales, además de excavaciones exploratorias. Se descartaron también las aguas superficiales debido a la significativa distancia a la comunidad, por lo que finalmente se definió trabajar sobre la cosecha de agua de lluvia.

A través de la Unidad Provincial Coordinadora del Agua de la Provincia de Formosa se obtuvieron más de 30 años de registros de los 4 pluviómetros más próximos, que fueron interpolados mediante Polígonos de Thiessen, para trazar un hidrograma estimado para la ubicación de La Esperanza.

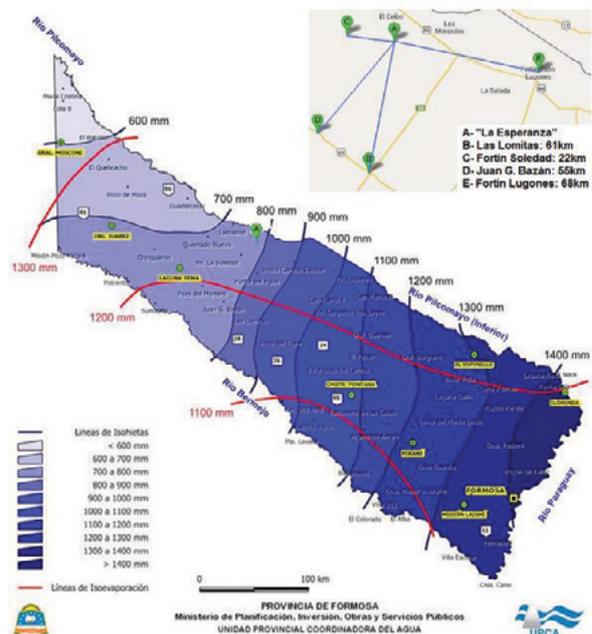


Figura 1.- Ubicación representativa de La Esperanza - Pluviómetros.

Para analizar en detalle las probabilidades de las lluvias, se parte de la función asimétrica de Gumbel del Máximo, trazando su función de distribución con desvío estándar y media provenientes del ajuste del mencionado hidrograma estimado. Esto permite definir como valor de lluvia anual de diseño a 450 mm para la cual la probabilidad de ocurrencia durante el transcurso de 1 año es del 95%. Tomando en cuenta los 8 meses de sequía, distribución del consumo y el suministro deseado en la comunidad, se determinan los valores mínimos de diseño: Almacenamiento de 392.000 litros y Superficie de captación de agua de lluvia de 1442 m².

Buscando maximizar la eficiencia de la captación, el volumen de almacenamiento y la capacidad de repetición modular, se estudiaron diversas soluciones para completar ambos requerimientos, definiendo factores de justificación para su selección no sólo de acuerdo a su factibilidad de construcción en zona remota, sino también de mantenimiento, costo, vida útil e impacto social.

Se determina como propuesta final, acondicionar el techo del salón comunitario, derivando la lluvia a un tanque de almacenamiento en mampostería, diseñado específicamente para

también coleccionar de su propia cubierta y decantar ligeramente el agua previo al ingreso. Para su extracción se instala una bomba manual en el extremo de menor pendiente.

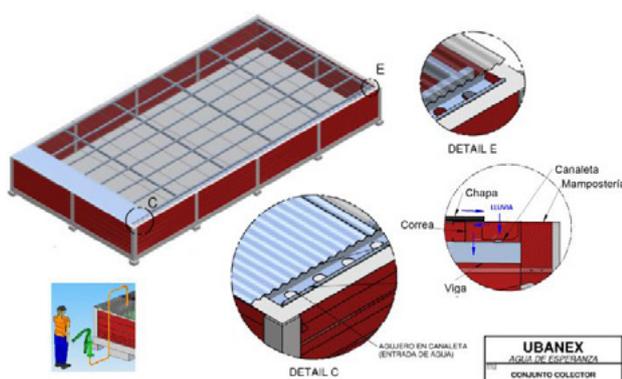


Figura 3.- Diseño del tanque colector - 6m x 12m x 1m

Además de los fondos otorgados por «UBANEX», se completó el financiamiento mediante acciones de cooperación intersectorial masiva de los participantes del proyecto a través de eventos, donaciones, entrevistas y campañas en línea que permitieron que el proyecto alcanzara una difusión hasta audiencias muy diversas, incluso a nivel internacional.

El presupuesto final permitió que el grupo de voluntarios, en un trabajo mancomunado con los miembros de la comunidad, construyeran un sistema de recolección de 156m² de superficie total de captación y 72 mil litros de almacenamiento. Esto significaba aproximadamente, una dotación de 5 litros, por día, por persona, de agua no potable, pero de calidad significativamente mejorada en comparación con la original.

Tabla 1.- Objetivos vs Resultados

Objetivo	Resultado	Alcance
20L/día/persona	5L/día/persona	25%
Agua calidad OMS	Mejorada	>>
Superficie 1442 m ²	156 m ²	11%
Almacenamiento 392 mil L	72 mil L	18%

Entendemos claramente que, si bien esta dotación no se acerca a la necesidad planteada originalmente, provee agua limpia para actividades domésticas, agrícolas y fabricación de ladrillos, que hoy, 10 años después, sigue en funcionamiento, impulsando el desarrollo económico y social de la comunidad pilagá.



Figura 3.- Proyecto Agua de Esperanza.

Conclusiones

Los proyectos de extensión universitaria son fundamentales para la formación estudiantil y para las comunidades que demandan

soluciones en cuestiones de abastecimiento de agua segura, desarrollando acciones en conjunto sumando saberes.

Con respecto al área técnica, no se han podido cumplir los objetivos de dotación y calidad planteados. Esto se debe a las características específicas de estas experiencias: la dotación, porque a pesar de que la solución seleccionada se diseñó con capacidad de repetición modular, el presupuesto total recaudado, alcanzó solamente para construir un sistema recolector. En el caso de la calidad, el suministro de pastillas de cloro planificado, no se pudo garantizar en forma constante, porque no formaba parte de las prácticas de la comunidad y requería una intervención específica para su adaptación.

El compromiso tomado por Gendarmería Nacional, de complementar la dotación, llenando el tanque cuando éste se encontrara vacío, a través de un camión cisterna de agua potable nos dio un margen para que una vez finalizada la construcción podamos atender nuevas solicitudes de intervención en zonas sin acceso a agua segura.

Discusiones y trabajos futuros

El proyecto Agua de Esperanza es un trabajo de Extensión Universitaria icónico en FIUBA, que visibiliza la potencia de este tipo de intervenciones, sentando precedentes. Nos da una referencia a la hora de conformar abordajes multidisciplinares que abarquen con igual importancia aspectos económicos, sociales, operacionales, institucionales, mediáticos y específicos de un proyecto en continua articulación con las necesidades concretas de la comunidad. Nos impulsa a generar propuestas sostenibles, a problemas locales o remotos, en este caso hídricos, que a veces quedan en una zona gris en la planificación territorial. Este trabajo en conjunto con las comunidades logra, no solo el apropiamiento de la infraestructura para su manutención en el tiempo, sino también empoderamiento y la toma de conciencia por parte de sus miembros para también liderar la gestión de sus soluciones.

Permitió, además, evidenciar limitaciones concretas de estas intervenciones, que creemos necesario abordar, convocando a los distintos sectores a sumarse para incrementar la financiación e impulsar la participación de organismos competentes, mediante programas ad-hoc o asistencia técnica específica y así optimizar el impacto de los proyectos o incluso introducir enfoques comerciales que permitan independizarse de la continua necesidad de financiamiento externo. Proponemos la confección de una base de datos centralizada para difundir libremente y de forma accesible, información técnica verificada, las distintas experiencias desarrolladas y sus conclusiones, con fin de evitar la superposición de esfuerzos de diferentes actores.

A partir de este proyecto y las redes generadas, el Departamento de Mecánica continúa presentando propuestas UBANEX, como por ejemplo “Potabilización de Agua en Comunidad del Interior Profundo de Santiago del Estero” que actualmente provee agua para 250 personas y cuya visualización generó que los organismos provinciales extendieran el aprovisionamiento de agua en la zona para replicar un segundo sistema de potabilización en una comunidad vecina.

Es política de FIUBA impulsar desde la SIGBAS, este tipo de proyectos por lo que convocamos a la comunidad técnica a sumarse a estas valiosas experiencias.

TÉCNICAS ANCESTRALES DEL SHINCAL DE QUIMIVIL:

CANALES EXCAVADOS EN ROCAS

Macor, Fiorella⁽¹⁾; Borello, Lida⁽³⁾; Hämmerly, Rosana⁽¹⁾; Lanzaro, M. Verónica^(1,2); Martínez, Viviana⁽⁵⁾; Romanatti, Mariana^(1,6) y Zamora, Gómez J. Pablo⁽⁴⁾

1 – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL), Santa Fe, Argentina

2 – Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, Santa Fe, Argentina

3 – Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina

4 – Universidad Nacional de Salta (UNSa), Salta, Argentina

5 – Municipalidad de Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina

6 – Red Arg Cap-Net, Argentina

fiore_macor@hotmail.com

Introducción

La Cátedra UNESCO de Sostenibilidad (Universidad Politécnica de Cataluña) promueve la recuperación de las prácticas ancestrales vinculadas a la gestión del agua, con el objetivo de rescatar el patrimonio cultural inmaterial y adaptar estas prácticas al contexto actual de emergencia climática y sanitaria.

En ese marco, se propone un proyecto cuyo objetivo es identificar y caracterizar las técnicas ancestrales ubicadas en el Shincal de Quimivil para promover su restauración, refuncionalización y replicabilidad, a fin de contribuir a la gestión sostenible del agua en la región donde se inserta, entre ellas restaurar la red hídrica incaica, trabajar en la creación de una legislación entre los usuarios y fomentar la exploración de estructuras similares.

Shincal de Quimivil

El Shincal es uno de los sitios arqueológicos más conocidos del Noroeste argentino, declarado Monumento Histórico Nacional en 1997. Allí se asentó una antigua ciudad construida y administrada por el Imperio Inca entre 1471 y 1536 (Figura 1). Perteneciente al Camino del Inca, era considerada la capital más importante de la zona austral del imperio. En la actualidad, se ubica en zonas alejadas al río Quimivil, en la localidad de Londres, departamento Belén, provincia de Catamarca (Argentina).

La región presenta un clima semidesértico estacional, y en particular, la zona del Shincal presenta un clima clasificado como árido de sierras y bolsones, el cual se caracteriza por presentar un ambiente árido y semiárido debido a la excesiva sequedad del aire y a los fuertes vientos. En cuanto a la temperatura de la región serrana, es menos tórrida debido a la altura. Durante el verano, en las planicies se registran temperaturas superiores a los 40 °C. Precipitación anual del orden de 350 mm, con máximos en los meses estivales entre diciembre y febrero. Los caudales de los ríos de aporte, acompañan esta característica climática. Las escasas precipitaciones en parte se infiltran a través de rocas fracturadas, constituyendo acuíferos fisurados y lo que escurre superficialmente, conforma la zona del abanico aluvial, el que recarga el acuífero. El área se encuentra dentro de lo que se conoce como la “diagonal árida Argentina”. Los intensos vientos que se registran en la zona sumados a la aridez extrema y a la inestabilidad que presentan los suelos de escaso desarrollo, acentúa el fenómeno erosivo de ellos poniendo en riesgo las pequeñas explotaciones agrícolas del área. (MAGyP - PROSAP, 2011).

De allí también la importancia que presenta el estudio y análisis de la replicabilidad de la hidrotecnología presentada en el presente trabajo.

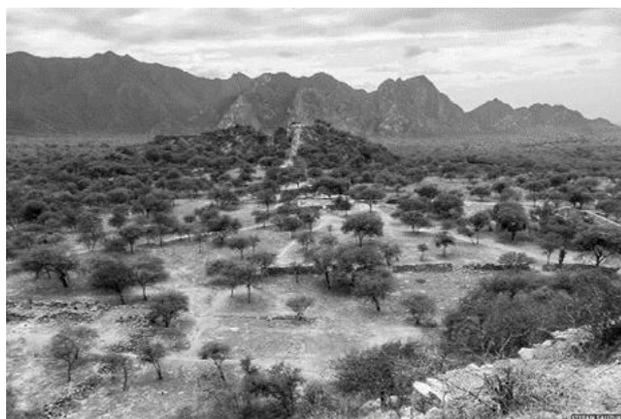


Figura 1.- Vista panorámica del Shincal.

Técnicas ancestrales para la red de riego

Desde el año 2003, se realizan estudios sistemáticos en el cono aluvial del río Quimivil, en pos de localizar vestigios de arquitectura agrícola y de regadío (Figura 2).

Se registraron varios tramos de arquitectura hidráulica que irrigaban amplios sectores del cono aluvial. La técnica ancestral consiste en canales esculpidos en grandes formaciones rocosas (Figura 3), los cuales -según estudios realizados- funcionaban como un mecanismo para «direccionar» el flujo de agua hacia los sitios de cultivo, siguiendo las pendientes naturales del terreno. Seguramente permitió también la reducción de aluviones por comportarse los canales como herramientas para la corrección de torrentes. (Giovannetti y Raffino, 2011)

Los antiguos incas, al excavar en la sierra, realizaron uso de agua subterránea generando afloramientos de agua del acuífero fisurado y aseguraron caudales para riego, más allá del abastecimiento de agua superficial, la que presenta limitaciones, debido a una gran variabilidad estacional y escasos caudales.



Figura 2.- Redes de riego.

Potencial de replicabilidad

En los últimos años, los estudios relacionados con las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) y la Ecohidrología fueron cobrando importancia como parte de las estrategias de adaptación de los territorios al cambio climático. En general, las SBN comprenden soluciones que valoran las estrategias ancestrales tradicionales, especialmente en el campo de la construcción, la agricultura y la conservación del patrimonio natural. La mayoría de las soluciones de adaptación identificadas a partir del estudio del Shincal de Quimivil son aplicables a la gestión del agua, pudiendo replicarse en entornos similares al caso de estudio.

Los proyectos piloto y modelo representan el primer paso hacia una adaptación efectiva; permiten identificar eventuales mejoras y establecer indicadores para monitorear y evaluar el grado de adaptación al cambio climático. Estos proyectos pueden aplicarse a nivel local, y luego de revisar sus resultados, extenderse a nivel regional a través de la difusión de esos resultados, en el marco de «buenas prácticas».

Las propuestas de puesta en valor de la infraestructura hidráulica ancestral en el Shincal ofrecen oportunidades para la innovación tecnológica y la apropiación social del conjunto arqueológico, sus tecnologías y sus prácticas. Se propone la implementación de espacios de intercambio de saberes entre productores, funcionarios municipales, técnicos e investigadores, para construir colectivamente un conocimiento en torno a la red hidráulica ancestral del Shincal.

El trabajo con los miembros de la comunidad representa una oportunidad para emplear diferentes técnicas e instrumentos de relevamiento y análisis espacial, como por ejemplo el uso de aplicaciones de teléfonos móviles para el mapeo participativo de infraestructura hidráulica ancestral, el uso de modelos de elevación digital, etc.

De esta manera, se permitiría la preservación y el desarrollo del paisaje biocultural de Quimivil.



Figura 3.- Canales excavados en roca.

Conclusiones

En resumen, el uso de acequias excavadas en roca tiene el potencial de ser una solución sostenible y basada en la naturaleza para el manejo del agua y la agricultura en regiones áridas y semiáridas, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales y al bienestar de las comunidades locales.

Además, la articulación entre las sabidurías ancestrales, los conocimientos locales y las tecnologías modernas potencian el carácter de replicabilidad de estas prácticas ancestrales en otros

países, ya que -debido a la gran extensión del Imperio Inca- es común encontrar este tipo de tecnología en Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y otras partes del Noroeste argentino.

Referencias Bibliográficas

AECID. (2015). “Guía de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo para la Transversalización del Medio Ambiente y el Cambio Climático”. Madrid.

Giovannetti, M.A. (2009). *Articulación entre el sistema agrícola, redes de irrigación y áreas de molienda como medida del grado de ocupación Inka en El Shincal y Los Colorados (Prov. de Catamarca)*. Tesis para optar al grado de Doctor en Cs. Naturales. Facultad de Cs. Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.

Giovannetti M.A. y Raffino, R.A. (2011). “Piedra Raja. La arquitectura hidráulica inka de escala monumental en El Shincal de Quimivil”. *Arqueología y Antropología Surandinas*. Estudios Atacameños. N° 42 / 2011, pp. 33 – 52.

IPCC. (2019). “Technical Summary. Climate Change and Land: an Intergovernmental Panel on Climate Change special report on climate change, desertification, land”.

Martos-Rosillo, S. & Durán, A. et al. (2020). “La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica; un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza: En Tierra y Tecnología”.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca – PROSAP. (2011) “Proyecto: Aporte al Desarrollo de los Distritos de Riego de Belén y Pomán”. Documento de Factibilidad – Anexo 4_Evaluación de Impacto Ambiental y Social (EIAS). Provincia de Catamarca.

Mitchell, T. & Maxwell, S. (2010). “Defining climate compatible development”. Policy Brief.

Mitchell, W. (1976). “Irrigation and Community in the Central Peruvian Highlands”. *American Anthropologist*, New Series, 78(1), 25-44.

Moralejo, R.A. et al. “Shical de Quimivil: Monumento Histórico Nacional”. AZARA. Publicación de Divulgación Científica de la Fundación Azara y el Departamento de Ciencias Naturales y Antropológicas de la Universidad Maimónides - N° 4. ISSN 2683-7862 (impresa) - ISSN 2683-7692.

Naciones Unidas. (2015). “Acuerdo de París - COP21”. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. París.

Niz, A. E. et al. Aportes de la Geología e Ingeniería a la recuperación de áreas afectadas por cárcavamiento. *Ciencias de la Tierra*. Capítulo III, pp. 12-17.

Rodríguez, R.V [et ál.]. (2015). *En Arqueología y paleontología de la provincia de Catamarca*. 1a ed. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN 978-987-3781-14-8

Raffino, R.A. [et ál.]. (2015). *Una capital inka al sur del Kollasuyu: el Shincal de Quimivil*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN: 978-987-3781-15-5

LA GESTIÓN URBANA DEL AGUA EN MENDOZA

M. Marcela Andino, Sergio Marinelli, Leonardo Muzzino

Departamento General de Irrigación, Barcala 206 Mendoza, Argentina, Tel 2614234000 int. 215
E-mail: marcelaandino71@gmail.com, slmarinelli@gmail.com, lmuzzino@gmail.com

Introducción

La autoridad del agua de Mendoza, Departamento General de Irrigación, tradicionalmente ha gestionado el recurso atendiendo principalmente a necesidades del uso agrícola. Frente a las sequías prolongadas que afectan la provincia hace unos años comenzó a impulsar e implementar estrategias de gestión sostenible del agua para uso urbano, siguiendo el precedente de la Suprema Corte de Justicia de Mendoza (in re: Cugnini) que interpretó que el término “irrigación” debía ser utilizado en el contexto que fue dictado, es decir como principal destino del recurso hídrico a principios del siglo XX, pero sin que signifique limitar la competencia del DGI sólo al uso agrícola. A comienzos de la década de los 90 del siglo pasado la ONU impulsó la temática “Ciudades y Desarrollo Sustentable” en aplicación directa del concepto de desarrollo sustentable a la problemática de la ciudad. A partir de dicho concepto se identifican como principales desafíos en materia de gestión del agua: la falta de acceso a agua saludable y al saneamiento, y el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías naturales que afectan la sostenibilidad del desarrollo urbano. En función de ello Superintendencia elaboró un diagnóstico del estado de situación de la demanda para el uso de abastecimiento poblacional, una estimación de la demanda futura de la cuenca del Río Mendoza y un análisis del marco jurídico aplicable; definiendo una serie de acciones estructurales y no estructurales, el dictado de reglamentaciones para la gestión urbana del agua de dicha área que puedan servir de base para acciones en otra de las cinco cuencas de la Provincia con lo cual abordar la sostenibilidad urbana e innovar, desde el conocimiento, para dar respuesta a las demandas actuales y futuras de agua.

Estado de situación poblacional actual y futura

Más de la mitad de la población mundial (57%) reside en centros urbanos; en América Latina la población urbana alcanza el 81,1% mientras que en la República Argentina ha experimentado un aumento del 64,7% al 92,4% entre los años 1950 y 2019 (Banco Mundial, 2019).

Para el 2050, se espera que la población mundial alcance 9.800 millones de personas y las áreas urbanas el 70%. En los países menos desarrollados y en un período de 1990-2015 el consumo de tierra aumenta a un ritmo insostenible, triplicándose a medida que las poblaciones se duplican (Angel, *et al* 2016). Este panorama de crecimiento demográfico, y la consecuente expansión del uso del suelo, se verá condicionado aún más por los efectos del cambio climático, la sequía extrema y prolongada en la región montañosa, intensificando los conflictos por el uso de los escasos recursos hídricos disponibles.

La expansión urbana no planificada adecuadamente provoca que miles de personas vivan en ciudades en condiciones inadecuadas, incrementando considerablemente el consumo sobre los recursos naturales – como el agua- y la energía.

Si bien la urbanización proporciona beneficios económicos y sociales importantes, también incrementa los riesgos relacionado con los trastornos ecológicos, la contaminación, el cambio climático y los desastres ambientales (Foro Económico Mundial – WRF, 2014, p. 22)

El concepto “desarrollo” no se limita al crecimiento económico.

Se necesitan objetivos más amplios que aborden el crecimiento responsable (Hamilton, 2004), el desarrollo inclusivo (Banco Mundial, 2008), el crecimiento ecológico urbano (OCDE, 2013), que muestren que el crecimiento económico no puede ni debe ser el único indicador del desarrollo.

Para alcanzar las metas de mejora en la gestión del agua, incluyendo los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en ciudades y poblaciones en países en desarrollo de manera sostenible se requieren lazos institucionales y acciones concretas de los actores públicos, privados, la ciencia, las universidades y la sociedad civil, aunando esfuerzos.

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), según el análisis de usos del suelo, refleja que la expansión entre el 2006/2016, puede disgregarse en un 87% a usos residenciales, 10% a usos industriales y el 3% restante a equipamientos. Entre los usos residenciales las urbanizaciones cerradas explican el 29% de expansión y el residencial extraurbano (lotes de más de 500 m²) el 26%, mientras que la vivienda social el 9% de la expansión y las urbanizaciones informales el 3% (CIPPEC, 2019)

Al uso desmedido del suelo debe sumarse el avance incontrolado de la mancha urbana sobre zonas de actividad agrícola de alto valor ecológico – productivo, afectando el recurso agua, las condiciones físicas del suelo, el patrimonio e infraestructura de riego y la localización estratégica como cordón frutihortícola por su cercanía a zonas de consumo.

El AMM presenta una estructura urbana de ciudad dispersa, con baja densidad en general y desigual acceso a los servicios básicos para la población. En ese marco uno de los desafíos más importantes para la gestión urbana del agua es en las áreas del piedemonte mendocino al oeste de la Ciudad de Mendoza.

Existen en Mendoza 9571 ha de aguas superficiales empadronadas en la categoría de abastecimiento poblacional de las cuales 8186 ha corresponden al río Mendoza; 302 perforaciones destinadas al mismo uso y 32907 ha que reflejan un uso recreativo del agua en dicha cuenca. Este uso recreativo urbano que antes eran casas de fin de semana hoy corresponden a viviendas permanentes en la zona del piedemonte, y que solo cuentan con agua no potable, distribuidas por las Inspecciones de Cauce, por camiones cisternas o por perforaciones inscriptas para uso agrícola, uso común o directamente clandestinas.

Conforme estimaciones de demanda futura en un horizonte de 30 años se calcula en la zona del piedemonte un crecimiento de 70000 parcelas/cuentas que será necesario dotar de un suministro básico de agua y saneamiento.

Esta problemática de expansión urbana y el aumento demográfico requiere coordinación entre todos los actores involucrados y en especial requiere cambios en la gobernanza que conduzca a un uso más sostenible y equitativo del recurso hídrico urbano. No solo invertir en infraestructura de abastecimiento poblacional, sino también en el tratamiento de aguas residuales, el control de la contaminación y la prevención o mitigación de sequías e inundaciones, para garantizar el acceso al agua potable y proteger las fuentes de agua, privilegiando la sostenibilidad y la seguridad hídrica, con una planificación preventiva con objetivos a mediano y largo plazo evitando gestionar en situaciones de crisis o hechos consumados.

Marco jurídico aplicable – Acciones concretas

El agua es puede ser objeto de diferentes usos. Un uso que se denomina “común” que es que realiza un público genérico para satisfacer sus necesidades básicas y fundamentales, y “uso especial” que procura aumentar la esfera de acción y el poderío económico de la persona, concedido por la autoridad de aplicación mediante permiso o concesión.

El “uso común” no requiere concesión de la autoridad pero sí exige observar las disposiciones reglamentarias dictadas por ésta (Marienhoff, 1996). Es el tipo de uso que tiene por fin beber, bañarse, lavar ropa, abrevar ganado doméstico, patinar en zonas congeladas, navegar, etc. sin que alterar la calidad o cantidad del recurso hídrico.

Este uso si bien no demanda caudales significativos, su sumatoria puede impactar en la disponibilidad de agua (sobre todo en épocas de sequía) siendo necesaria una organización colectiva del uso a partir del servicio público prestado por un operador formal.

Por otra parte se ha reconocido el acceso al agua potable y saneamiento como derecho humano esencial (Observación General 15 Comité de la ONU, Nov/2002 consagrado por su Asamblea General ONU, Jul/ 2010, conforme Res. 64/292). También ha sido reconocido por las Provincias Argentinas como derecho humano básico el agua potable y saneamiento al acordar sus Principios Rectores de Política Hídrica (Ppio N° 8)

Ahora bien, como todo derecho, aún los “humanos” se encuentran sujeto a las leyes que reglamenten su ejercicio, siendo una obligación de medios que asume el Estado en aportar los medios disponibles para satisfacer las necesidades básicas e indispensables. Los desarrollos urbanísticos realizados en el piedemonte mendocino, área NO servida por la infraestructura del agua potable por medio de operadores formales no pueden esperar ni exigir al Estado satisfacer su demanda aunque se la pretenda encuadrar como derecho humano, si ello implica que deba distraer mayores recursos para proveer de agua,- bien escaso en Mendoza-, a quienes sabiendo que en esa zona no hay red de agua potable e igualmente deciden construir viviendas.

La normativa mendocina (art. 115 LGA – para aguas superficiales - y art. 4 Ley 4035 – aguas subterráneas) establece la preferencia o uso prioritario al abastecimiento poblacional, que implica numerosas consecuencias prácticas y legales; ya que ante un escenario de “sequía” actual se debe privilegiar su uso, gozando de una garantía del 100% del caudal de demanda.

Por su parte el art. 188 CP establece que “*todos los asuntos que se refieran a la irrigación en la Provincia, que no sean de competencia de la justicia ordinaria, estarán exclusivamente a cargo del Departamento General de Irrigación*”. Sin perjuicio de ello, si bien tiene amplias atribuciones legales y constitucionales en materia de gestión hídrica, no así en la concesión de prestación del servicio público de agua potable y saneamiento, estando en manos del Ente Provincial de Agua y Saneamiento - EPAS (Ley 6044).

Sin perjuicio de ello, como único administrador del recurso hídrico provincial superficial y subterráneo (art. 1° LGA, art. 1° Ley 4036), debe prever la entrega de agua para bebida en coordinación con el uso común (conf. art. 106 a 109 y 165 LGA), en la dotación necesaria para cubrir las necesidades básicas, fundamentales o primarias de higiene y bebida en aquellas áreas urbanas que no existe el servicio público de abastecimiento poblacional.

En ese marco el H. Tribunal Administrativo del DGI ha dictado la Res. 613/22 el 26/10/2022, y crea una “*sub-categoría*” dentro del “uso de abastecimiento poblacional” (arts. 106, 107, 109, 115 inc. 1° LGA y arts. 2 y 4 Ley 4035) para usuarios actuales y

futuros de agua no potable, en áreas no servidas por operadores formales del servicio público de agua potable y saneamiento, cumpliendo ciertos recaudos, tendientes a alcanzar la sostenibilidad en el uso urbano del agua e intertanto se haga efectiva la expansión de las áreas servidas por los operadores de dicho servicio público.

La distribución estará a cargo de las Inspecciones de Cauces de la Provincia, siendo un uso oneroso (gravado) que integra la categoría de uso especial del agua, requiriendo su empadronamiento al DGI. Se distribuirá por volumen sobre la base de cálculo que contemple una familia tipo, a razón de 300 lts (150 lts en áreas de restricción) per cápita diarios conformes lo sugerido por la OMS, pudiendo los propietarios y poseedores de inmuebles ser sus beneficiarios e interesados, extensivo a los conjuntos inmobiliarios mediante su uso mancomunado.

Requisitos de admisibilidad: a) instalación de cisterna de guardado y sistema de conducción eficiente/tecnificado; b) instalación de sistema de micromedición; c) xerojardinería; d) implementación de sistemas de cañerías para aguas grises que permitan la reutilización del agua; e) autorización del municipio respectivo, de acuerdo con la zonificación o plan de ordenamiento territorial Municipal.

El agua a recibir será no potable eximiendo de responsabilidad al DGI y a la IC por la calidad del recurso. El empadronamiento será provisorio hasta tanto se preste el servicio público de agua potable en el área del usuario por algún operador formal.

Esta norma reglamentaria impulsada recientemente se complementa con otras acciones y reglamentaciones impulsadas por Superintendencia para gestionar de manera preventiva y/o mitigar el fenómeno de la sequía en la gestión urbana del agua, por ejemplo: Conformar el Consejo Asesor del Agua para Consumo Humano, suscripción de acuerdos de obras con municipios del Gran Mendoza (Luján de Cuyo, Godoy Cruz, Las Heras, Guaymallén, Capital y AySAM), nuevo trámite de renuncias de derechos (Res. 511/17 HTA), la creación de la categoría “Uso Recreativo Urbano” con exenciones tributarias para lotes de 500 y 700 m2 (Res. 620/18 HTA), la creación de la categoría “Consortio Urbanización” con beneficios tributarios para barrios cerrados, loteos o fraccionamientos que se sometan al PH Especial creado por el art. 2075 CCCN desde 2015 (Res. 723/15, 512/17 y 513/17 HTA)

Referencias Bibliográficas

- SCJM, in re “Emilio Cugnini SA c/ Departamento General de Irrigación y ots.” Sentencia del 18/05/1989. Ubicación: S209-170.
- Banco Mundial (2019), *Perspectivas de la urbanización mundial*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL>.
- Angel, S; Lamson-Hall, P.; Madrid, M; Blei, A. M.; Parent, J; Galarza Sánchez, N. y Thom, K. (2016), *Atlas of Urban Expansion. Volume 2: Blocks and Roads*. Nueva York: NYU Urban Expansion Program / UN-Habitat / Lincoln Institute of Land Policy, <https://www.atlasofurbanexpansion.org/data>
- WEF (2014). Foro Económico Mundial
- Hamilton (2004), *Responsible growth for the new millennium*. En el Banco Mundial Perspective on development. Washington DC.
- OCDE (2013). *Green growth and cities*, Paris.
- CIPPEC (2019). Estrategias para el desarrollo integral del Area Metropolitana de Mendoza.
- Marienhoff (1996). Tratado D° Administrativo T-V p. 141
- COHIFE, Principios Rectores de la Política Hídrica. <https://www.cohife.org/s60/principios-rectores-de-politica-hidrica>

EL ACCESO A AGUA DE RED Y SERVICIO CLOACAL EN LOS CUATRO AGLOMERADOS MÁS POBLADOS DEL TERRITORIO ARGENTINO

Nelson Patricio Massachesi

Instituto de Geografía Romualdo Ardisson, Facultad de Filosofía y Letras - Universidad de Buenos Aires – CONICET, Puán 480 (CABA, C.P 1406; Argentina), 005411- 5287-2896, nelsonmassachesi@gmail.com

Resumen

El acceso a agua de red y servicio cloacal, debido a los beneficios sanitarios a los que se asocia, es ponderado en el marco internacional al punto que forma parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de Naciones Unidas (ONU) siendo que los déficits al respecto no se reducen al plano rural ya que los espacios metropolitanos son escenarios trascendentales en este sentido. En base a ello, el objetivo de este resumen es cuantificar el acceso a agua de red y cloacas en los cuatro aglomerados urbanos argentinos que superan el millón de habitantes: Aglomerado Gran Buenos Aires-Gran La Plata (AGBA-GLP), Aglomerado Gran Córdoba (AGC), Aglomerado Gran Rosario (AGR) y Aglomerado Gran Mendoza (AGM). Metodológicamente, se utilizaron los microdatos de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) del INDEC (Instituto de Estadísticas y Censos) para el período abarcado entre el primer trimestre de 2020 y el tercero de 2022 ante un contexto sanitario caracterizado parcialmente por la COVID-19 donde el acceso a ambos servicios devino en una variable crítica. El indicador presentado en este resumen remite al promedio de los valores relativos para la serie temporal aludida en los cuatro aglomerados. En cuanto a los resultados, el AGBA-GLP expone los valores más altos en la privación de agua de red alcanzando el 17,7% de los hogares en tanto que los otros tres rondan al 1%; la falta de servicio cloacal involucra al 56,6% de los hogares del AGC, al 6,5% en el AGM siendo que el AGBA-GLP y el AGR poseen valores intermedios, 30,9% y 21,4% respectivamente.

Palabras clave: agua de red, cloacas, aglomerados urbanos

Introducción

Hay evidencia bibliográfica que liga la expansión del acceso a agua de red y servicio cloacal con el descenso de la mortalidad y el aumento de la esperanza de vida al nacer; el resultado poblacional consecuente devino en la transición demográfica (Coale, 1977) y la transición epidemiológica (Omran, 2005). Actualmente, la expansión de estos servicios por el globo se inserta en los ODS de la ONU: la meta 6 establece “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>). Continuando en el marco de los ODS, la meta 11 apunta a “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” advirtiendo el crecimiento demográfico acaecido en ellas siendo que para 2030 un 60% de la población mundial será urbana ([un.org/sustainabledevelopment/es/cities/](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/)).

Considerando la intersección de ambas metas, el objetivo de este resumen es cuantificar el acceso a agua de red y cloacas, entre el primer trimestre de 2020 y el tercero de 2022, en los cuatro aglomerados urbanos que superan el millón de habitantes en el territorio argentino: AGBA-GLP, AGC, AGR y AGM (del de mayor al de menor cantidad de habitantes). La relevancia del estudio radica en que los cuatro espacios totalizan 20.615.624 (16.650.814, 1.583.792, 1.338.775 y 1.042.243) tomando los factores de expansión del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) para la base de datos de individuos de la

Encuesta Permanente de Hogares correspondiente al tercer trimestre de 2022; en clave relativa, la cifra alcanza un 44,8% de los 46.044.703 que se contabilizaron en los resultados provisionales del Censo Nacional de Población, Hogares Y Viviendas 2022 a nivel país (INDEC, 2023a).

Método

La información sobre el acceso a agua de red y cloacas se obtuvo de las bases de datos de hogares de los microdatos de la EPH del INDEC para el período abarcado entre el primer trimestre de 2020 y el tercero de 2022 para los aglomerados urbanos mencionados (AGBA-GLP, AGC, AGR y AGM) (<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-indec-BasesDeDatos>). Las preguntas sobre los accesos en la EPH se corresponden a la sección “Características de las viviendas”: en cuanto al agua se consulta si proviene de una red pública (agua de red), perforación con bomba a motor o perforación con bomba manual; sobre el servicio cloacal las opciones son red pública (cloaca), cámara séptica y pozo ciego, sólo pozo ciego y, finalmente, hoyo o excavación en la tierra (INDEC, 2023b).

INDEC (2023b) diferencia al Aglomerado Gran Buenos Aires (conformado por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y los partidos del Gran Buenos Aires) del Aglomerado Gran La Plata pero para mantener fidelidad a la noción básica de aglomerado, una porción de la superficie terrestre delimitada por la envolvente de población (INDEC, 2003), se los trató como una unidad espacial. El indicador resultante data de un promedio, para cada uno de los cuatro aglomerados en el período abarcado entre el primer trimestre del 2020 y el tercero de 2022, de los hogares que no acceden a agua de red y cloacas.

Resultados

En principio, la “Tabla 1” contiene los datos obtenidos tras procesar los microdatos ofrecidos por el INDEC de acuerdo al trimestre y aglomerado.

Tabla 1.- Porcentaje de hogares, por aglomerado, que no acceden a servicio de agua de red (sar) y servicio cloacal (sc) por trimestre (2020-2022)

Año / Trim	AGBA-GLP		AGC		AGR		AGM		
	Hogares sin acceso (%)								
	sar	Sc	sar	sc	sar	sc	sar	sc	
2020	1t	16,7	32,7	0,2	55,9	1	23,5	0,3	6,7
	2t	18,3	33,8	0,1	58,7	1,8	22,5	1	6,1
	3t	18,3	35,1	0,5	63,3	2,6	23,8	1,3	4,6
	4t	18	36,4	0,4	52,6	1,7	27,8	0	6,2
2021	1t	17,1	30,8	0,3	55	1,4	20	0,1	7,2
	2t	17,8	30,2	0	57,6	2	20,3	0,6	6,1
	3t	17,9	27,7	0,2	53,7	1,3	21,8	0,4	6,3
	4t	19,1	28	0,2	56	0,3	22,6	0	6,7
2022	1t	17,7	27,6	0,4	58,1	0,7	18,6	0,6	6,3
	2t	17,3	28,3	0,4	56,8	1,8	17,3	1,1	7,1

2	3t	17	29,8	0	54,7	1,3	16,6	0,9	8,5
2									

En base a la información de la tabla precedente fue posible generar los indicadores centrales de este escrito, es decir el promedio de hogares que no acceden a agua de red y cloacas en cada aglomerado en la serie temporal aludida. El AGBA-GLP expone el valor más alto en la privación de agua de red alcanzando el 17,7% de los hogares, en el AGC la cifra es 0,2%, en el AGR 1,4% y en el AGM 0,6%. La falta de servicio cloacal involucra al AGC y el AGM en sus extremos con un 56,6% y 6,5% de los hogares siendo que al AGBA-GLP le corresponde un 30,9% y al AGR un 21,4%. Con la intención de sistematizar de forma más amena la información detallada en este párrafo, la “Tabla 2” consta de los promedios referidos a las carencias trabajadas en este resumen.

Tabla 2.- Promedio de hogares, por aglomerado, que no acceden a servicio de agua de red (sar) y servicio cloacal (sc) en la serie temporal abarcada entre el primer trimestre del 2020 y el tercero del 2022

AGBA-GLP		AGC		AGR		AGM	
Promedio de hogares sin acceso (%)							
sar	Sc	sar	sc	sar	sc	sar	sc
17,7	30,9	0,2	56,6	1,4	21,3	0,6	6,5

La información declarada expone las diferencias espaciales: el AGBA-GLP predomina en cuanto a la privación de agua de red en tanto que el AGC hace lo propio en cuanto al servicio cloacal en el que destaca el AGM por poseer el valor más bajo. La deficiencia del servicio de agua de red es similar entre el AGC, el AGR y el AGM con un intervalo de 1,2 entre el valor más alto y el más bajo (1,4 y 0,2); la diferencia entre la cifra más alta de estos tres (1,4) difiere en 16,3 puntos del valor del AGBA-GLP que, por cierto, es 17,7%. La distancia porcentual entre el AGBA-GLP y el segundo, correspondiente al AGR, llega a 1.164,3%.

La privación cloacal muestra un patrón diferente respecto del otro servicio debido a que hay uno con un claro predominio en cuanto al valor superior (AGC), uno en sus antípodas (AGM) y dos intermedios (AGBA-GLP-AGR). La diferencia entre el AGC y el AGM es de 50,1 puntos (770,8%) siendo que con el AGBA-GLP es de 25,7 puntos (83,2%).

Si bien es claro que uno de los servicios muestra mayor deficiencia de acceso, la “Tabla 3” expresa un cociente entre los valores de la privación por cloacas y agua de red añadiendo el valor porcentual.

Tabla 3.- cociente y porcentaje entre la carencia al servicio cloacal y agua de red (% hogares sin acceso a cloacas / % hogares sin acceso a agua de red)

AGBA-GLP	AGC	AGR	AGM
Cociente			
1,7	283	15,2	10,8
Cociente *100 -Porcentaje (%) -			
174,6	28.300	1521,4	1083,3

Los resultados de los cocientes de la “Tabla 3” son mayores que 1 (uno) puesto que es mayor el valor del indicador de carencia cloacal respecto al de agua de red. Por cada unidad hogareña que carece de agua de red en el AGBA-GLP hay 1,7 que carece cloacas siendo que la relación es 283 en el AGC, 15,2 en el AGR y 10,8 en el AGM; porcentualmente, las cifras escalan a 174,6%, 28.300%, 1521,4% y 1083,3% (se utilizaron más decimales en el cálculo). Al AGC le corresponde la cifra más

alta puesto que presenta la brecha más amplia: es el área metropolitana con menor porcentaje de deficiencia a agua de red pero la mayor en el plano cloacal. El AGBA-GLP posee el dato de menor cuantía y ello se explica, en gran medida, por el valor respectivo en cuanto al agua de red que, por cierto, es elevado al tratarlo comparativamente.

Conclusiones

Atendiendo a una mirada metropolitana integral (Gencer, 2018), se efectuó un análisis estadístico cuantitativo tendiente a mostrar dos privaciones cuyas implicancias son negativas para la salud. Amén de que estas deficiencias puedan presentarse en el ámbito rural, los resultados de este escrito, basados por completo en áreas urbano-metropolitanas, muestran que las ciudades son escenarios de esas carencias.

De forma concreta, la falta de agua de red tiene menor peso cuantitativo respecto al servicio cloacal pero la heterogeneidad es una característica en la estructura de valores de ambos indicadores: en el primero hay una cifra relativamente alta en un aglomerado (AGBA-GLP) en tanto que los otros se asemejan rondando el 1%; el segundo expone un aglomerado en lo alto (AGC), dos intermedios (AGBA-GLP y AGR) y otro relativamente bajo (AGM). Tras dividir las cifras pertenecientes a los dos indicadores se encontraron resultados mayores que 1 (uno) puesto que, como se señaló anteriormente, la carencia cloacal es mayor; en este sentido, el AGBA-GLP presenta un valor bajo debido que la diferencia entre ambos no es contundente como en los otros tres aglomerados donde, de todos modos, destaca el AGC por exponer el intervalo más notorio: es la unidad con menor carencia de agua de red y la de mayor en cuanto a cloacas.

El cuadro del AGBA-GLP merece atención especial dado su volumen demográfico absoluto: los cuatro conjuntos urbanos, tal como se lo señaló en el segmento “Introducción” en torno a los datos utilizados, reúnen casi un 45% del total país pero el área metropolitana mencionada aglomera un 36,2% de la población argentina.

Referencias Bibliográficas

- Coale, A. (1977). *La transición demográfica*. CELADE Serie D N°87. Santiago de Chile, Chile.
- Gencer, E., R. Folorunsho., M. Linkin., X. Wang., C. Natanzon., S. Wajih; S. Wajih, N. Mani, M. Esquivel, S. Ali Ibrahim, H. Tsuneki, R. Castro, M. Leone, and D. Panjwani (2018). “Disasters and risk in cities”. En. Rosenzweig. W. *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network (ARC3.2)* (págs. 61-98). University Press. Cambridge. United Kingdom.
- INDEC (2003). *¿Qué es el Gran Buenos Aires?* INDEC. CABA, Argentina.
- INDEC (2023a). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados provisionales*. INDEC. CABA, Argentina.
- INDEC (2023b). *Encuesta Permanente de Hogares. Diseño de registro y estructura para las bases preliminares Hogar y Personas*. INDEC. CABA. Argentina.
- Omran, A. (2005). “The Epidemiologic Transition. A Theory of the Epidemiology of Population change”. *The Milbank Quarterly. A Multidisciplinary Journal of Population Health and Health Policy*. Dec 2005; (Vol. 83)4: pp. 731-757.

LA UNIVERSIDAD EN LOS TERRITORIOS: APORTES DESDE EL SANEAMIENTO A LA INTEGRACIÓN SOCIO URBANA

Mendez Zacarías Soledad^{(1),(2)}, González Albertina^{(1),(2)}, Marozzi Cristina⁽¹⁾ y Pacini Virginia⁽¹⁾

(1) Centro de Ingeniería Sanitaria. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (CIS, FCEIA, UNR).

(2) Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (DH-CURIHAM, FCEIA, UNR). Argentina

E-mail: jovitamz@fceia.unr.edu.ar, vpacini@fceia.unr.edu.ar, albertg@fceia.unr.edu.ar, marozzic@fceia.unr.edu.ar
teléfono: + 54 341 5500691 (Mendez Zacarías Soledad)

Introducción

La falta de acceso al agua segura y saneamiento en los Barrios Populares de nuestro país, es parte de una problemática estructural compleja cuyo abordaje integral debería realizarse desde la Integración Socio Urbana.

La cantidad de barrios populares en Argentina (5687) y en Rosario (110) es abrumadora, como también lo es la crisis sanitaria, social y ambiental en la que viven los y las habitantes de dichos territorios.

Frente al escenario de múltiples desigualdades y creciente aumento de población en áreas urbanas, se ha respondido a través de los tiempos de diferentes maneras por parte del Estado en sus diferentes niveles: desde la erradicación de los barrios populares, pasando por una urbanización que en muchos casos no contemplaba las particularidades de cada territorio y en estos últimos años a través de la Secretaría de Integración Socio Urbana de la Nación se ha generado un cambio de paradigma donde se contempla la "integración socio urbana" como política de estado. Incluye componentes y acciones vinculadas al mejoramiento del hábitat, a la regularización dominial, al mejoramiento de viviendas (déficits cualitativo) y a la creación de nuevas viviendas (déficits cuantitativos). Asimismo, apunta al desarrollo económico y productivo, especialmente al fortalecimiento de la economía popular ya sea en el diseño, en la ejecución de las acciones como en la sostenibilidad/mantenimiento de las obras realizadas en los barrios.

En este contexto surge el Programa Barrios FCEIA, el mismo es un programa permanente de vinculación, extensión e investigación de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA), desde donde se trabaja para generar nuevos conocimientos aplicados a proyectos de infraestructura de acceso a agua segura y saneamiento básico y mejoras del hábitat de los barrios populares con enfoque de derechos y mirada integral.

Objetivos del Programa Barrios FCEIA

El programa tiene los siguientes objetivos:

- Generar proyectos de infraestructura en relación al acceso a agua segura y saneamiento básico que puedan contribuir a la mejora del hábitat de los barrios, siempre con una mirada integral del territorio.
- Asumir el rol social que debe tener la Universidad Pública e involucrarnos con las distintas problemáticas de la sociedad para buscar respuestas de manera colectiva.
- Contribuir a la formación de profesionales, sensibles y empáticos/as. Entendiendo que cualquier proyecto de infraestructura modifica o condiciona la vida de muchas personas. Es importante que quienes proyecten o ejecuten obras, o quienes luego ocupen lugares de toma de decisión de políticas públicas sean profesionales sensibles.

- Generar nuevos conocimientos en cuanto a estas temáticas, desde los territorios, cambiando los paradigmas establecidos y las formas de enseñanza-aprendizaje a las que estamos acostumbradas. Salir de las aulas – laboratorios, para pensar un ida y vuelta entre la universidad y los distintos actores de la sociedad. Nutrir a las universidades de un realismo que muchas veces falta.

Metodología

Los proyectos realizados desde el programa son de diversa magnitud y las propuestas de intervención son particulares para cada caso. Las propuestas van desde soluciones paliativas a problemáticas concretas hasta el diseño de infraestructura en Proyectos de Integración Socio Urbana. También se han desarrollado capacitaciones en temáticas relacionadas al acceso al agua y saneamiento y se sostienen espacios de gestión y articulación con cooperativas y actores clave del Estado, la empresa prestadora de servicios y organizaciones sociales.

Se articula con organizaciones territoriales, vecinales, prestadoras y organismos municipales y provinciales para la planificación, gestión y ejecución de los proyectos.

Si bien, cada proyecto tiene sus particularidades, se puede describir como metodología transversal a todos la siguiente:

Anclaje territorial e identificación de actores clave en el territorio:

Los proyectos en los que se decide participar, siempre surgen de alguna manera a partir de una demanda de las personas que habitan el territorio en cuestión. Esta demanda suele presentarse a través de organizaciones sociales, vecinos/as organizadas, de instituciones, etc. Se realizan reuniones con referentes, se identifican posibles actores estratégicos para el análisis de la situación y se evalúa la posibilidad de intervención.

Conformación de equipos de trabajo:

los proyectos se realizan con la participación de estudiantes, graduadas/os, docentes, no docentes e investigadoras/es bajo diversas figuras (adscripciones, convenios, tesinas, prácticas profesionales, etc.), pero también en algunos casos se logra trabajo conjunto tanto con trabajadores de instituciones presentes en los territorios, como del área de relaciones con la comunidad de la empresa prestadora del servicio de agua ASSA.

Construcción del problema:

Las problemáticas de acceso al agua y saneamiento tienen múltiples aristas y son complejas, por lo cual para poder identificar y construir cada problema en particular, se intenta escuchar multiplicidad de voces y el análisis trata de realizarse, dentro de lo posible, de manera interdisciplinaria con el resto de los actores que se hayan identificado en el barrio.

Propuestas de intervención:

Habiendo analizado la situación particular del territorio a intervenir, trabajando con vecinas/vecinos, referentes,

organizaciones, representantes de organismos del estado, se realiza una propuesta de intervención acorde a la magnitud de la situación a abordar y las posibilidades de financiamiento.

Resultados

Entre mayo 2020 y abril 2023 se desarrollaron: 17 trabajos académicos con estudiantes de los cuales varios sirvieron como base para la ejecución de redes comunitarias para el acceso al agua (Ver Figura 1) y mejoras en los sistemas de evacuación de efluentes domiciliarios y pluviales ; 6 Capacitaciones en territorio en temáticas relacionadas al acceso al agua segura y saneamiento (Ver Figura 2). A su vez se acreditó en 3 subsidios que sirvieron para la materialización de algunos de los proyectos.



Figura 1. Tendido red comunitaria en barrio popular.



Figura 2. Capacitación en territorio.

Se participó en la elaboración de Proyectos de Integración Socio Urbana, para tres barrios del sur de la provincia de Santa Fe que serán financiados por la Secretaría de Integración Socio Urbana, bajo el formato de Proyecto Ejecutivo General.

En cuanto a la gestión: se pudieron coordinar 5 encuentros de Mesas Gestión Interinstitucional, donde participan además de

los equipos de la universidad, representantes del estado provincial, municipal, defensa del consumidor de Rosario y la empresa prestadora del servicio de agua y cloaca. Además se realizaron 3 Consejos y 2 Mesas gestión Barriales, donde se trabajó con vecinxs y referentes barriales y se contó con la presencia de autoridades de la gestión municipal y del área salud.

Conclusiones

Se concluye que la toma de decisiones basadas en la evidencia debería tener un rol más fuerte en Argentina.

La participación de la Universidad Pública juega un rol clave en la construcción conjunta de nuevos conocimientos desde los territorios, cambiando los paradigmas establecidos y las formas de enseñanza-aprendizaje tradicionales.

Para poder proyectar intervenciones integrales desde un enfoque de derechos, que respeten y mejoren el derecho a un ambiente sano y a la salud creemos que es imprescindible reconocer la complejidad de los problemas, sus diversas dimensiones e interdependencias. Resulta clave el trabajo interdisciplinario, interinstitucional y participativo.

En este tipo de intervenciones es muy importante reconocer y jerarquizar la dimensión social, para que los proyectos respeten la identidad de los territorios y las costumbres de sus habitantes.

Resulta de vital importancia generar, fortalecer e institucionalizar los espacios de coordinación intersectorial, donde se puedan discutir cuestiones de políticas públicas relacionadas a la planificación urbana, estratégica y barrial; como así también se puedan establecer acuerdos y ejes de trabajo conjunto que puedan institucionalizarse.

Finalmente se concluye respecto a la necesidad formalizar los acuerdos con el estado en sus diversos niveles, a fin de garantizar la sostenibilidad de las intervenciones. Cuando se termina una obra, no termina la intervención del Estado. El cuidado y mantenimiento de las nuevas infraestructuras requerirá acuerdos entre diversos niveles del estado (responsable primario de la infraestructura pública) para garantizar la integridad y buen funcionamiento de las mismas.

Bibliografía

- Abramo, Pedro (2012). "La ciudad com-fusa: mercado y producción de la estructura urbana en las grandes metrópolis latinoamericanas" *Revista EURE*. Vol 38. , 35-69.
- Gabinete Social (2019). *Integralidad, territorio y políticas sociales urbanas. La experiencia del Plan Abre de la Provincia de Santa Fe*. Rosario: Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de la Provincia de Santa Fe.
- García Monticelli Fernanda (2019). El certificado de vivienda familiar creado por el Decreto 358/2017 y los modos de adquirir el dominio. *Tesis de grado. Abogacía*.
- Gouverneur, D.; Grauer O. (2001). *De los asentamientos informales a la ciudad: los "barrios" de Caracas*. Quaderns, d'Arquitectura i urbanisme 228, 30-33.
- Granero Realini G., Barreda M.P, Bercovich F. (2019). La política habitacional en Argentina. Una mirada a través de los institutos provinciales de vivienda. Documento de Trabajo número 181. Programa de Ciudades. Área Desarrollo Económico.
- Merklen, Denis (2009). "Un pobre es un pobre. La sociabilidad en el barrio: entre las condiciones y las prácticas". En P. Pírez (Ed.), Buenos Aires, la formación del presente. Quito, Colombia, OLACHI
- Pírez, P. (1995). "Actores sociales y gestión de la ciudad" en Ciudades 28. RNIU. México.

CAPTACIÓN PLUVIAL, PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y AUTOFINANCIAMIENTO DE FINANZAS PÚBLICAS EN EL ÁRIDO RIOJANO

Carla Rebeca Méndez¹; Andrés Ignacio Grande²; Diego Iván Pereyra³; Ana Carolina Rameri⁴

¹INTA EEA La Rioja, ²INAFCI, ³INTA EEA La Rioja, ⁴Especialista en Economía del Instituto de Pensamiento y Política Pública (IPYPP) de la CTA, Argentina.

E-mail: mendez.carla@inta.gob.ar; andresgrandeg@yahoo.com.ar; pereyra.diego@inta.gob.ar; anarameri@yahoo.com.ar

Introducción

Este estudio presenta la rentabilidad económica y financiera de un módulo de producción de alimentos en el árido riojano abastecido por un reservorio de captación de escorrentías estivales. La propuesta consiste en la instalación de un módulo productivo con obras de captación y almacenamiento de agua pluvial asociada con infraestructura productiva de hortalizas y huevo destinada a la generación de alimento para 400 personas.

Propuesta técnica

En una superficie de seis hectáreas se podría instalar un módulo productivo que incluya una represa para la captación y almacenamiento de escorrentías pluviales, huerta, gallinero y lombricario que genere alimento para 400 personas (Giacobone et al, 2018). Con la construcción de una represa que almacene 28.768 m³ (Grande *et al.*, 2021) se podría producir una hectárea de hortalizas que aportara como mínimo 35.000 kg anuales de verdura (COFRULAR, 2022). Los excedentes y residuos ayudarían a la alimentación del plantel de 400 gallinas ponedoras que generarían 120.000 huevos, y a su vez sus excretas servirían para la producción de humus de lombriz aplicable a la restauración y mejoramiento del suelo en producción, propiciando la sustentabilidad ambiental, económico y productivo del sistema bajo el paradigma de la circularidad.

Para el dimensionamiento de la represa en este ambiente desértico que se caracteriza por tener concentradas las precipitaciones en sólo tres meses del año, además de tener en cuenta las necesidades hídricas anuales del cultivo 10.200 m³/ha (2 ciclos por año), sus pérdidas por evapotranspiración 1411 mm/año y la eficiencia del sistema de riego del 90% (Grande et al, 2021), se realizó un análisis estadístico de precipitaciones anuales con funciones de probabilidad de extremos (Ven te Chow, 1994) a fin de estimar la precipitación de ocurrencia anual (TR=1.01 años). Es decir, aquella precipitación que garantiza su mínima ocurrencia probabilística anual, como así también las pérdidas por infiltración y evaporación en la represa.

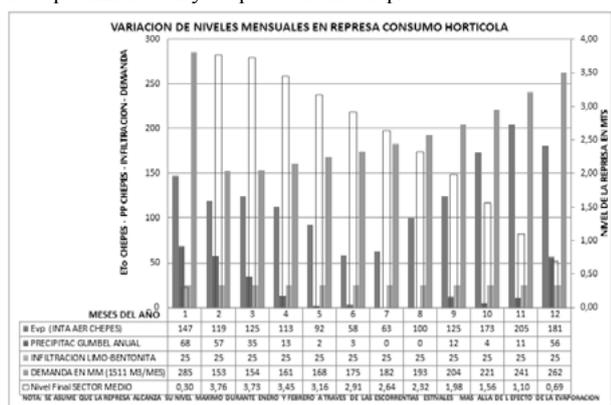


Figura 1.- Modelación de la dinámica de niveles en la represa bajo producción hortícola en el árido riojano.

Asumiendo un coeficiente de escorrentía de 0.08 para los suelos y condiciones del sur riojano en el período estival (Ven te Chow, 1994), se estimaron las superficies de las subcuencas capaces de coleccionar el agua necesaria para su abastecimiento y mediante el análisis de imágenes satelitales se determinaron las capaces de cumplir con este criterio, a fin de observar la factibilidad de su posible ubicación. La represa tiene obras complementarias que optimizan su funcionamiento, tales como

desarenador, vertedero principal, vertedero de excedencias, rápida y dissipador de energía, obra de toma y bombeo mediante energía solar (Basan Nickish, 2007).

Para la propuesta productiva se tuvieron en cuenta datos bibliográficos y empíricos sobre las especies vegetales que mejor se producen y más se consumen en la zona, y sus requerimientos hídricos. Se tomaron en cuenta propuestas de producción agroecológica avícola como así también el reciclado de los desechos a través de la producción de lombricomposteo.

Para calcular las inversiones de la huerta se planteó un esquema de cerramiento de 7 hilos de alambre y un sistema de riego por goteo en camellones de 1.5 m de ancho con cintas de goteo cada 50 cm, con gotero de 2 l/h con separación de 30 cm entre sí.

Para calcular las inversiones avícolas se propuso un modelo con área amplia de patio que incluya presencia de árboles, arbustos y herbáceas nativas, incluyendo un galpón con campana de cría, nidales, bebederos y comederos, complementado el esquema con un lombricario de 70 metros de longitud.

Análisis económico - financiero

La propuesta se analiza bajo un enfoque de política pública de inversión estatal, por lo que el grupo de personas que trabajarían en el proyecto recibirían todas las instalaciones de propiedad estatal a modo de comodato sin costo. El módulo generaría empleo para tres familias rurales bajo un ingreso permanente a través de la comercialización de la producción, al cabo de un año una vez que haya entrado en régimen del sistema productivo.

El análisis económico financiero teórico pretende evaluar si esta propuesta de política pública podría considerarse un gasto o una inversión fiscal y a la vez estimar sus bondades económicas.

Para la evaluación económica se realiza un análisis teórico a través de costos, utilidades y amortizaciones a 20 años. Para el análisis financiero se toma al Estado como inversor evaluando la rentabilidad de la inversión, siendo los parámetros de recuperación fiscal el IVA de los bienes y del circulante generado.

Se tuvieron en cuenta los costos de inversión de las obras antes descriptas y también los implementos necesarios para la producción y comercialización (Tabla 1 y 2). Con dichos datos se calcularon las variables clásicas como Margen Bruto, Tiempo de Retorno, Tasa Interna de Retorno y Relación Costo Beneficio (Tabla 3, los valores expuestos corresponden a octubre del 2022).

Tabla 1.- Tipo y costo de la inversión.

Inversión	Monto \$
Infraestructura gallinero	4.588.400
Infraestructura represa	14.000.000
Cerramiento y sistema de riego huerta	1.119.180
Infraestructura producción y comercialización	2.985.000
Total	21.692.580

Tabla 2.- Costo totales.

Material	Cantidad	Costo total
Semillas hortícolas		360.000
Combustible para producción y comercialización	210 litros	31.500
Servicios	12 meses	72.000
Mano de obra	3 personas	2.498.904
Gallinas ponedoras	400	60.000
Alimento balanceado	512 bolsas	1.792.000
Costo anual de amortización	20 años	406.286
Costo total		5.220.690

Tabla 3.- Ingresos generados por venta de productos.

Material	Cantidad vendida	Ingreso anual [\$]
Hortalizas	35.000 kg	3.850.000
Huevos	120.000	3.600.000
Carne de gallina de descarte	160	300.000
Ingresos totales		7.750.000

Margen Bruto = Ingresos totales – Costos de producción, comercialización y amortización

MB = \$ 2.529.310,29

Evaluación financiera

Con la inversión de infraestructura requerida (Tabla 1) y junto al ingreso bruto anual que generaría esta propuesta productiva (Tabla 3), el Estado como inversor recuperaría esos fondos por recaudación impositiva mediante el IVA, debido fundamentalmente al carácter socioproductivo de la propuesta (no gravaría ganancias e ingresos brutos).

Para los miembros del IPYPP que integran el equipo de este trabajo, es clave definir dos aspectos de la recaudación en general.

Propensión marginal al consumo: proporción del incremento del ingreso destinado al consumo que vuelve a circular en el medio local. Para el cálculo se tomó una propensión marginal a consumir similar al promedio para la Argentina (0,6), resultando una vuelta total del capital de 2.5 veces (Keynes, 2007).

Tasa de blanqueo: cuánto de lo que se inyecta como circulante es captado por los agentes de retención formalmente inscriptos en el Estado en los llanos riojanos. Esta tasa es un factor que disminuye inversamente con la formalidad de la economía local.

Tabla 4.-Tasa de blanqueo teórica por concepto.

Concepto	Factor de blanqueo IVA
Inversión general del proyecto	1
Inversiones en insumos	0.7
Inversiones en servicios	1
Consumo de los salarios	0.4
Inversión del capital	0.9
Inversión de la utilidad	0.7
Consumo de ahorro	0.4

Realizando un análisis clásico financiero en donde la inversión inicial es el gasto erogado y las recuperaciones por IVA son los ingresos de este proyecto, se alcanzan las resultantes financieras del análisis y la evolución del flujo de gastos del Estado como inversor, resultando los siguientes valores:

VAN: \$ 25.940.645

TR: 6 años

Costo/Beneficio: 2.2

TIR: 0.11%

En la Figura 3 se puede ver el flujo de caja de este proceso. Estos valores muestran que la recuperación por IVA por parte del Estado como inversor de este tipo de propuestas no significa un gasto sino una inversión fiscal, logrando recuperar la inversión realizada en 6 años bajo una relación beneficio costo mayor al doble. Esto plasma la posibilidad del autofinanciamiento de las finanzas públicas para movilizar los sectores productivos de esta escala incluso en el árido riojano.

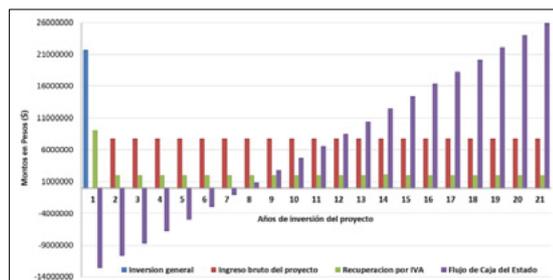


Figura 3.- Inversión y recuperación del capital por parte del Estado.

Evaluación socioambiental

Actualmente el abastecimiento hortícola en los llanos se resuelve mediante el transporte por camión, los mismos trasladan por viaje 9.000 kilos de hortalizas desde un promedio de 200 km. El consumo de gasoil cada 100 km es 30 litros en promedio. Por lo que, para transportar 35.000 kg como los producidos por el módulo se requerirían 4 viajes.

Huella de carbono = dato activo x factor de emisión
(Manual de aplicación, 2018)

Huella de carbono = 1329.6 kg CO2 eq/año.

El proyecto genera 3 empleos directos, genuinos y estables durante los 20 años de vida útil del mismo a través de la producción y comercialización de hortalizas y huevos en el árido.

Empleos generados = N° de empleos/año x Salario anual

Ingresos generados = \$2.498.904/año

Discusión

En esta propuesta resulta relevante la recuperación de la represa como tecnología de captación y acopio de agua de lluvia para su uso productivo en el desierto riojano. Este módulo aprovecha esta tecnología ya apropiada regionalmente para generar hortalizas y huevos que aporten volumen a los circuitos cortos de comercialización, potenciando así la soberanía y seguridad alimentaria del territorio, resultando una propuesta sustentable económica, financiera, social y ambientalmente.

Del análisis financiero de esta alternativa productiva se puede ver que, asumiéndose el Estado como inversor, los fondos serán recuperados en 6 años a través de su matriz impositiva (en este caso solo IVA) bajo una relación costo/beneficio superior al doble. Esto demuestra la factibilidad del autofinanciamiento de las finanzas públicas como política para el sector productivo de pequeña escala de alimentos frescos incluso en un ambiente riguroso como el árido riojano.

Desde el punto de vista socioeconómico, el módulo permitiría generar tres salarios de peón rural y utilidades para las reinversiones necesarias en el periodo de 20 años, esto contribuiría a la mejora en la calidad de vida al promover el arraigo y la generación de empleo, en una zona caracterizada por la falta de oportunidades y el despoblamiento rural.

Finalmente, basándose en el paradigma de economía circular se destaca que ambientalmente el módulo contribuye a disminuir la huella de carbono al minimizar los circuitos de producción – comercialización y aportar al mejoramiento de estructura y el contenido de materia orgánica del suelo

Referencias

- Basan Nickish, M.** (2007), “Aprovechamiento de agua de lluvia en zonas semiáridas y áridas con propósitos múltiples”, Congreso Nacional del Agua, Santiago del Estero.
- COFRULAR** (2022). Datos suministrados por la Cooperativa de Frutas y Verduras de La Rioja, La Rioja.
- Giacobone G, Castronuovo L, Tiscornia V, Allemandi L** (2018). “Análisis de la cadena de suministro de frutas y verduras en Argentina”, Fundación Interamericana del Corazón, Argentina.
- Grande, A.; Méndez R.; Mena, R.; Pereyra, D.** (2021), “La represa como instrumento en una política pública”. Revista TECNOÁRIDO INTA EEA La Rioja, Año 3 - N° 5 - Capítulo 1.
- Keynes, J.** (1936 [2007]). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero.* (3a. Ed.2ª reimp.). Buenos aires. Fondo de cultura económica. Cap. 10.
- Manual de aplicación de la huella de carbono.** 2018. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. Ministerio de Agroindustria Provincia de Buenos Aires.
- Ven te Chow et al,** (1994), *Hidrología aplicada.* Editorial Mc Graw Hill, Colombia.

50 AÑOS DE TRAYECTORIA EN LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO PARA LA GIRH

M. Valeria Mendoza¹ y Brenda J. Faro²

1. Instituto Nacional del Agua, Argentina, mmendoza@ina.gob.ar

2. Instituto Nacional del Agua, Argentina, bfaro@ina.gob.ar

Introducción

Existe una toma de conciencia, cada vez mayor, de que los actuales manejos sectoriales del agua implican riesgos que tienen que ver con la disminución de la cantidad y calidad de agua para satisfacer a todos los usuarios presentes y futuros. Para asegurar la sustentabilidad de las cuencas hídricas es necesario que la gestión sectorial se resuelva desde un enfoque integrado o sistémico. Para que esto pueda concretarse, es muy importante que los gestores de los recursos hídricos mejoren el conocimiento de los conceptos y prácticas asociadas al proceso de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Desde 1980, la Subgerencia Centro Regional Andino (Instituto Nacional del Agua – INA-SCRA) realiza investigaciones, brinda asistencia técnica y capacitación en GIRH. Todas estas acciones contemplan instancias de evaluación de su proceso e impacto.

Para el caso particular de actividades de desarrollo de capacidades, es esencial comprender los efectos que las mismas han tenido en los participantes, en las instituciones y en los demás usuarios del agua y las razones de ello a fin de tender un puente entre ellas y la gestión efectiva de los recursos hídricos. En este sentido, estos años de trayectoria en la generación de conocimiento y desarrollo de capacidades han posibilitado:

- identificar cambios concretos promovidos e iniciados en la práctica a partir de las acciones de desarrollo de capacidades implementadas.

- reconocer líneas de acción y principios para un efectivo desarrollo de capacidades.

En este trabajo se presentan los principales impactos fruto de 50 años de trayectoria en el desarrollo de capacidades y los factores de éxito identificados para su efectividad.

Metodología utilizada en las actividades de Desarrollo de Capacidades del INA-SCRA

La organización de cursos, seminarios y conferencias de carácter interdisciplinario tiene como fin el desarrollo de los recursos humanos a fin de mejorar sus capacidades técnicas y conceptuales y su comportamiento organizacional de tal manera de fomentar una conciencia hídrica que facilite el manejo integrado y racional de los recursos.

Constituye ésta una meta permanente del INA-SCRA, cuya importancia creciente encuentra cada vez más, un amplio reconocimiento y valoración en los distintos niveles jurisdiccionales, organizacionales y sectoriales de la provincia, región y país e inclusive del exterior, que se encuentran directa o indirectamente vinculados con estas temáticas.

En la actualidad, en Argentina, existen numerosos organismos de manejo de los recursos hídricos que ya tienen una amplia experiencia y una importante trayectoria de acción. Si bien éstos tienen profesionales bien formados con ideas claras acerca de qué y dónde hacer, falta el pensamiento sistémico, integrado e interdisciplinario, elemento básico e indispensable para alcanzar la meta propuesta.

El conocimiento de los problemas y de sus soluciones existe, es decir, el "know how" está en gran medida instalado y sólo requiere de instancias de organización para que se puedan canalizar los esfuerzos hacia la resolución concreta de los problemas.

En todas las actividades desarrolladas se utiliza la metodología del **Ciclo de Aprendizaje Vivencial** considerando la experiencia de los participantes como recurso de aprendizaje; ella le plantea retos al participante y lo invita a ser protagonista de su propio aprendizaje, constructor de su propio conocimiento y no sólo un espectador que escucha o ve al expositor presentar cierta información. Los docentes responsables de esta actividad operan como facilitadores de procesos de trabajo intersectorial e interdisciplinario realizados por los propios profesionales, quienes trabajan en la identificación de los problemas y propuestas de acción para su resolución, en el desarrollo de capacidades para la toma de decisiones y en el análisis crítico de los aspectos de la compleja realidad de la gestión de los recursos hídricos.

Esta metodología es un excelente recurso de aprendizaje a través del intercambio de errores y aciertos, convicciones y dudas; para que sea efectiva, se deben propiciar, durante todo el proceso de aprendizaje, instancias de debate en un clima de reciprocidad, respeto y colaboración.



Figura 1.- Curso "GIRH en condiciones de Sequía", Mendoza, 2013

Impacto del Desarrollo de Capacidades en la GIRH

Un primer análisis de los procesos e impactos de las actividades de desarrollo de capacidades ejecutadas permite afirmar que todas ellas han tenido **efectos positivos** en los participantes, en las instituciones y en los demás usuarios del recurso hídrico.

Impacto #1: Integración efectiva de intereses de diferentes sectores

Partiendo de los conceptos básicos sobre GIRH se logró la concienciación de los usuarios para la construcción de soluciones que tengan en cuenta los intereses de diferentes sectores.

Impacto #2: Evaluación y análisis económicos para la toma de decisiones

Los participantes aplicaron los nuevos conocimientos a fin de generar información básica para la toma de decisiones (evaluación económica de proyectos de acción, análisis costo-beneficio, análisis de sistemas tarifarios, etc.)

Impacto #3: Cambio en la forma de gestión y transferencia de conocimientos

Se han logrado cambios de actitud y forma de analizar la problemática de la GIRH incorporando la racionalidad económica en cada decisión a tomar. Estos conocimientos han sido retransmitidos a diferentes actores generándose un efecto derrame del conocimiento.

Impacto #4: Inserción laboral y roles definidos para la gestión del agua

Varios participantes han accedido a puestos laborales de mayor responsabilidad y/o envergadura, con capacidad para intercambiar ideas y experiencias, elaborar diagnósticos de GIRH, etc.

Impacto #5: Diseño de instrumentos para la GIRH

Se han elaborado instrumentos de planificación necesarios para iniciar procesos de GIRH.

Impacto #6: Diseño de soluciones concretas a problemas prácticos

Los participantes han iniciado proyectos de investigación orientados a proveer soluciones originales a problemas particulares, en el marco del enfoque GIRH.

Impacto #7: Transferencia de conocimientos y buenas prácticas

Varias instituciones de gestión pública y privada de la región han mostrado interés en adecuar y/o replicar los programas de desarrollo de capacidades.

Factores de Éxito

A continuación, se mencionan algunos **factores de éxito** identificados en las experiencias relevadas:

Factor #1: Respuesta a las demandas

El impacto del desarrollo de capacidades es mayor en la medida en que los contenidos, enfoques y metodologías respondan a las demandas concretas en momentos y para grupos metas que participan en la gestión de los recursos hídricos.

Factor #2: Resolución de problemas

Trabajo sobre casos/información real y propuestas orientadas a proveer soluciones originales a problemas particulares en el marco de los principios que sustenta la GIRH.

Factor #3: Liderazgo definido

Las personas que usan y gestionan los recursos hídricos buscan el liderazgo de quienes pueden gestionar los conocimientos necesarios para apoyar a los procesos de la GIRH.

Factor #4: Especialización en desarrollo de capacidades

La planificación, diseño y preparación de los contenidos y prácticas de la enseñanza es clave y, con ello, la especialización de los equipos de facilitación (pedagógicos y temáticos).

Esto incluye: a) seleccionar los participantes en base a criterios claros (incluye equidad de género); b) permitir que los destinatarios participen de la elección de los temas a trabajar de acuerdo con sus necesidades; c) trabajar tanto temas estructurales y básicos como temas específicos; d) promover el intercambio de experiencias y el trabajo en equipo entre los participantes; e) utilizar herramientas de educación a distancia y f) elaborar material pedagógico específico para los destinatarios.

Factor #5: Evaluación y monitoreo

Proceso de acompañamiento a las acciones en terreno a fin de orientar la aplicación de las herramientas aportadas. Seguimiento sistematizado de los participantes para motivar a aquellos que aún no han comenzado este proceso. Evaluación de impacto y seguimiento para mejorar las acciones futuras.

Factor #6: Importancia de la institucionalización y sustentabilidad de las acciones de desarrollo de capacidades

Importancia del trabajo en conjunto con autoridades y organizaciones locales a fin de responder a las necesidades específicas de grupos de interés con roles puntuales en la gestión del recurso y para asegurar el mayor impacto y continuidad del proceso de formación de capacidades. En esta línea, es recomendable promover la presencia de las autoridades locales ya que son quienes poseen los recursos y atribuciones para implementar las acciones derivadas del plan de GIRH.

Factor #7: Colaboración

Trabajo en asociación con otras instituciones y toma de decisiones de forma colegiada.



Figura 2.-Curso on-line tutorizado, 100 participantes en 3 ediciones

Conclusiones

El enfoque de asociatividad; el proceso de identificación e inclusión de demandas y grupos metas y la forma de darles respuestas; las metodologías de la enseñanza que deben lograr enfoques interdisciplinarios e integrados considerando casos e información desde el campo; y el equilibrio de género son algunos de los factores de éxito transversales a todos los casos.

Cuando estas variables están presentes, las acciones de desarrollo de capacidades logran institucionalizarse, se anclan localmente y el resultado final es un incremento del capital social y, por ende, la sustentabilidad de las acciones.

CO-GESTIÓN PARA EL ACCESO AL AGUA EN COMUNIDADES RURALES DE ITATÍ (CORRIENTES, ARGENTINA)

Paredes, Federico A.¹ y Patricia P. Langé²

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, Ruta Nac. N°12, km 1008, El Sombrero, Corrientes, Argentina; ² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Agencia de Extensión Rural Corrientes, Ruta Pcial. N°5, km 2,5, Capital, Corrientes, Argentina.

E-mail: paredes.federico@inta.gov.ar; lange.patricia@inta.gov.ar

Introducción

El acceso al agua es fundamental para el desarrollo sostenible de las sociedades, la producción de alimentos y la soberanía alimentaria. En las zonas rurales, el acceso al agua y su variedad de usos están estrechamente vinculados con el desarrollo y la pobreza. Por lo tanto, es crucial promover y concienciar sobre la contribución del acceso al agua en la reducción de la pobreza, a través de una colaboración entre gobiernos, ONG y organizaciones de la sociedad civil, con el objetivo de mejorar la gestión del agua (Soussan et al., J., 2006).

En el Noroeste de Corrientes, los agricultores familiares hacen uso del agua para diversas necesidades: consumo doméstico, abastecimiento de animales, riego y agroindustria familiar. A pesar de que en Corrientes el sector agrícola familiar no ha experimentado cambios significativos en su estructura fundamental de producción de alimentos básicos para satisfacer las necesidades familiares y vender el excedente, es importante destacar que la Agricultura Familiar no debe ser considerada como vulnerable y necesitada de asistencia, sino más bien reconocer su capacidad para una producción sostenible como una unidad económica (Bordas, 2015). Sin embargo, al igual que en otras regiones, estas comunidades rurales se encuentran con desafíos específicos. Entre ellos se encuentran la implementación de regulaciones, la necesidad de reflexionar y redefinir la perspectiva actual sobre los recursos naturales (Burns Pietrantuono, 2019) y las dificultades para acceder a una infraestructura adecuada que facilite la captación, distribución y uso del agua.

La gestión comunitaria del agua implica la administración y gobernanza del recurso hídrico a nivel local, y requiere la participación y toma de decisiones por parte de la comunidad en un territorio determinado. Un ejemplo de ello es la Mesa de Producción de Itatí, un espacio conformado por diversas organizaciones, instituciones y actores de la comunidad, que trabajan conjuntamente para abordar necesidades específicas de la región, incluyendo el acceso al agua de los agricultores familiares.

El objetivo de este estudio fue analizar las acciones llevadas a cabo por la Mesa de Producción de Itatí en los últimos cinco años, en relación a los procesos de gestión compartida para el acceso al agua en las comunidades rurales de la zona. Además, se realizó un relevamiento de aspectos cualitativos relacionados con el acceso al agua y se caracterizaron las fuentes de agua utilizadas para diversos fines.

Desarrollo de la Experiencia

En el departamento de Itatí, en la provincia de Corrientes, funciona la Mesa de la Producción, una instancia interinstitucional y representativa que fue establecida hace 20 años con el propósito de abordar los desafíos que enfrentan los pequeños productores y campesinos. Las comunidades están estrechamente relacionadas con diversas instituciones y en su mayoría son miembros de organizaciones de la sociedad civil, como comisiones vecinales, asociaciones y feriantes.

La metodología utilizada consistió en llevar a cabo un mapeo

descriptivo de las situaciones problemáticas relacionadas con el acceso al agua, mediante un muestreo de un conjunto de núcleos familiares seleccionados como casos representativos. Además, se realizó un análisis cualitativo de la información recopilada a través de entrevistas semiestructuradas con referentes de la comunidad, abordando temas como calidad de vida y hábitat.

Como parte de sus objetivos, la Mesa de Producción identificó la necesidad de promover la colaboración en la gestión del acceso al agua en las comunidades rurales.



Figura 1.- Reunión para tratamiento de la problemática del agua, Pje. La Palmira, Itatí.

Inicialmente, se utilizaron reuniones, talleres y entrevistas como métodos para llevar a cabo un relevamiento preliminar. Estas actividades permitieron identificar las necesidades más urgentes y orientar las acciones futuras. En el trabajo de campo, se elaboraron mapas y croquis para facilitar la comprensión por parte de todos los actores involucrados y avanzar en la toma de decisiones.

Para evaluar la calidad del agua con fines múltiples, siguiendo la metodología propuesta por Basan Nickisch (2016, en Zamora y Prieto, eds.), se recolectaron muestras de agua para realizar análisis de calidad microbiológica y físico-química. Se seleccionaron 51 fuentes de agua pertenecientes a 44 sistemas productivos de agricultores familiares de la zona, y se llevaron a cabo los muestreos según los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018).

Resultados

Durante el estudio se identificaron distintos niveles de acceso al agua, que incluían aquellos que tenían conexión a la red de agua potable, servicios básicos limitados y otros con acceso limitado. Se encontraron deficiencias significativas en la captación, aprovechamiento y almacenamiento de agua, así como la falta de mantenimiento de las infraestructuras, lo que resultaba en una provisión insuficiente de agua. Estas deficiencias tenían un impacto negativo en la producción y también afectaban la salud de las comunidades.

Durante el análisis de las obras de captación de agua, se identificaron diversos problemas estructurales, como perforaciones someras, rendimientos bajos y falta de protección, entre otros. También se observaron deficiencias en las estructuras de almacenamiento y distribución del agua. En muchos casos, se encontraron perforaciones poco profundas, con profundidades de

16, 18 e incluso 30 metros, y con caudales bajos de alrededor de 1500 litros por hora. Además, se detectó la práctica común de compartir perforaciones entre varios productores o la falta de ellas, lo que obligaba a utilizar pozos, tajamares o incluso agua de la red para la producción.

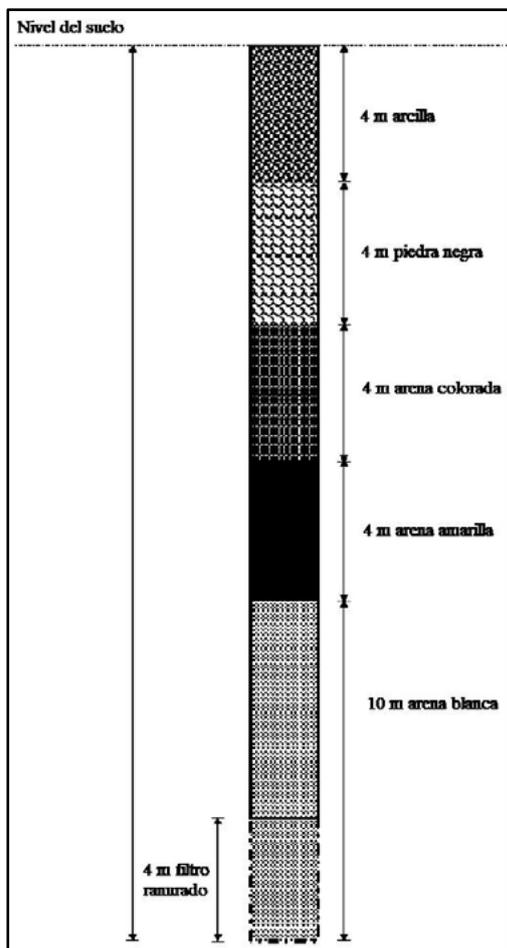


Figura 2.- Perfil del diseño de una perforación representativa de la zona de Itatí, Corrientes.

La mayoría de las familias utilizan agua cuya calidad se desconoce. De todas las experiencias analizadas, el 69% de las familias tenían acceso a una red de agua comunitaria, mientras que el 31% restante dependía de perforaciones o pozos de balde. De aquellos que tenían acceso a una red de agua, el 74% utilizaba ese suministro para la producción.

Se analizaron un total de 42 fuentes de agua, y se encontró que todas eran aguas dulces, con un promedio de sólidos disueltos totales bajo, con una medida de 245,4 mg/L. El 47,5% de las muestras presentaban una baja salinidad, el 42,6% tenía una salinidad media, mientras que el resto tenía una salinidad media-alta (C3). Los niveles de sodio (Na) fueron bajos (S1), con un promedio de RAS (Relación de Adsorción de Sodio) de 0,55.

Reflexiones y aprendizajes

El proceso de investigación permitió explorar la necesidad de promover y generar conciencia sobre la importancia de los espacios de gestión local para el acceso al agua, así como la relevancia de integrar actores y capacidades diferentes debido a la complejidad del tema. Se destaca el papel fundamental de las organizaciones comunitarias en el acceso al agua, lo que nos lleva a reflexionar sobre las condiciones necesarias para lograr

resultados exitosos, como el trabajo en conjunto, la representación adecuada y la disponibilidad de recursos para orientar acciones, así como la distribución de responsabilidades en la implementación de procesos de mejora. Es fundamental alcanzar un amplio consenso social en estas actividades, pero esto requiere necesariamente el respaldo político para mejorar la gestión del agua y aumentar las inversiones destinadas a garantizar su acceso.

Los agricultores familiares desempeñan un papel fundamental al proveer alimentos a la población, comprometiéndose a utilizar de manera eficiente los recursos. Dado que el agua es un recurso escaso y limitado, pero crucial para la producción agropecuaria, especialmente en un contexto de cambio climático, es importante que los productores incorporen conceptos y tecnologías que aseguren el uso eficiente y racional del agua en sus actividades.

Es esencial brindar acompañamiento a estos procesos a través de asistencia y capacitación, así como gestionar el financiamiento necesario, ya que la mayoría de las mejoras requerirán inversiones. El diagnóstico de la calidad del agua utilizada es crucial para garantizar su uso adecuado, y la asistencia técnica debe incluir la capacitación en la toma de muestras, la gestión y el envío de las muestras al laboratorio, así como la interpretación correcta de los resultados para evaluar y tomar medidas adecuadas. Todo esto debe ser parte integral de la asistencia técnica proporcionada a las familias agricultoras.

Palabras clave

Gestión del agua; Agricultura Familiar; Usos múltiples.

Referencias Bibliográficas

- Bordas, C. I.** (2015). *Agricultura Familiar y la aplicación de políticas agrarias locales diferenciadas, en la provincia de Corrientes*. III Congreso Nacional de Derecho Agrario Provincial, Neuquén, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49712>
- Burns Pietrantueno, M.F.** (2019) *Recursos hídricos de Corrientes: aspectos jurídicos y técnico-productivos*. V Congreso Nacional de Derecho Agrario Provincial. Corrientes, Argentina.
- Organización Mundial de la Salud (OMS)** (2018). *Guías para la calidad del agua para consumo humano*. Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Ginebra.
- Soussan, J., Noel, S., Harlin, J., & Schmidt, S.** (2006). *Linking poverty reduction and water management*. United Nations Development Programme Stockholm Environment Institute Poverty-Environment Partnership.
- Zamora Gómez, J.P. y Prieto Garra, D.** (2016). *Agua de calidad con equidad: experiencias, debates y desafíos sobre acceso, tratamiento y uso del agua para la agricultura familiar en América Latina*. 1a ed. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA, 2016.

REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES URBANOS MEDIANTE EL RIEGO DE DIFERENTES ESPECIES DE EUCALIPTOS

Pereyra Rita¹, Zupan Esteban², Crespi Raúl Jesús¹, Croatto Matías¹

(1) Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, Tel: +54 9 358 4676503, Argentina

(2) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, Técnico Regional Córdoba, Tel celular: +54 9 11 55750515, Argentina
E-mail: rpereyra@ayv.unrc.edu.ar – ezupan@magyp.gob.ar

Introducción

Uno de los desafíos de la población mundial creciente es el disponer de agua potable para uso personal, uso recreativo y el riego, lo que se constituye en una problemática a resolver. El recurso agua siempre fue un requisito necesario para la elección del lugar de los asentamientos de las personas para establecerse.

En tierras bajo riego, la reutilización de aguas residuales representa una alternativa para el cuidado del ambiente y el recurso hídrico, ya que en muchas zonas ya existen problemas de disponibilidad de este. En consecuencia, es un recurso valioso y su demanda se incrementará en los próximos años. Para su reutilización debe tener una calidad adecuada, la cual está definida según el cuerpo receptor, y regido por la normativa encargada de regular su aprovechamiento y manejo (Escalante *et al.*, 2003).

Hettiarachchi y Ardakanian, 2017, afirman que a nivel mundial el agua residual tratada, parcialmente diluida con agua, y en algunos casos sin ningún tipo de tratamiento se utilizan para regar aproximadamente 20 millones de hectáreas. Según Scarone, 2011, la Asociación de Riego de los EE. UU. en el año 2002 consideraba que, para satisfacer la demanda en el uso creciente del agua en la agricultura, previsto a nivel mundial para el año 2025 se necesitaría incrementar el uso de aguas residuales tratadas o recicladas, entre otras opciones para el cuidado ambiental.

El agua no solo aporta nutrientes a través de las raíces si no que satisface las demandas de transpiración, favorece el proceso de elongación celular, metabolismo, etc. (Honorato, 2000). En el mundo, por su rápido crecimiento, los eucaliptos son los forestales de fibra corta más implantado (Riu y Somoza 1997).

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de biomasa en cuatro especies de eucaliptos bajo riego con aguas de distinta procedencia.

Materiales y Métodos

En el año 2005 se instaló en la Universidad Nacional de Río Cuarto (33°07' S y 64°14' O, a 421 msnm), la denominada Planta Experimental para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, con un enfoque interdisciplinario, destinada a desarrollar estrategias de protección del ambiente. La zona de estudio se caracteriza por clima templado húmedo con invierno seco. Con respecto a las precipitaciones, la media anual es de 858,7 mm concentrados el 80% entre los meses de octubre a marzo correspondiendo un régimen de precipitaciones monzónico. El régimen térmico es templado-mesotermal, caracterizado por una temperatura media anual de 16,4 °C, con 22,9 °C de temperatura media para el mes más cálido, 8,9 °C de temperatura media para el mes más frío (Estación Meteorológica Río Cuarto, Aero (SMN), Serie 1981-2010, SMN, 2021). Las heladas ocurren todos los años, siendo la fecha media de primera helada el 22 de mayo (desvío estándar ± 22,3 días), la fecha extrema de primera helada es el 14 de abril, la fecha media de última helada el 11 de septiembre (desvío estándar ± 18 días), la fecha extrema de última helada es el 4 de noviembre y el período medio libre de heladas de 253 días (Serie 1981-2010) (UNRC, 2021). La dirección predominante del viento es N – NE.

Dicha planta posee capacidad para tratar un caudal de 25.000 L día⁻¹ de efluentes generados en un complejo de residencias estudiantiles. Estos son tratados mediante lagunas facultativas con presencia de macrófitas acuáticas flotantes (*Lemnas sp.*) con un Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH) de 13 días en cada laguna, obteniéndose efluentes sin coliformes fecales y un remanente de coliformes totales de 4x10⁵ NMP (número más probable) por cada 100 ml de efluente urbano tratado y un contenido aproximado de N, P y K de: 23,1; 1,56; 12,0 mg L⁻¹, respectivamente.

Se trabajaron con cuatro especies de eucaliptos (*Eucalyptus viminalis*, *E. globulus*, *E. tereticornis* y *E. sideroxylon*), uno de los bloques fue regado con efluentes tratados, mientras que el otro lo fue con agua de perforación, en parcelas completas al azar de cinco árboles cada una, en tres repeticiones por bloque.

Estos árboles fueron plantados en el año 2003, la presente investigación con el uso del agua para riego se inició en julio de 2016 y finalizó en noviembre de 2019.

Durante los 3 años se aplicaron tratamientos silvícolas (poda y raleo), determinando materia seca del follaje y de la madera extraída. Se tomó como valor de referencia el DAP (diámetro a la altura del pecho) de los árboles, para luego compararlo con sucesivas mediciones anuales (Fig. 1).



Figura 1.- Labores realizadas durante los años de mediciones.

El riego se realizó mediante un sistema combinado de borboteadores (agua de perforación) y boquillas confeccionadas a tal efecto (agua residual) (Fig. 2), aplicando la misma lámina para cada uno de los árboles. Las determinaciones del momento de riego se realizan en función de análisis gravimétricos semanales; sobre dos especies de eucalipto (*E. viminalis* y *E. tereticornis*), con dos repeticiones para cada tratamiento; a una profundidad de muestreo que abarca de 0 – 80 cm. Se estableció como valor de referencia para el momento de riego el 50% del agua útil disponible, los valores de constantes hídricas (Capacidad de Campo -CC- y Punto de Marchitez Permanente -PMP-) fueron de 22% y 9 % respectivamente, valores determinados al momento de iniciar el ensayo.



Figura 2.- Sistema de riego combinado.

Se obtuvieron valores de precipitación efectiva en función de la interceptación del dosel de copas con el uso de 6 pluviómetros; 1 testigo fuera del alcance de los árboles y 5 dentro de la masa de árboles en diagonal a la parcela separado a una distancia de 6,5 metros.

Los datos fueron procesados estadísticamente por el programa Rstudio (Tukey-Kramer Honest Significant Difference (HSD)).

Resultados

Como resultado de las mediciones de DAP, y el diferencial observado en el periodo bajo análisis, el agua de efluentes tratados generó un mayor crecimiento, principalmente en las especies que mejor se adaptan a la región (*Eucalyptus viminalis* y *E. sideroxyton*) (Fig. 3). Esto es coincidente con los valores de biomasa de madera y biomasa de follaje medidos en el raleo sistemático.

El análisis estadístico indica que los datos tienen una distribución normal, con una diferencia estadísticamente significativa en la especie de *Eucalyptus viminalis*, en las 2 calidades de agua con un mayor incremento del DAP.

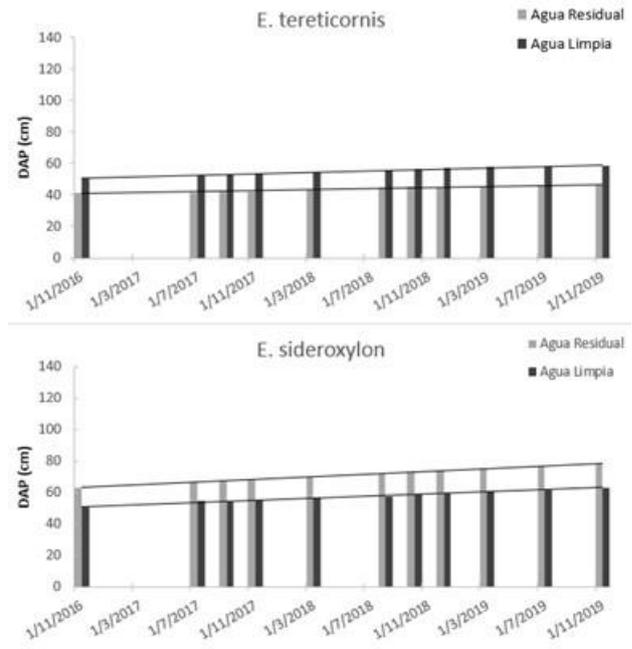
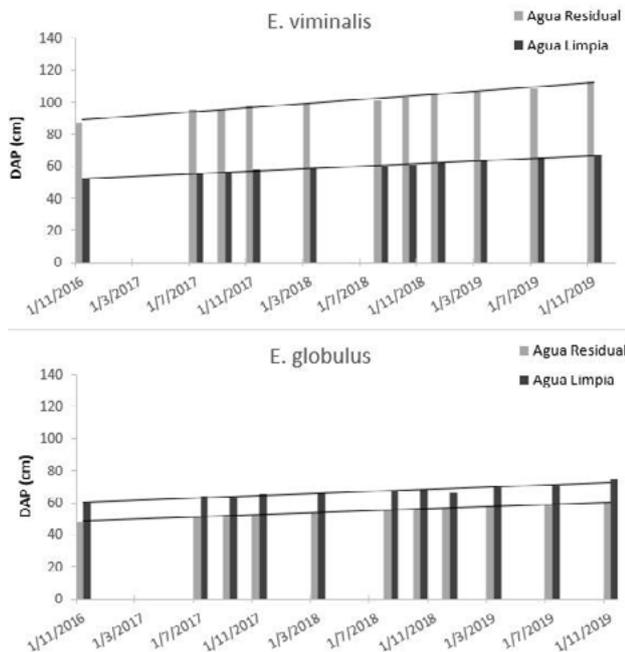


Figura 3.- Mediciones del diámetro a la altura del pecho en las diferentes especies estudiadas.

Autores como Madeira *et al.*, (2002) indican que el agua es el principal factor limitante en la acumulación de biomasa y su efecto es más acentuado en las raíces del eucalipto, si bien en este estudio no se evaluaron raíces se coincide con los autores sobre la acumulación de biomasa.

La interceptación del dosel varía con la intensidad de las precipitaciones, siendo inversamente proporcional a la magnitud de los registros.

Conclusiones

El empleo de tecnologías no convencionales resulta beneficioso para el medio ambiente ya que evita la contaminación del recurso agua y su reutilización más eficiente generando un fuerte compromiso con la conservación de los recursos y las generaciones futuras.

Referencias Bibliográficas

- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servin, C and Villavicencio, F. (2003). "El reúso del agua residual tratada en México." *Seminario Internacional Sobre Métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales*, pp 230-236.
- Hettiarachchi, H., and Ardakanian, R. (2017). *Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: ejemplos de buenas prácticas*. United Nations University UNU-FLORES, Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources
- Honorato, R. 2000. "Manual de Edafología." Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Edición Universidad Católica de Chile. 196 p.
- Madeira, M. V., Fabiao, A., Pereira, J. S., Araújo, M. C., and Ribeiro, C. (2002). "Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability". *Forest Ecology and Management*. Vol. 171, No. 1-2, pp. 75-85.
- Riu, N, and Somoza, A. (1997). Eucaliptos para biomasa. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Vol. 29, No 2.
- Scarone, J. G. 2011. "Riego complementario con efluentes cloacales domiciliarios tratados: utilización de muestras de suelos tomadas en columnas intactas para la evaluación expeditiva de sus efectos sobre el mismo". Tesis para lograr su Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina

RED DE VOLUNTARIADO Y CARTOGRAFÍA TEMÁTICA PARA LA MEDICIÓN PLUVIOMÉTRICA EN LA PROVINCIA DE SANTA FE

Pérez Melina¹⁻³, Joaquín Bacigalupo²⁻³, Gustavo Ferreira¹, Andrés Róbul¹, y Gabriela Pairetti¹

¹Ministerio de Infraestructura, Servicio Públicos y Hábitat – Secretaría de Recursos Hídricos-Dirección General de Servicios Técnicos Específicos

²Ministerio de Gestión Pública, Secretaría de Tecnologías para la Gestión, Infraestructura de Datos Espaciales.

³Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.

E-mail: mjperez@santafe.gov.ar, perezfortuna@gmail.com, jbacigalupo@santafe.gov.ar

Introducción

En la provincia de Santa Fe, el cambio climático ha afectado al incremento de los montos totales precipitados y a la distribución areal de esos montos. Las tormentas que solían tratarse como fenómenos regionales hoy deben evaluarse en el desarrollo temporal y su distribución espacial.

Según Sarochar et al. (2005), “En la precipitación anual de la Pampa Húmeda, se observa que tanto la precipitación convectiva como su frecuencia de ocurrencia son superiores a las respectivas de origen estratiforme en los meses cálidos (noviembre a abril) con un máximo principal entre enero y abril, y otro secundario en octubre o noviembre dependiendo de la estación. La marcha anual de precipitación muestra una fuerte disminución en los meses invernales. La escasa precipitación en esta época es fundamentalmente de origen estratiforme. La onda anual quedaría en gran medida definida por la evolución de la marcha anual de la precipitación convectiva.” De aquí la importancia de medir la distribución de las precipitaciones arealmente y a lo largo de todo el año.

Desde el punto de vista económico, es imposible llegar a instalar, operar y mantener una red pluviométrica ideal de alta densidad al menos en un corto a mediano plazo. A menudo las redes de medición son presupuestadas desde el punto de vista de la inversión inicial y no se tienen en cuenta los recursos económicos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.

El costo de mantenimiento de una red es producto de una serie de factores, entre ellos: recambio de elementos o componentes que presenten fallas por daño o fin de su vida útil; limpieza del predio y control de alimañas; verificación del correcto funcionamiento del instrumental instalado y de los registros almacenados; registro de las actividades y datos observados en planillas y fotografías; traslado, remuneración y viáticos del personal técnico.

El concepto de red de voluntarios para densificación de las mediciones es aplicado en distintos sistemas de monitoreo. Algunas de las redes tienen como objetivo además del conocimiento de los fenómenos naturales la colaboración con las autoridades en la reducción de riesgos ambientales. Bajo esta premisa, la Secretaría de Recursos Hídricos ha extendido el proceso de instalación de pluviómetros con observadores voluntarios, que tuvo sus comienzos en el año 2017.

En sus inicios, se contaba con una red de 27 puntos estratégicos de medición y gracias a los avances en la velocidad y practicidad de las comunicaciones esta misma red se ha incrementado a un total de 100 puntos de medición al año 2023, incorporando además diferentes organismos tanto provinciales como nacionales con la posterior publicación de los datos vía web.

Antecedentes

Como ejemplo a nivel extraprovincial puede mencionarse la “Red Solidaria de Intercambio de Información Hídrica-RSIIIH” que promueve el intercambio de datos de lluvias y niveles freáticos en la llanura pampeana. Esta red, que funciona desde el año 2000, abarca 9 partidos de la provincia

de Buenos Aires y representa una superficie aproximada de 27000 Km² (Martínez y Cravero, 2016). En una primera etapa (2000 – 2006) funcionó en el marco de un convenio realizado entre la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRRH) junto con el Instituto Nacional del Agua (Storani et. al. 2005), y luego pasó a ser financiada por Servicio Meteorológico Nacional (junto con el INA).

A nivel provincial puede mencionarse la “Red de Observación de Recursos Subterráneos con Participación Local” (vinculada con un Proyecto de Interés Social de la Universidad Nacional del Litoral). Dicha red se inicia en el año 2002, como componente de las tareas de extensión, en el marco de un proyecto de investigación de mayor envergadura denominado Proyecto FLAGS “Simulación en gran escala de la interrelación entre el flujo de aguas superficiales y el flujo de aguas subterráneas” (PID N° 74 – ANCYPT), el cual contaba con la colaboración de la ex-Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la Provincia de Santa Fe.

Como precedente tenemos nuestro propio desarrollo, la Red Pluviométrica Provincial que se encuentra funcionando y hemos logrado ampliarla, modificarla y mejorarla en todos sus aspectos tanto técnicos como sociales.

Lo valioso de ese trabajo conjunto radica en el esfuerzo y la colaboración para la publicación de los datos a tiempo real, teniendo en cuenta la toma de datos (día pluviométrico: datos obtenidos de 9:00 am a 9:00 am), el control de los mismos antes de ingresar a la base de datos, su publicación de acceso público en el servidor de datos espaciales de la provincia de Santa Fe – IDESF y la posterior creación de cartografía temática.

Desarrollo

En la 1° Etapa, a fines de implementar la “Red de Voluntarios para la Medición Pluviométrica” se acordó entre las autoridades de la Secretaría de Protección Civil (PC) y de la Dirección General de Servicios Técnicos Específicos (DGSTE), dependiente de la Secretaría de Recursos Hídricos, la colaboración mutua tendiente a mejorar la obtención de datos pluviométricos, de esta manera se colocaron 27 pluviómetros que dieron el origen de la red. “Figura 1”.

La 2° Etapa, consistió en seguir ampliando y densificando dicha red, lo que hace un total al año 2023, de 100 estaciones pluviométricas registrando y enviando datos por los agentes de diferentes reparticiones provinciales y nacionales, como así también por particulares y aficionados. En la “Figura 2”, se pueden ver a modo de ejemplo el mapa temático obtenido con las estaciones pluviométricas que registraron datos de lluvia el día 25 de Enero de 2022.

El siguiente paso, consiste en publicar los datos en la web https://www.santafe.gov.ar/idesf/vis-pre/?user=rec_hidricos.

“Figura 3”. Este sitio se implementó en una tarea coordinada con la Secretaria de Tecnologías para la Gestión a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de la provincia de Santa Fe, en donde se desarrolló una aplicación para la carga de datos con un formato calendario y grilla asociado a un visualizador en el cual se pueden observar los datos registrados, las cuencas hidrográficas y mapas de densidad.

El visualizador se encuentra alojado dentro del servidor IDESF. La aplicación se creó bajo los estándares y normas del catálogo

de datos IDERA, la cual facilita la disponibilidad y accesos a la información geográfica basada en la interoperabilidad, para la cual es necesaria la estandarización y normalización de los datos a documentar.

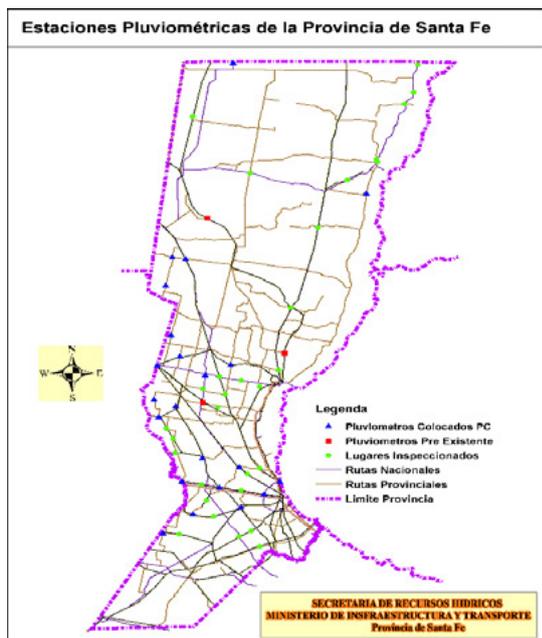


Figura 1.- Pluviómetros instalados – Etapa 1

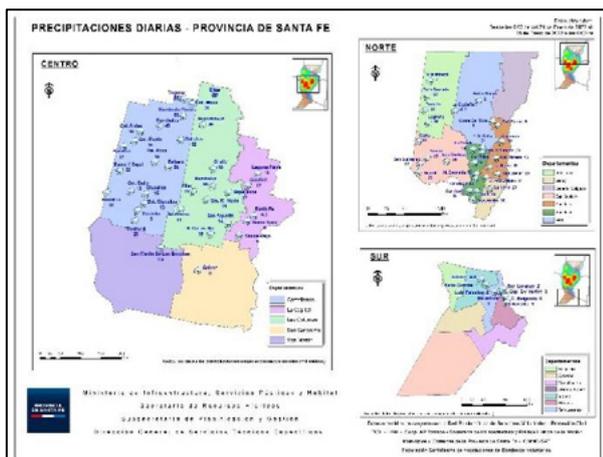


Figura 2.- Estaciones pluviométricas que registraron datos

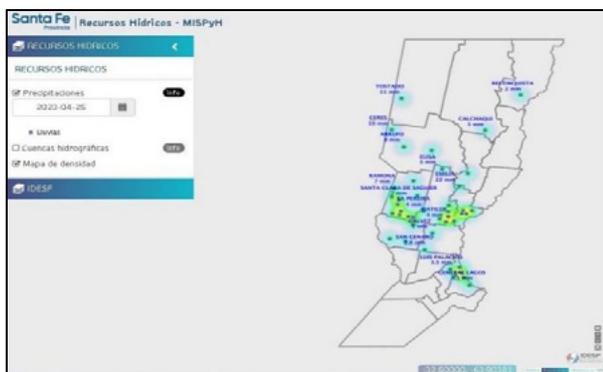


Figura 3.- Sitio Web-IDESF – Secretaría de Recursos Hídricos

Todos los datos obtenidos son un esfuerzo conjunto entre la Secretaría de Recursos Hídricos, las instituciones y los

voluntarios tanto en la instalación del instrumental, como en la toma de datos y la publicación de los mismos. El trabajo se basa en conseguir un lugar geográficamente apto para la instalación de los pluviómetros (analógicos o digitales) teniendo en cuenta para esto las normas de instalación de la OMM, las cuencas hidrográficas y la heterogeneidad del relieve, como así también los operadores u observadores responsables de cuidar y manipular los equipos, con el posterior envío de los datos a tiempo real. Un usuario final de la aplicación en la Dirección General de Servicios Técnicos Específicos de la Secretaría de Recursos Hídricos, controla los datos y los publica en la web accesible a cualquier usuario que tenga conectividad a internet.

Conclusión

La sistematización y centralización a tiempo real de la información proveniente de distintos puntos de medición de datos pluviométricos de la provincia de Santa Fe, es un punto clave en la planificación y gestión de los recursos hídricos. El acceso a la información geográfica georeferenciada y almacenada en el mismo sitio permite acciones rápidas en emergencias climáticas.

Esta herramienta permite la visualización de los registros en un servidor virtual - IDESF que proporciona capacidades de representación en formato SIG, el cual facilita la creación y confección de cartografía temática a través de datos alfanuméricos correctamente almacenados. Este potente visualizador es de acceso público y permite a los tomadores de decisiones y a los usuarios finales, conocer los registros y la distribución de lluvias a tiempo real, como así también acceder al registro histórico de cada una de las estaciones pluviométricas.

La Secretaría de Recursos Hídricos de Santa Fe sigue extendiendo la Red Pluviométrica de voluntariado y a largo plazo, tiene planificado ampliar la misma a la toma de datos de variables como alturas hidrométricas y niveles freáticos.

Referencias

- Contini, G., Veizaga, E., Elizalde Carrillo, E., Ferreira, G. y Macor, J. (2013) "Análisis De Costos Del Mantenimiento De Una Red De Medición y Su Relación Con La Inversión Inicial". *Taller de Métodos Experimentales en Hidráulica MEH – III. Santa Fe, Argentina.*
- Ferreira, G., Morresi, M., Dileo, A., Marcus, R. (2013) "Caracterización espacial de la precipitación en una red densa de corta longitud de registro. Santa Fe, Argentina." *XXIV Congreso Nacional del Agua, San Juan.*
- Ferreira, G. y Rodríguez L. (2005) "Uso De Niveles Freáticos Para La Caracterización De La Recarga/Descarga". *XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza.*
- Martínez, G. y Cravero, W. (2016) "Red Solidaria de Intercambio de Información Hídrica en el N.O de la Provincia de Buenos Aires" – *3er Encuentro en Formación en Recursos Hídricos, INA – Ezeiza, Bs. As.*
- Morresi, M. (2012). Informe Final del Proyecto de Extensión de Interés Social: Red de Capacitación para la gestión de la información Hídrica-Ciudad de Santa Fe", (sin publicar). *FICH-UNL. Santa Fe.*
- Sarochar, R. H., Ciappesoni, H. H. y Ruiz, N. E. (2005) "Precipitaciones convectivas y estratiformes en la pampa húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas." *Meteorológica, Vol. 30, N° 1 y 2, 77-89. Ene-Dic 2005.*
- Storani P. A., Cravero W. H., Maciel J. C., Biagoni M., Enriquez I. - Pascuchi J. (2005). "Gestión Integrada de la Subsecretaría de Recursos Hídricos en la Conformación de una Red Voluntaria de Información Hídrica en el Noroeste Bonaerense". *Congreso Nacional del Agua, Mendoza.*

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.

A.J. Portigliatti¹; S. López¹; L. Massó¹; E.B. Díaz^{2,3}; H.S.Herrero^{2,3}; M.E. Gómez²; G. Elcano²; I. Buffa²; C.M. García¹

¹ Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC) Córdoba, Argentina.

² APRHi, Córdoba, Argentina. Córdoba, Argentina.

³ FCEfYN UNC,

Correo de contacto: andres.portigliatti.505@mi.unc.edu.ar

Introducción

La disponibilidad de información hidrológica e hidráulica para la gestión de los recursos hídricos es escasa en gran parte de la República Argentina. Esta falta de información hace dificultosa la toma de decisiones para una adecuada planificación. En este trabajo se reportan dos herramientas implementadas utilizadas por el equipo de trabajo a cargo de este proyecto para la gestión sostenible del agua en la provincia de Córdoba. En primer lugar se detalla las actividades que desde la Administración Provincial de Recursos Hídricos de Córdoba (APRHi), se realizan, con el apoyo de instituciones científicas–tecnológicas, la cuantificación de escurrimientos en los principales cursos fluviales de la provincia mediante instalación y mantenimiento de sensores de nivel, pluviómetros, sensores meteorológicos, de humedad del suelo, medición continua de caudales con técnicas avanzadas disponibles como Perfiladores Acústicos Doppler (ADCP), Flow Tracker, LSPIV, etc.

Además de la información oficial mencionada, en los últimos tiempos, el concepto de ciencia ciudadana empieza a tomar un rol fundamental (Alonso, A. et al, 2013), en la generación de datos de variables hidrometeorológicas, hidrológicas e hidráulicas de interés debido a la gran variabilidad espacial y temporal de los procesos que generan los escurrimientos (Assumpção, T et. al, 2018) (Buytaert, W. et al, 2014). Desde APRHi, se fomenta esta dicha colaboración mediante la implementación de varios proyectos en donde la comunidad realiza aportes desde distintos niveles de participación (Haklay, M, 2013).

Desarrollo

Una de los grandes avances que se viene realizando desde APRHI es la cuantificación de escurrimientos en los principales cursos fluviales de la provincia de Córdoba. Por un lado, APRHI cuenta con una red de monitoreo automático de variables meteorológicas, hidrológica, y de calidad de agua con gran resolución espacio-temporal dentro de la provincia. Esta red incluye estaciones y sensores propios de la repartición, y otros pertenecientes a diferentes organismos públicos y privados de la provincia. La red de monitoreo meteorológico está constituido por más de 300 estaciones oficiales.

Adicionalmente, APRHI realiza campañas de aforo de caudal, de manera periódica, de los distintos ríos que aportan a los embalses de la provincia de Córdoba. Para ello se realizan mediciones con técnicas avanzadas disponibles en el estado del arte como por ejemplo los Perfiladores Acústicos Doppler (o ADCP por siglas en inglés) (Figura 1 Izquierda); Velocímetros acústicos Doppler (ADV por sus siglas en inglés), (Figura 1 Derecha); entre otros.



Figura 1.- Medición de escurrimiento en Río El Durazno, Córdoba con Perfilador Acústico Doppler (ADCP) (Izquierda). Medición de escurrimiento en Arroyo Las Mojaras con ADV (Derecha).

Por otro lado, en lo que se refiere a la ciencia ciudadana, estudios relacionados a las amenazas hídricas se caracterizan por la escasez de datos requeridos para su cuantificación tanto en el dominio espacial como en el temporal. Aquí es donde la participación del ciudadano “no científico” empieza a tomar una importancia cada vez mayor no sólo participando como ‘ciudadanos sensores’ sino también aportando sus experiencias territoriales. Los avances tecnológicos permiten a la comunidad contar con sensores de bajo costo, pero robustos para recopilar grandes volúmenes de datos y documentarlos con metadatos apropiados, como la ubicación y la hora. El gran avance de las tecnologías de comunicación, celulares e internet, también pueden permitir un enfoque mucho más dinámico e interactivo para la formulación de hipótesis, diseño de investigación, análisis de datos y generación de conocimiento.

Es aquí, donde intervienen los proyectos de ciencia ciudadana implementados en la provincia de Córdoba con la participación de APRHI: “Cazadores de Crecidas” (https://twitter.com/CdC_Cordoba) cuyo objetivo es caracterizar escurrimientos superficiales a partir de videos y fotografías tomadas por la comunidad; y “Proyecto MATTEO” (<https://sites.google.com/view/proyectomatteo/>) que consiste en la instalación de estaciones meteorológicas de bajo costo y pluviómetros en escuelas y organismos, para registrar datos propios de los eventos de precipitación. De esta forma, la ciudadanía es partícipe directo y fundamental, no sólo en el aporte de experiencias sino también en la recolección de datos sumamente valiosos, a los cuales desde el sector académico e ingenieril les sería dificultoso de conseguir por su cuenta. Toda esta información es utilizada para la gestión sustentable del agua.

Resultado

A continuación, para ilustrar la importancia del registro de datos oficiales y de ciencia ciudadana, se presenta la descripción del evento extremo observado el 15 de enero del 2021 en la localidad de La Falda, Córdoba.

La Falda es una ciudad de la provincia de Córdoba, ubicada a 70 km de la ciudad de Córdoba y perteneciente al departamento Punilla. Se encuentra al pie de dos cerros (Cerro El Cuadrado y

Cerro La Banderita) integrantes del cordón montañoso denominado Sierras Chicas. En la mañana del 15 de enero del 2021 ocurrió un evento meteorológico que generó crecidas en el arroyo San Francisco; y posteriormente, aguas abajo del dique La Falda, el río Grande (San Francisco) y el río Cosquín.

En lo que se refiere a las estaciones de la Red oficial de medición que captaron el evento, son cuatro las estaciones oficiales próximas a la localidad, las cuales forman parte de la red de medición de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHi), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAyGA) y el Instituto Nacional del Agua Subgerencia Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA). Estas son Estación de La Cumbre, Huerta Grande, Pampa de Olaen y Camino El Cuadrado.

Estaciones de la Red de Ciencia Ciudadana.

Por otro lado ciudadanos de la localidad, quienes forman parte del proyecto MATTEO, brindaron información registrada por sus estaciones meteorológicas de bajo costo el día del evento. Fueron cuatro pluviómetros y la estación de los Bomberos Voluntarios de La Falda, que aportaron datos complementando a la red de medición oficial.

El evento comenzó a las 7:00 hs. del día 15 de enero, y finaliza a las 12:40 hs del mismo día. Los valores de lluvia se encuentran en el reporte del día (Figura 2), elaborado en base a los datos oficiales y del Proyecto MATTEO del evento en La Falda y alrededores, pudiendo apreciar la variabilidad de precipitación que hubo en la zona.



Figura 2.- Reporte del día 15/1/2021- La Falda y zonas aledañas.

Esta información de ciencia ciudadana se carga en el sistema MATTEO-APRHi (<https://matteo.aprhi.gob.ar/#/all-reviews>) para que los datos puedan ser publicados y utilizados por toda la población.

A partir de los datos extraídos de la página de IDECOR (<https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/342/view>) se puede conocer el período de recurrencia de la precipitación máxima diaria (PMD) de un punto de interés dentro de la provincia de Córdoba. Esta información, permitió definir que para Huerta Grande, los 93 mm registrados según aporte de ciencia ciudadana, significó un evento de recurrencia de 5 años; mientras que para la localidad de Villa Giardino, 135 mm, el evento tiene un período de recurrencia entre 25 y 50 años. En las Figuras 4 y 5 se muestran algunos impactos que generó el evento.



Figura 3.- Crecida 15/1/2021. Fuente: <https://lmdiarario.com.ar/contenido/269421/el-temporal-genero-serios-destrozos-en-la-falda-huerta-grande-y-villa-giardino>.



Figura 4.- Impactos evento 15/1/2021. Fuente: <https://cordobainterinforma.com/2021/01/15/la-intensa-lluvia-provoco-serios-problemas-en-la-falda-villa-giardino-y-valle-hermoso/>

Conclusiones

En este trabajo se detallaron dos herramientas implementadas desde APRHi para la gestión de los Recursos Hídricos. Contar con una amplia base de datos (oficiales y no oficiales) tanto espacial como temporalmente es clave para la gestión sostenible del agua.

En este trabajo se destaca que en muchas ocasiones no se cuenta con esta información oficial disponible (por la gran variabilidad de los procesos), por lo que la incorporación de la ciencia ciudadana en la generación de registros distribuidos espacial y temporalmente, resulta una metodología muy eficaz para contar con información valiosa que permita no sólo entender mejor el funcionamiento de las distintas cuencas de estudio sino también para la planificación de diversas medidas para mitigar el riesgo.

Referencias

- Alonso, A., Rodríguez, J., y Lafuente, A. (2013). “¡Todos sabios! Ciencia ciudadana y conocimiento expandido”. Ediciones Cátedra, Ed. (1.a). Madrid.
- Assumpção, T., Popescu, I., Jonoski, A., & Solomatine, D. P. (2018). “Citizen observations contributing to flood modelling: Opportunities and challenges”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 1473–1489. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1473-2018>
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., ... & Foggini, M. (2014). “Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development.” *Frontiers in Earth Science*, 2, 26.
- Haklay, M. (2013). “Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation.” In D. Sui, *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*. Dordrecht: Springer.

LOS DESAFÍOS DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, LA COMUNICACIÓN Y LA EDUCACIÓN. LOS NUEVOS PARADIGMAS

Reyna, Teresa, Lábaque María y Funes, María Fernanda

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
E-mail: teresa.reyna@unc.edu.ar, mlabaque@gmail.com, funes95@gmail.com

Introducción

Los enfoques tradicionales de compartimentación académica en el abordaje de problemas tan diversos como las inundaciones, la contaminación de fuentes de agua, la deforestación, los incendios, etc. no son apropiados para evaluar los riesgos relacionados con cuestiones tan diversas como es la problemática del agua. La mirada desde un solo punto de vista termina siendo reduccionista a la hora de plantear soluciones a los problemas que enfrenta el acceso al agua en el planeta.

Los ingenieros de hoy requieren ampliar su mirada, incorporando también aspectos del ambiente y de la sociedad a su formación fuertemente técnica, de manera de asegurar el éxito de los proyectos.

Es impensable plantear hoy una solución a los problemas del agua sin pensar en involucrar en el juego a la sociedad a través de acciones como la eficiencia y el cuidado del agua.

La cátedra de Tecnología, Ambiente y Sociedad (TayS) de la carrera de Ingeniería Ambiental de la FCEfyN de la UNC tiene como objetivo ampliar la formación de los nuevos ingenieros que busquen el equilibrio entre el crecimiento, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social; incorporando a la sociedad y sus acciones en el planteo de soluciones.

El desarrollo de programación tiene como eje los Objetivos de Desarrollo Sostenible; lo que permite vincular las tres dimensiones que involucra un desarrollo armónico: sociedad – ambiente – tecnología.

En este trabajo se busca difundir algunas de las actividades que se mostraron como exitosas y compartirlas de manera de que sean incorporadas en otras áreas y grados

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo.

En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años

Los ODS pretenden cambiar el mundo en cinco grandes dimensiones; el bienestar de la sociedad (Personas), la economía (Prosperidad), el medioambiente (Planeta), el fin de las guerras, la violencia y la corrupción (Paz) y la creación de una alianza mundial para alcanzar los objetivos (Alianzas). Esto se ha denominado la “Estrategia de las 5P”, porque todas las dimensiones empiezan por esa letra, en su denominación en inglés (People, Prosperity, Planet, Peace, Partnership).

Este modelo de las 5P es una evolución del modelo clásico de la sostenibilidad, que se resumía en tres dimensiones: social, económica y medioambiental, y solía resumirse como la Estrategia de las 3P (de sus siglas en inglés: People, Profit, Planet).

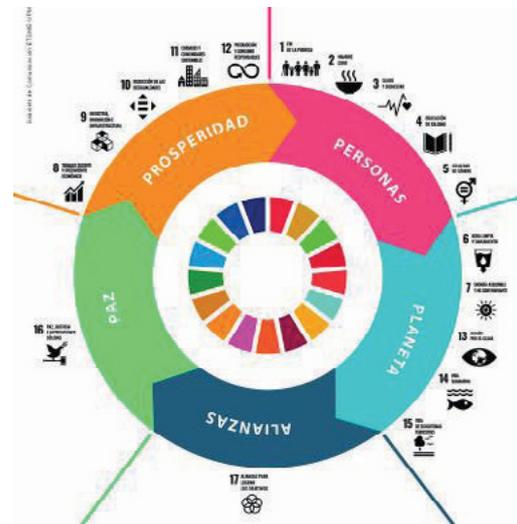


Figura 1.- Las Dimensiones y las ODS Involucradas.
(<https://minasyenergia.upm.es/nodo-ods-etsime-upm.html>)

La Agenda 2030 plantea un modelo de Desarrollo Sostenible más integral, al agregar las cuestiones relacionadas con la paz y las alianzas. Estos cinco pilares se consideran los cimientos imprescindibles para que una sociedad sea sostenible: porque no puede haber sostenibilidad cuando hay pobreza, cuando no se respetan los Derechos Humanos, cuando hay guerras o el ecosistema está amenazado; y porque los problemas son tan complejos que necesitamos trabajar de forma colaborativa.

Los cinco cimientos son necesarios para alcanzar el Desarrollo Sostenible, y son todos igual de importantes, aunque algunos estén vinculados con un mayor o menor número de ODS.

Del establecimiento de estos objetivos, de forma general, es posible establecer que trabajar por el desarrollo sustentable implica avanzar simultáneamente en áreas: económica, humana, ambiental, institucional y tecnológica. Dentro de estos objetivos surgen la necesidad de abordar desde los aspectos ambientales – hidráulicos especialmente los ODS 6 y 15.

ODS 6. Agua limpia y saneamiento

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, formulado por el Grupo de Trabajo Abierto de las Naciones Unidas, plantea: “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”.

Las brechas en el acceso a fuentes de abastecimiento de agua y saneamiento, el crecimiento demográfico, el uso intensivo de agua, la mayor variabilidad de las precipitaciones y la contaminación son factores que se conjugan en muchos lugares transformando al agua en uno de los principales riesgos para el progreso económico, la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible.

Para orientar una eficaz adaptación al cambio climático, las actividades deben reflejar la importancia de la gestión hídrica a la hora de reducir la vulnerabilidad y crear resiliencia climática.

ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres

El objetivo Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad.

Para prevenir, detener y revertir la degradación de los ecosistemas de todo el mundo, las Naciones Unidas han declarado la Década para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030). Esta respuesta coordinada a nivel mundial ante la pérdida y degradación de los hábitats se centrará en desarrollar la voluntad y la capacidad políticas para restaurar la relación de los seres humanos con la naturaleza.

La Crisis Ambiental

La crisis medioambiental, es un fenómeno global que ha llevado a buscar nuevas teorías en la mayoría de las ciencias.

Los modelos tradicionales de análisis y gestión de los recursos naturales y del medioambiente son incapaces de responder a los nuevos desafíos que plantea la crisis ambiental, ya que poseen un enfoque reduccionista de los problemas, prestando escasa atención a las causas sociales.

La manera que tenemos de repensar nuestro mundo se ha visto condicionada por la dualidad naturaleza/sociedad. La separación de estas dos esferas ha sido una característica fundamental de la modernidad y su ciencia. De esta forma, la concepción clásica presenta por un lado las ciencias de la naturaleza y por otro las ciencias humanas.

El problema principal radica en nuestro modo de pensar: la creencia en el progreso continuo; la existencia ilimitada de la naturaleza; la posición de que los humanos dominamos la naturaleza y que las ciencias progresan y van a solucionar el problema ambiental.

Otro problema es la compartimentación académica. Las Ciencias Sociales, ignoran el ambiente físico natural. Las Ciencias Naturales, se fijan en el número de especies. Las Ciencias Económicas, zonas económicas, pero no integrando la cultura.

Esta forma de pensar llevó a planteos diferentes entre ciencias naturales y ciencias sociales. Cada una de ellas exclusiva con su ámbito.

Este enfoque reduccionista no permite explicar los problemas contemporáneos generando propuestas de soluciones limitadas, parciales e inoperantes ante problemas ambientales.

Pero al igual que resulta imposible separar la mente del cuerpo, también lo es extraer la sociedad de la naturaleza, de la cual forma parte. La ecología ha dotado el concepto de ecosistema, enseñándonos que todos formamos parte de un sistema más amplio, cuyos elementos se encuentran necesaria y funcionalmente interrelacionados.

Otis D. Duncan (1961), en su Complejo Ecológico Poet establece un sistema interrelacionado entre: Medio Ambiente, Población, Técnicas y Organización.

En este paradigma, el análisis de un problema medioambiental debe considerar el estudio y comprensión de estos cuatro componentes y la forma en que se relacionan. Las claves que articulan este nuevo paradigma consideran:

- El ser humano es un ser más entre todas las especies.
- Las complejas relaciones en el tejido de la naturaleza producen múltiples consecuencias
- El mundo es finito y limitado, los límites físicos y bióticos son poderosos condicionantes restrictivos del crecimiento económico y del progreso social.

Es bajo esta nueva visión que se deben formar nuestros futuros ingenieros vinculados al ambiente y los recursos hídricos.

Propuestas de Comunicación vinculadas a la Gestión de los Recursos Hídricos

Durante el dictado de las clases en relación con la Comunicación y los Recursos Hídricos, se establece que se requiere un cambio fundamental en la manera de analizar y comunicar los aspectos que afectan a los recursos hídricos.

Comprender el agua significa tomar decisiones basadas en datos consolidados, estudios, modelos; pero también valorar el agua significa reconocer los valores que la sociedad le asigna al agua y a sus usos, considerándolos en las decisiones políticas y comerciales, incluidas aquellas sobre la fijación de precios adecuados del agua y los servicios de saneamiento.

Desde estas perspectivas se desarrollan propuestas que busquen vincular los aspectos de los recursos hídricos y la comunicación.

En la primera cohorte en el año 2018 se propuso como actividad especial el dictado de una clase por parte de los estudiantes a alumnos de una escuela secundaria local. En la clase se plantearon dentro de los ODS las consideraciones de ahorro energético y agua y luego los estudiantes del colegio realizaron devoluciones sobre el tema. Los resultados obtenidos mostraron el desarrollo de conductas ambientales responsables dentro del colegio secundario. Esta actividad se enmarca en los indicado para la formación actual desarrollar en profesionales no vinculados a los medios de comunicación, capacidades blandas de transmitir información a la población en general utilizando un lenguaje accesible alejado del técnico.

Durante el año 2023 se planteó a los estudiantes la tarea de observar su ciudad desde las ODS y realizar videos Tiktok donde no sólo se plantee una visión de la problemática sino además se desarrollen propuestas innovadoras de solución y vínculo con la sociedad.

Los videos mostraron que es importante el desarrollo de las capacidades de comunicación en los nuevos profesionales y sus trabajos en nuestra sociedad para encarar soluciones socioambientales.

Conclusiones

Como expresan los ODS la consecución de una educación de calidad es la base para mejorar la vida de las personas y el desarrollo sostenible. Es necesario redoblar los esfuerzos para conseguir mayores avances en la consecución de los objetivos de la educación universal.

Las soluciones a las problemáticas mediambientales no pueden limitarse únicamente a los aspectos técnicos de infraestructura que tan bien conocen los ingenieros. Esos tipos de soluciones actualmente son limitadas, parciales y, en muchas ocasiones inoperantes.

La formación de nuevos ingenieros, necesitan incorporar en el dictado una visión integrada y amplia de las problemáticas a tratar. La incorporación de este nuevo paradigma en la búsqueda de soluciones ya se muestra ineludibles.

Referencias

DUNCAN, O.D. (1961): From Social System to Ecosystem. Sociological Inquiry, 31:140-49

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-desarrollo-sostenible/>

<https://minasyenergia.upm.es/nodo-ods-etsime-upm.html>

REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN ING. JACOBACCI: LA IMPORTANCIA DEL CONSENSO EN LA COMUNIDAD EJECUTORA

Riat, MC¹, Cremona, MV^{1,2}; Capuano, A¹, Velasco, V²; Tanzer, L³ y Magnin, S³.

¹Universidad Nacional de Río Negro ²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; ³Departamento Provincial de aguas
E-mail mriat@unrn.edu.ar

Introducción

El uso de aguas residuales tratadas (ART) para riego de cultivos con diferentes destinos, es una opción válida para minimizar el impacto de éstas sobre los ecosistemas. Esto es particularmente valorado en regiones áridas en las que las fuentes de agua limpia se destinan fundamentalmente a consumo humano. Además permite no sólo aprovechar la disponibilidad de agua y nutrientes para la producción de un bien sino también reducir la demanda de agua para agricultura. Esto puede ser más crítico en localidades de zonas áridas donde la producción bajo riego es muy limitada en función de la escasez del recurso hídrico.

Sin embargo, el uso de estas aguas puede generar fuerte oposición de la ciudadanía por falta de información y confianza con respecto a los posibles riesgos para la salud humana. Aunque los proyectos de utilización de aguas residuales estén bien diseñados desde el punto de vista técnico, parezcan económicamente viables y tengan incorporadas medidas de protección sanitaria adecuadas, los esquemas de reutilización del agua pueden fallar si los encargados de la planificación no enfrentan de manera adecuada la dinámica de la aceptación social.

En Patagonia, la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas para las cuencas del Limay, Neuquén y Río Negro (AIC) desde hace casi una década viene trabajando en el concepto de "vuelco cero". En la Provincia de Río Negro esta temática se ha incorporado a la agenda hace más de 8 años. Se ha presentado y está en discusión en la Legislatura de Río Negro un proyecto de ley que trabaja el concepto de reducción de vuelcos de efluentes tratados o sin tratar a los cuerpos receptores.

En el año 2012 por iniciativa del Departamento Provincial de Aguas (DPA), se convoca a varias instituciones para trabajar la temática de la reutilización de efluentes tratados para riego y se firma el convenio "Disposición final y reúso de aguas residuales tratadas en San Carlos de Bariloche". Como producto de ese convenio en el 2013, se genera un informe donde se cuantifica y caracteriza la producción de aguas residuales, se analizan posibles usos y se dimensionan los cultivos potencialmente realizables, valorando la capacidad receptiva de los suelos más aptos para este destino. De la experiencia desarrollada se sugirió que en el diseño de futuros programas de reúso con aguas residuales tratadas era importante analizar la sensibilidad pública al uso de aguas residuales tratadas en la zona y se destacó la importancia de realizar la consulta a todos los sectores involucrados y conocer la opinión de la comunidad directamente implicada en la implementación de sistemas de reúso, suministrando información y generando acuerdos previos.

Ing. Jacobacci es una localidad de la región árida de Río Negro, donde la escasez de agua es limitante para las actividades productivas y con dificultades de abastecimiento para consumo humano, por lo que cualquier acción que impacte en el recurso genera enorme sensibilidad. Allí en mayo de 2015 se firmó un Convenio de cooperación técnica entre el DPA, la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Municipalidad de Ingeniero Jacobacci (MIJ) y la Cooperativa de Agua y Servicios Públicos de Jacobacci (CoAySPJ). El objetivo principal del Convenio suscripto fue evaluar e implementar la reutilización agrícola forestal de aguas cloacales tratadas provenientes de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de Ing. Jacobacci en un área

de acceso restringido.

Con el antecedente de la experiencia de Bariloche, al inicio del trabajo, el convenio se propuso realizar una serie de talleres para identificar el conocimiento y la opinión de la comunidad acerca de la práctica, y para obtener sugerencias y recomendaciones de como difundir la información para que el reúso de aguas tratadas sea considerado como una estrategia viable en la comunidad.

Materiales y métodos

Las actividades realizadas fueron una serie de talleres con diferentes actores de la comunidad con el objeto de:

- i) dar a conocer a la comunidad de Ing. Jacobacci el proyecto de reutilización de las aguas residuales tratadas (Convenio DPA-UNRN-MIJ-INTA, en trámite);
- ii) exponer videos e imágenes de experiencias de reúso de aguas tratadas en otras localidades del país;
- iii) conocer la valoración que tienen los participantes de los recursos hídricos de la localidad;
- iv) indagar las expectativas, inquietudes, opiniones de los diversos actores sobre el reúso de las aguas tratadas y
- iv) conocer la opinión de los actores respecto de los potenciales usos de las aguas tratadas

La metodología de trabajo utilizada se basó en un abordaje cualitativo a través del relevamiento de información y sistematización de datos de fuentes primarias. La elección del abordaje cualitativo se sustenta en conocer en profundidad la opinión de los actores sociales sobre la temática en particular de esta investigación.

La perspectiva cualitativa, como estrategia interpretativa, se orienta al descubrimiento de categorías de análisis que sobre la base de la observación y descripción permiten una comprensión más profunda de los escenarios, actores y representaciones que se investigan.

Las unidades de análisis sobre las que se relevó información son: comunidad en general, potenciales usuarios de las aguas tratadas, integrantes de organizaciones de la comunidad y funcionarios.

Se realizaron 4 talleres planificados moderados por profesionales de las ciencias sociales con experiencia en la materia y con la participación del resto de los integrantes de este proyecto.

El primero (25/5/2015) fue dirigido a los funcionarios de las distintas instituciones de la vida política y social de la localidad. Representantes de los organismos del gobierno provincial o municipal, y con prestadores de servicios.



Figura 1.- Taller con referentes políticos y sociales.

El segundo taller (5/11/2015) se realizó con todos los docentes de la localidad de los distintos niveles en el marco de una de las jornadas institucionales regulares previstas en la agenda del Ministerio de Educación, para conocer las representaciones sociales y percepciones de las que son portadores los docentes de las escuelas de Ingeniero Jacobacci sobre la posibilidad de implementar esta técnica para usos productivos, forestales. El objetivo final era también lograr en cada docente se convirtiera en un multiplicador social del tema tratado, que replique a través de los alumnos estos conceptos incluyéndolos en clases y actividades prácticas.



Figura 2.- Taller con docentes.

El tercer y cuarto taller (28/9 y 5/10 de 2016) se destinaron a la comunidad en general. Se avanzó inicialmente con una convocatoria de mayor amplitud a personas con algún grado de referencia barrial o de organización de base para luego lograr una convocatoria más amplia en un taller abierto a toda la comunidad.

Se planteó desarrollar un diálogo que recogiese con la mayor fidelidad posible las inquietudes y reflexiones de los vecinos, sin influir sobre ellas con demasiada información previa. La presentación de la experiencia de tratamiento y reutilización del agua de la localidad se desplegó en los términos más sencillos posibles como simple motivadora de la reunión y sin mayores juicios de valoración respecto a su importancia y resultados e hipótesis de o potencialidad.

Resultados y Discusión

La realización de los cuatro talleres con los diferentes actores de la comunidad de Ingeniero Jacobacci, en los que participaron alrededor de 200 personas entre los diferentes grupos de actores, permitió:

- Identificar las ventajas y desventajas que tiene en opinión de la comunidad la reutilización de aguas residuales tratadas.
- Realizar sugerencias y recomendaciones de como difundir la información para que el reúso de aguas tratadas sea considerado como una estrategia viable en el marco de las dificultades con el agua que hay en la comunidad.

La preocupación sobre la abundancia o escasez del agua como recurso es una reflexión secundaria respecto a la gestión

cotidiana del servicio de distribución. Esta situación enmarca también las opiniones sobre la reutilización de aguas servidas.

- No se conoce la experiencia de reutilización de aguas. Conocida, la experiencia es valorada como positiva en términos generales como experiencia
- Habría una aprobación para los resultados de la experiencia pero, ante la posibilidad de usos más cercanos, hay muchas dudas que se incrementan hacia el rechazo a medida que la distancia con la vida cotidiana se reduce. Así se estima que hoy puede haber aceptación de la creación de forestaciones o espacios verdes fuera del ámbito urbano y algunos usos industriales o en emprendimientos productivos. Pero también parece haber fuertes dudas comenzando con la utilización de dicha agua para la producción de forrajes con destino a la alimentación de animales y mucho más acentuadas, para otras producciones agrícolas de consumo humano. Salvo estos usos mencionados no parece que los participantes vislumbren otros (riego de calles o espacios verdes urbanos).
- La comunicación responsable es vista como una vía para despejar algunas dudas.

Consultados los participantes sobre los medios de comunicación más adecuados enumeraron:

- 1- Programa de radio, lo que hay no parece suficiente
- 2- Trabajo en las escuelas
- 3- Presentaciones o difusión de la temática en eventos masivos
- 4- Trabajarlo desde todos los ámbitos (no solo el DPA es responsable sino todas las instituciones deben hablar de un uso responsable el agua en las acciones que las involucran (escuelas, salud, huertas, producciones varias, gobierno, iglesias, etc).



Figura 3.- Taller abierto a la comunidad.

Referencias

DPA, INTA, UNRN, COASyP y MIJ. (2022). Convenio de Cooperación técnica. Reutilización de aguas residuales tratadas en Ingeniero Jacobacci

RESILIENCIA A LA SEQUÍA EN LOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICO AGROPECUARIOS EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO TEGUA (CÓRDOBA)

Rivarola, Andrea D.V.; Llames, Ana A.; Paton, Lucas M. y Accastello, Natalia R.

Agrometeorología. Departamento de Ecología Agraria. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. N° 36 Km 601, Río Cuarto, Argentina. Tel: 0358-4676191

E-mail: arivarola@ayv.unrc.edu.ar; allames@ayv.unrc.edu.ar; lpaton@ayv.unrc.edu.ar; naccastello@ayv.unrc.edu.ar

Introducción

Una forma de estudiar el comportamiento de los sistemas socio-ecológicos (SSE), es a través de la resiliencia, que indica la habilidad del sistema para absorber perturbaciones (sequías, inundaciones) manteniendo sus atributos básicos, su capacidad de auto-organizarse a través de estrategias de aprendizaje, adaptación e innovación (Ostrom, 2009). En la provincia de Córdoba las sequías son de frecuente recurrencia y producen elevadas pérdidas en el sector agropecuario, por ello es importante analizar la eficiencia del uso del recurso agua en los SSE agropecuarios para mejorar su capacidad de enfrentar eventos climáticos extremos y poder ser resilientes a los mismos. La gestión de los recursos naturales no es sólo una cuestión ecológica sino que tiene elementos culturales, políticos, sociales, económicos y tecnológicos que interactúan entre sí, quedando los ecosistemas integrados con la sociedad (Resilience Alliance, 2010). El trabajo pretende valorar el grado de resiliencia a la sequía de los SSE agropecuarios en un sector de la cuenca alta del Arroyo Tegua (Dpto. Río Cuarto-Córdoba).

Metodología

La cuenca del Arroyo Tegua, se ubica en el Centro de la Provincia de Córdoba, aproximadamente 45 Km al Norte de la Ciudad de Río Cuarto. El total de la superficie de la cuenca es aproximadamente de 4.559 Km² y comprende parte de los departamentos Calamuchita, Río Cuarto, Gral. San Martín, Juárez Celman y Tercero Arriba. Dentro de la cuenca hídrica arroyo Tegua el área de estudio se focalizó en la zona occidental de la misma, integrada por las subcuencas hídricas del Arroyo Mosuc Mayu, Arroyo Cano y el Arroyo El Barrial (Figura 1), donde tiene jurisdicción el Consorcio de Conservación de Suelo Teguarriba, abarcando aproximadamente una superficie de 146.250 ha. ubicadas al norte del departamento Río Cuarto.

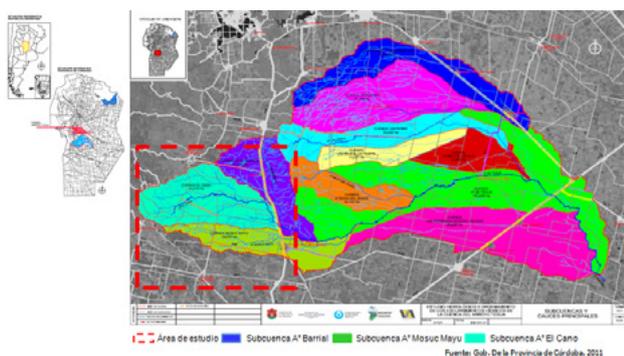


Figura 1.- Cuenca Arroyo El Tegua y ubicación del área de estudio.

Los Consorcios de Conservación de Suelos (CCS) son entes públicos-privados conformados por productores agropecuarios, técnicos y profesionales agrónomos y su jurisdicción queda comprendida dentro de las áreas flanqueadas por cuencas ribereñas, cursos de agua que conformen una zona ecológicamente homogénea a los efectos de realizar trabajos de conservación, mantenimiento y recuperación de los suelos y manejo del agua para contribuir al desarrollo sustentable de las explotaciones agropecuarias (Secretaría de Agricultura de la

Provincia de Córdoba, 2000). En primera instancia se realizó una caracterización de las lluvias en la cuenca, utilizando la estación meteorológica del Campo Experimental Las Guindas-UNRC, en el período 2001-2021. Para valorar el grado de resiliencia del SSE se caracterizaron variables ecológicas y sociales por medio de indicadores propuestos por Cabell y Oelofse (2012) basados en el comportamiento de los mismos. Estos autores determinaron trece (13) indicadores que abarcan varios aspectos centrales del funcionamiento y desarrollo de los SSE. Ellos son: Auto-organizado socialmente; Auto-regulado ecológicamente; Conectado adecuadamente; Grado de diversidad funcional y de respuesta; Óptimamente redundante; Grado de heterogeneidad espacial y temporal; Exposición a los disturbios; Responsabilidad asociada al capital natural local; Aprendizaje reflexivo y compartido; Globalmente autónomo y localmente interdependiente; Honrar el legado mientras se invierte en el futuro; Construir capital humano y Razonablemente rentable.

La metodología se basó en implementar entrevistas a informantes claves como fuente principal de datos (Taylor y Bogdan, 2006) y obtención de información base para estos indicadores y encuestas semi-estructuradas a productores agropecuarios de la cuenca perteneciente al Consorcio de conservación de suelo y agua Teguarriba, del Dpto. Río Cuarto, durante los meses de marzo a agosto de 2022. La encuesta relevó datos socio-económicos del productor, aspectos productivos, organizacionales y de asesoramiento de la explotación, uso de información para la toma de decisiones productivas (climática, económica, problemas ambientales a nivel predial, entre otros). Las encuestas fueron sometidas a análisis estadísticos descriptivos y exploratorios, para evidenciar el comportamiento del SSE analizado. Por medios de los indicadores se valoró grado de aprendizaje e incorporación de nuevas técnicas y/o prácticas que poseen los productores agropecuarios para disminuir impactos.

Resultados

En cualquier región agrícola del sur de Córdoba, incluida el área de estudio, el factor limitante más importante es el agua. Para la estación meteorológica Campo Experimental Las Guindas, perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto, emplazada en la cuenca alta del arroyo Tegua, la precipitación media normal para la serie 2001-2021 es 1005,5 mm, posee una distribución monzónica, ya que la mayor concentración de la precipitación total anual se produce en el semestre más cálido (octubre a marzo) con el 72% (720,2 mm). El invierno la estación más seca con 2,8% del total anual de lluvia (28,6 mm) y el 25,2% de las lluvias restantes se concentra en el otoño (256,7mm) (Figura 2). De ello se desprende que la precipitación en el departamento Río Cuarto es el factor climático que muestra la mayor oscilación ya que en la mayoría de los años no coincide con su valor medio anual (Llames, 2022). Bocco y Vinocur (2016) caracterizaron el comportamiento de las sequías para la zona en estudio y demostraron que la región ha experimentado condiciones más secas en la serie 1974-2015, sugiriendo una mayor severidad de las sequías agronómicas e hidrológicas a partir del año 1995.



Figura 2.- Distribución de las precipitaciones normales mensuales (mm) estación meteorológica Campo Experimental Las Guindas-UNRC. Serie 2001-2021.

En el área de estudio se identificaron 7 indicadores de resiliencia presentes en los SSE agropecuarios de la cuenca de los 13 originalmente propuestos.

- **Diversidad funcional y de respuesta:** la diversidad funcional se refiere a la variedad de elementos y servicios ecosistémicos que existen dentro del SSE. Heterogeneidad de criterios dentro del campo agrícola, diversidad de entradas y salidas. El 90 % de los productores encuestados tienen en cuenta criterios económicos (rentabilidad y los precios de mercado) para la elección del rubro de producción. Otro criterio es la conservación de los recursos a través de la rotación de actividades agrícolas, ganaderas, evitar actividades productivas de alto riesgo para mantener el capital. Un 45 % de los productores, además, respaldan sus decisiones a través del asesoramiento técnico. Menos del 10 % tiene en cuenta al clima y factores ambientales para diseñar anualmente el planteo de las actividades productivas. Un SSE que contiene un alto grado de diversidad de respuesta puede ser más resiliente a varios tipos y grados de disturbios.

- **Heterogeneidad espacial y temporal:** un sistema heterogéneo de uso del suelo y cultivos, que incluya variedad y rotación de cultivos, es más resiliente contra cambios climáticos futuros, ya que incrementa la capacidad funcional y de respuesta luego de una perturbación. En el área de estudio el 87 % de la superficie está destinada a la agricultura y 13 % a ganadería. El 73 % de los productores poseen un planteo mixto en sus establecimientos, mientras que el 27 % restante se dedican exclusivamente a la agricultura. La mayoría de los productores realizan rotación de cultivos (soja, maíz y trigo) en sus explotaciones. Además, realizan producción de hortalizas y frutales destinada al autoconsumo familiar. Los productores que realizan ganadería se dedican principalmente a la ganadería bovina de ciclo completo (63%) y el resto se reparte entre la ganadería bovina de cría (13%), invernada (13%) y engorde a corral (13%). En menor escala otras producciones relevadas fueron la porcina y la avícola que se emplean casi exclusivamente para consumo familiar.

- **Exposición a los disturbios:** la exposición repetida en el tiempo a ciertos disturbios, presionan los procesos de evolución y adaptación de los ecosistemas y construyen la capacidad de los mismos de recuperarse a futuras perturbaciones. Además de la sequía como factor de disturbio, los productores encuestados (45%) identificaron problemas de erosión hídrica por escorrentía, lo que trae aparejado formación de cárcavas y disminución de nutrientes en el suelo. Frente a estos disturbios se implementaron distintas estrategias, entre ellas realizar siembra directa y sistematizar los excedentes hídricos, reforzar la nutrición aplicando dosificación variable de fertilizantes según tipo de suelos y realizar mapeos de rendimiento y fertilización con criterio de reposición, inversión en semillas mejoradas genéticamente o resistentes a sequías.

- **Aprendizaje reflexivo y compartido:** la habilidad de aprender

de experiencias pasadas y compartir el conocimiento es lo que le da a los SSE la capacidad de adaptación. Los productores del CCS Tegarriba, priorizan en su labor las soluciones, apoyadas en la incorporación de nuevas tecnologías basadas en la aplicación del conocimiento científico y el intercambio y la cooperación en equipos de trabajo. Por ejemplo la utilización cultivos en terraza de desagüe y de absorción (91%), Cultivos en curva de nivel (82%), Microembalses (36%) y Cultivos en fajas a nivel (9%). Esto se consigue por medio de la transferencia de tecnología y el fortalecimiento institucional entre los CCS y las distintas entidades (universidades, INTA, cooperativas agrícolas, CREA, Consorcios Camineros, entre otros) que quedan comprendidas dentro de la jurisdicción del CCS.

- **Globalmente autónomo y localmente interdependiente:** significa presentar menor dependencia de los mercados externos y la interdependencia local es la relación interdependiente de los actores, la cual aumenta al haber menor control externo, ya que se fomenta la colaboración y cooperación entre los mismos. Los productores son socios de cooperativas agrícolas (45%), asegurando un volumen de venta a mercados locales, además al estar integrados al CCS comparten recursos tecnológicos, por ejemplo se prestan/alquilan maquinarias para realizar las técnicas de sistematización de excedentes hídricos y conservar el agua en sus predios.

- **Construcción de capital humano:** referido a la construcción de recursos sociales como conocimiento, habilidades y experiencia que pueden transferirse a través de las relaciones y difusión en redes. El 36 % de los productores manifiesta estar inscripto en el programa de Buenas Prácticas Agropecuarias (B.P.A.) promovido por el Ministerio de Agricultura de la provincia de Córdoba y realizar capacitaciones (73%) asistiendo a cursos, jornadas o reuniones referidas a aspectos productivos, comerciales y climáticos de la producción agropecuaria.

En conclusión el SSE analizado presenta evidencias de resiliencia a los disturbios climáticos como es la sequía, de acuerdo a los indicadores detectados en el sistema, que contribuyen a mantener sus funciones, atributos e identidad a través de su desarrollo y evolución histórica.

Referencias

- Bocco, A y M. Vinocur,** (2016). “Análisis del comportamiento de las sequías en el sur de Córdoba utilizando los índices SPI y SPEI”. *Actas de XVI Reunión Argentina de Agrometeorología y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología*. 20-23 de septiembre de 2016, Puerto Madryn, Argentina. ISBN 978-987-42-2098-1
- Cabell J. y M. Oelofse,** (2012). “An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience”. *Ecology and Society* 17 (1): 18. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol17/iss1/art18/>
- Llames, A.** (2022). *Evaluación de la resiliencia de los productores agropecuarios del departamento río cuarto a la sequía*. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Ostrom, E.** (2009). “A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems”. *Science*. Vol 325. 5939: 419-422.
- Resilience Alliance,** (2010). *Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0*. Disponible en <http://www.resalliance.org/3871.php>
- Secretaría de Agricultura de la Provincia de Córdoba,** (2000). *Ley N° 8863: Ley de creación y funcionamiento de consorcios de conservación de suelos*. Disponible en <http://www.cba.gov.ar/reparticion/ministerio-de-agricultura-ganaderia-y-alimentos/secretaria-de-agricultura/legislacion>
- Taylor, S.J y R. Bogdan** (2006). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. 3ra. Edición en español. Ed. Paidós. Barcelona.

LA GENTE Y EL AGUA. RESPUESTAS Y PROPUESTAS DE UNA POBLACIÓN ISLEÑA FRENTE A LAS INUNDACIONES

Roig, Mariela¹, D'Amico, Gabriela^{1,2,3}, Carut, Claudia¹, Crivos, Marta^{1,3}

¹Centro de Investigaciones Geográficas. Instituto de Investigaciones en Humanidades y Ciencias Sociales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. ²Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena. Universidad Nacional de La Plata/Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. ³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. marielaroig.geo@gmail.com

Introducción

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto de I+D de la UNLP titulado “Transformaciones territoriales de los puertos estuariales de Buenos Aires a partir de la reconversión portuaria de la década de los 90. El caso del Puerto La Plata”. La dinámica del agua en zonas costeras se ve alterada por interferencias generadas desde la atmósfera como lo son las tormentas, que en ciertos casos pueden provocar eventos de inundación. En el estuario del Río de la Plata ocurren fuertes vientos provenientes del sudeste que arrastran las aguas al interior del mismo y producen la elevación de su nivel, especialmente cuando se superponen con las pleamares astronómicas. Esto se conoce como *sudestada* (Barros, 2005). En el caso de la Isla Paulino, este fenómeno ha dado lugar a respuestas y propuestas por parte de la población desde los inicios de su poblamiento a fines del siglo XIX.

Este trabajo presenta un primer análisis de la información relevada en torno a las inundaciones entre 1914 y la actualidad. Para esto se implementó una metodología cuali-cuantitativa que contempló el trabajo con historias de vida, fotografías, registros estadísticos, periodísticos y cartografía. Esto hizo posible explorar las correspondencias entre las inundaciones y las estrategias de la población local.

La Isla Paulino

En la costa oeste del estuario del Río de la Plata se ubica la Isla Paulino (Figura 1). La misma surge a partir de la división de la Isla Santiago, a causa de la construcción del canal de acceso al puerto La Plata hacia finales del siglo XIX.

La isla limita con el estuario del Río de la Plata al NE, el canal de acceso al puerto al NO, el río Santiago al SE y el canal Zunda al E. Comenzó a ser denominada por los pobladores locales con el nombre de Isla Paulino por referencia al primer poblador, Paulino Pagani, dueño del primer recreo de la isla.



Figura 1: Área de estudio. Fuente: elaboración propia.

La sudestada

La costa argentina del estuario está expuesta a variaciones en el nivel de las aguas de origen meteorológico y astronómico. Las primeras son producidas por las ondas de tormenta (ODT), definidas como modificaciones de la altura de la marea astronómica por efecto meteorológico (Servicio de Hidrografía

Naval). Las ODT+ (positivas), conocidas localmente como sudestadas, suelen provocar inundaciones costeras (Escobar et al., 2004). Se caracterizan por vientos persistentes, de moderados a fuertes, pudiendo alcanzar los 75 a 88km/h en el estuario exterior (Pousa et al., 2013). Su duración puede variar entre algunas horas y dos o tres días (D'Onofrio, 1999). Son frecuentes durante el verano y el comienzo de la primavera y otoño (Escobar et al., 2004), mientras que las más fuertes ocurren en invierno (Servicio Meteorológico Nacional, 1997). Las ODT se desplazan en el mismo sentido de la marea e interactúan con ella (Etala, 2000), aunque no siempre ambos procesos ocurren en fase. La mayor energía se produce cuando las ODT+ coinciden con la pleamar (Isla et al., 2022).

En la Isla Paulino han ocurrido numerosas inundaciones provocadas por sudestadas. El primer registro data de 1914, donde consta que las aguas se elevaron 3,90 m (Mareógrafo del Ministerio de Obras Públicas –MOP-). En la isla hubo dos fallecidos, el agua cubrió los terrenos y derribó casas, viñedos, quintas y alambrados. Se inundaron, incluso, las casas en palafito más altas. El recreo de Paulino Pagani sufrió graves daños y el muelle quedó destruido (Diario el Argentino, 19-21/8/1914). En 1940, las aguas se elevaron 4,44 m (MOP) y en los registros periodísticos se consigna la destrucción de los recreos turísticos, incluido el de Pagani, el embarcadero público, y daños en la escuela de la isla (Diario El día, 14/6/1940). Posterior a la sudestada, la reconstrucción de los recreos tumbados y construcción de otros nuevos, como el de la familia Allegretti, propició la continuidad de la actividad turística. Posteriormente, la sudestada del 27 de julio de 1958, con una altura de 3,81 m (MOP), tuvo un alto impacto en la ribera de Berisso y Ensenada. Algunos pobladores relataron que el nivel de las aguas se elevó más que en la inundación de 1940, debido a que la ODT+ fue mayor (Diario El Plata, 28/7/1958). En episodios más recientes, se consignan evacuaciones de turistas que, al momento de la sudestada, estaban en la isla (Diario Blanco sobre Negro, 25/1/2018).

Perspectiva local

Con un enfoque inductivo, a partir de las observaciones y diálogos con los pobladores de la isla, es posible identificar tres respuestas a las inundaciones.

1) La construcción en altura es la respuesta más utilizada por los pobladores permanentes. Este tipo de estrategia protege sus pertenencias de las crecidas del río.

Se observan dos estilos de viviendas: aquellas que se construyen elevadas (por sobre el nivel del piso) (Figura 2, izq.) y las que no lo están (Figura 2, der.). Al respecto, resta explorar una posible correlación entre la altura de los pisos de las construcciones y la elevación de las aguas registrada en las inundaciones que experimentaron sus habitantes.



Figura 2: Izq.: vivienda elevada, der.: vivienda construida a nivel del suelo. Fuente: fotografías propias.

2) Terraplenes y zanjillos. En el primer caso, el terraplén más antiguo resulta de la depositación de los sedimentos producto de la excavación realizada por la empresa Dock de Transito para la apertura del canal de acceso al puerto a fines del siglo XIX. Observamos relictos en terrenos que funcionaron como quintas en el pasado. Actualmente, algunos terraplenes de construcción reciente son utilizados como diques de contención al ingreso del agua (Figura 3, izq.). A estos se suma la construcción de zanjas y zanjillos –existentes desde el momento de auge de las quintas en explotación hasta la actualidad- a fin de escurrir las aguas hacia las zanjas mayores y de ahí al canal de acceso al puerto (Figura 3, der.). Al mismo tiempo, su construcción hizo posible que la tierra removida elevase levemente el terreno permitiendo proteger las raíces de los frutales. Podemos reconocer un análogo a esta estrategia en el sistema de polderización.



Figura 3: Izq.; terraplén, der.: zanjillo. Fuente: fotografías propias.

3) La tercera respuesta remite a comportamientos de los pobladores locales con base en sus percepciones y vivencias de las inundaciones. Los podemos describir como una actitud de espera, donde las inundaciones no constituyen una amenaza y forman parte de su estilo de vida. Los pobladores se expresan al respecto mediante frases como: “La inundación es lo más normal del mundo siempre que subió el agua bajo, a veces un poco más o un poco menos, a veces hizo algún daño. La creciente no es lo que hace daño sino los fuertes vientos y el granizó”; “El agua no es el problema, sube y baja.[...] (Si) hay creciente yo pongo cuatro sillas abajo de la cama y levanto todo y ya está. Cuando hay sudestada ya sabe que se viene el río” (ER, 2017, 2016).

Conclusión

De nuestro estudio, desde una perspectiva inductiva surge que lejos de constituir una amenaza para los pobladores de la isla, o un episodio traumático al cual se deben adaptar, las inundaciones son concebidas y vividas como un evento esperable que forma parte de su estilo de vida. Los no tan frecuentes episodios de grandes inundaciones, como la de 1940, han conducido a la población a ensayar formas de construir más resistentes al embate de las aguas.

Por otra parte, ante el elevado costo de construcción de los terraplenes, los pobladores se han visto en la necesidad de realizar tratos con el Puerto para su construcción, y de esta forma evitar las inundaciones que provienen del canal Zunda.

Lejos de ser excluyentes, las estrategias exploramos en este trabajo coexisten en la mayoría de los casos, y acompañan como un componente más del medio isleño los cambios que al pulso de

las aguas modelan su territorio. En este sentido, el estudio de las respuestas ensayadas por la gente a lo largo de una larga historia de asentamiento en el medio isleño podría ser de interés en tanto estrategias probadas y que han mostrado su eficacia para la gente que habita ese ambiente. Por ello, deberían ser consideradas a la hora de diseñar y poner en marcha políticas de interés comunitario frente a las inundaciones.

Referencias Bibliográficas

- Barros, V. (2005). *El cambio climático global*. Libros del Zorzal, Buenos Aires
- D'Onofrio, E., Fiore, M., y Pousa, J. (2008). “Changes in the Regime of Storm Surges at Buenos Aires, Argentina”. *Journal of Coastal Research*, 24 (1), pp. 260–265.
- Escobar, G., Vargas, W., y Bischoff, S. (2004). “Wind Tides in the Rio de la Plata Estuary: Meteorological Conditions”. *International Journal of Climatology*, 24, pp. 1159-1169.
- Etala, M. P. (2000). Modelos hidrodinámicos anidados para el cálculo de la onda de tormenta en el estuario de Bahía Blanca [Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires].
- Isla, F., Prario, B., Maenza, R., Bertola, G., Cortizo, L., y Lamarchina, S. (2022). “Las Sudestadas del sudeste y del sur en la provincia de Buenos Aires, Argentina y el aumento antropogénico previsto del nivel del mar”. *Revista Universitaria de Geografía*, 31(1), pp. 13-15.
- Pousa, J. L., D'Onofrio, E. E., Fiore, M. M., y Kruse, E. E. (2013). “Environmental impacts and simultaneity of positive and negative storm surges on the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina”. *Environmental Earth Sciences*, 68, pp. 2325-2335.
- Servicio Meteorológico Nacional (1997). Boletín informativo.

Artículos periodísticos

- Diario el Argentino, noticias del 19, 20 y 21 de agosto de 1914.
- Diario El Día, 14 de junio de 1940.
- Diario Blanco sobre Negro, 25 de enero de 2018.
- Diario El Plata, 28 de julio de 1958.

CONTRIBUCIÓN INTERDISCIPLINARIA AL CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, LA TOXICOLOGÍA Y EL ANÁLISIS DE RIESGO

¹Romeo, Ligia.; ¹Ponzio, Amalia.; ²Olmos, Valentina.; ²Villaamil Lepori, Edda.; ^{3,4} Munarriz, Eliana.; ⁵ Zapiola, María L.; ⁶ Pina, Juan I.; ⁷ Batista, Juan C.; ⁸ Rossen, Ariana.; ⁹ García Susana, ¹⁰ Debanne, Jorge, ⁷ Mentruyt, Guillermo

1*Grupo de Trabajo sobre Análisis de Riesgo y Toxicología del Instituto para la Cooperación Científica en Ambiente y Salud, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. 1 Corteva AgriScience; 2 Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires; 3 Cátedra de Bioquímica, Facultad de Agronomía, UBA. Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales, UBA; 4 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina; 5 Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología; 6 Atanor SCA; 7 Instituto para la Cooperación científica en Ambiente y Salud; 8 Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Sugerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina.; 9 Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental; 10 Universidad ISalud
E-mail: ligia.romeo@corteva.com - arossen@ina.gob.ar

Contexto

El Instituto para la Cooperación Científica en Ambiente y Salud (ICCAS) es una Institución, que nace como ILSI Argentina, creada por un grupo de profesionales, con 30 años de trabajo ininterrumpido en la región, a fin de buscar una mejor manera de canalizar adecuada e integradamente tareas de investigación y divulgación. Es un ámbito de interacción transdisciplinaria que reúne especialistas de la academia, industria y gobierno, para abordar temas científicos-tecnológicos de manera integral (Fig. 1).

ICCAS tiene como misión conectar, cooperar y reunir a científicos destacados para intercambiar conocimientos, promoviendo el aprendizaje conjunto y el abordaje integrador, fundamental para el avance de la discusión científica en temas de ambiente y salud. Sus pilares son la integridad científica, el trabajo colaborativo y la ética profesional. Suscribe al trabajo tripartito y a la calidad científica, pero adaptada a las nuevas formas de colaboración, a través de plataformas digitales, constituyendo un ecosistema de organizaciones que aportan sus conocimientos y enfoques específicos, en una sociedad cada vez más escéptica respecto de la ciencia y la innovación, donde la necesidad de socializar los procesos científicos es ineludible.

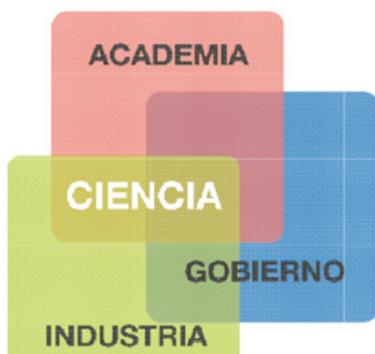


Figura 1.- Interacción academia, industria y gobierno con ciencia- tecnología.



Figura 2.- Integración de los grupos de trabajo.

Es en este contexto donde los límites entre disciplinas se diluyen, en el cual ICCAS ofrece un espacio para generar foros de discusión y comunicación responsable frente a los desafíos de estos tiempos.

Para alcanzar esta misión, ICCAS se organiza en grupos de trabajo integrados por profesionales de diferentes disciplinas (Fig. 2), aportan su expertise en forma voluntaria.

El Grupo de Trabajo sobre Análisis de Riesgo y Toxicología (GT-ARyT):

Aborda temas tales como integridad de la investigación, inocuidad alimentaria, residuos y contaminantes en alimentos, buenas prácticas agrícolas, calidad de aguas, contaminantes emergentes, métodos alternativos al uso de animales, entre otros.

Se destacan los aportes de este grupo de trabajo en las siguientes actividades:

- ✓ Capacitación a profesionales mediante seminarios en temas tales como evaluación de riesgos, toxicología y epidemiología, residuos en alimentos, toxicología regulatoria, y en el uso de la herramienta Risk21 (desarrollada por el *Health and Environmental Sciences Institute -HESI-*, para formulación de problemas y comunicación de riesgos) (Fig. 3).
- ✓ Dictado de charlas de difusión sobre diversas áreas de interés como: Integridad científica, ambiente, Salud, Biotecnología (Fig. 3).
- ✓ Material científico informativo y de divulgación sobre calidad de agua, contaminación ambiental, toxicología y evaluación de riesgo. En relación con la calidad del agua, se han publicado artículos dirigidos al público general sobre arsénico, impacto y seguridad de fitosanitarios, contaminantes emergentes, microplásticos, entre otros (Fig.4).



Figura 3.- Comunicaciones de seminarios y charlas técnicas.



Figura 4.- Material científico informativo y de divulgación.

Actualmente se está trabajando en un proyecto colaborativo sobre farmacontaminación, enfocado en el aporte de herramientas para su diagnóstico y realizar propuestas de alternativas sobre medidas de mitigación.

ICCAS brinda la posibilidad de generar información a través de sus pilares y metodologías de trabajo, de manera responsable con bases científicas, en temas que hoy en día preocupan a toda la sociedad, como calidad del agua, riesgos en salud y contaminación ambiental, temas que requieren de una mirada profesional e interdisciplinaria.

Referencias

Página de consulta: <https://iccas.org.ar/es/>

PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN HÍDRICA EN LOS CENTROS POBLACIONALES DE LA DIAGONAL ÁRIDA

Romero Jorge Eduardo

E-mail: romeroaimogasta@yahoo.com.ar

Introducción

Cuando uno plantea un problema, tiene la ilusión y la esperanza, de obtener una respuesta para su solución o por lo menos su tratamiento, por parte de los Organismos responsables de su gestión, que cuentan con profesionales, especialistas, tecnología, presupuesto y la legalidad para realizar propuestas y normas que deben ser cumplidas por la comunidad.

Es de esperar, a partir del lema de este Congreso. “Hacia una gestión hídrica sostenible e inclusiva”, que se pueda lograr la aplicación de tecnología y acciones consensuadas, como Políticas de Estado, que permitan cumplir con lo establecido, y buscar soluciones que permitan una gestión sostenible e inclusiva del recurso hídrico. Poniendo énfasis en la gestión de las aguas subterráneas en las regiones áridas, ya que son el recurso principal para el desarrollo humano, económico, ambiental y social, en las poblaciones insertas en la Diagonal Árida de nuestro País.

Definiciones

Martínez Carretero, en su informe, La Diagonal Árida Argentina: Entidad Bioclimática, La define “como una franja de escasas precipitaciones a casi nulas en algunos sectores que se extiende desde la costa del norte de Perú, hasta las costas Patagónicas en Argentina. (Brunierd, 1982). Integra el conjunto de zonas secas (áridas, semiáridas, y subhúmedas con periodos secos).

Aridez, implica un déficit permanente de largo tiempo, ligado a temperaturas elevadas, baja humedad del aire y fuerte evapotranspiración. El término “tierras secas”, ha sido adoptado por La Convención De Las Naciones Unidas Para El Combate De La Desertificación, para describir a aquellas zonas donde los problemas de degradación de tierras, origina su fragilidad ecológica y se incluyen las zonas, hiperáridas, áridas, semiáridas y las subhúmedas con periodos secos. Caracterizadas por la escasa presencia de aguas superficiales y las que existen son cuencas endorreicas, predominando las cuencas arreas, con cursos de agua de carácter temporal o intermitente que se evaporan o se infiltran en el terreno hasta desaparecer. Dependiendo sus caudales del aporte níveo en la cuenca daalta.

El agua subterráneas en la diagonal árida

Históricamente los pueblos originarios, se asentaron donde existían ríos, aguadas, vertientes, esto continuo durante la colonia, dando origen a los Centros Poblados Actuales, su expansión poblacional y territorial, incremento en forma exponencial la demanda hídrica, para uso humano, el crecimiento económico e industrial. Además el cambio climático, origina diversas modificaciones en el ciclo hidrológico, afectando la disponibilidad del agua incrementando su vulnerabilidad (Josep Mas- Pla 2013).

La variabilidad de los Recursos Hídricos Superficiales y su contaminación, determino el aprovechamiento de las aguas subterráneas, como un recurso vital, que desempeña un papel estratégico para el desarrollo sostenible y se ha convertido en un recurso hídrico significativo y con uso intensivo en muchas

aéreas, tanto del ámbito rural como urbano. Esto es una constante en su explotación, donde los aspectos de cantidad en general priman sobre la calidad y su potabilidad. Originando preocupación por la sobreexplotación y sus repercusiones sociales. (Bueke y Moench, 2000)

Custodio Emilio, en su informe, “La calidad del agua subterránea, como parte importante de su gobernanza”, nos dice...”en realidad buena parte de los problemas actuales de las aguas subterráneas y de su calidad son herencias del pasado, con causantes a veces legalmente irresponsables o que ya no existen”. La realidad que esto continúa repitiéndose y originan la contaminación del agua, su escaso tratamiento, y se confunde agua domiciliaria con agua potable.

Recomendaciones

El informe mundial de las Naciones Unidas, sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del 2022, tiene como finalidad, “arrojar luz sobre las Aguas Subterráneas “Hacer Visible el Recurso Invisible”. En nuestra región en especial en Aimogasta cabecera del Dpto. Arauco en la Prov., de La Rioja, es un ejemplo de lo difícil que es aplicar una gestión sostenible, ya que se prioriza la necesidad de entregar agua domiciliaria y no se tiene en cuenta su potabilidad, se gestiona mal, e incluso se sobreexplota realizando perforaciones que sin análisis de su agua se conectan directamente a la red de distribución, como también no se respetan los ensayos de bombeo para determinar el buen funcionamiento y el mejor régimen de producción.

Además hay una competencia para la obtención del recurso, entre las necesidades de la población y el agua de riego para los cultivos, originando una sobreexplotación del acuífero, que tiene las características de agua fósil, y donde su recarga es muy limitada, por lo tanto no se recupera con el mismo ritmo que su extracción, determinando un balance hídrico negativo en toda la Cuenca.

La determinación política de favorecer las zonas marginales del país, con la Ley Nacional de Desarrollo Económico 22021 incremento las plantaciones de olivo de las 2600 hectáreas en 1985 a las 19738 hectáreas en el 2010 y de jobo de 0 hectáreas para 1985 a 2856 hectáreas. Originando el aumento poblacional como consecuencia de la reactivación económica de 10.000 habitantes a cerca de 15.000 en la actualidad, creando la necesidad de incrementar la explotación del agua subterránea, actuando como la espada de Damocles ya que la falta de una gestión sostenible crea las condiciones no deseadas del colapso con consecuencias, dramáticas para su población y los cultivos por la disminución de los niveles piezométricos y su mayor contaminación.

Los desafíos

Son los establecidos en el informe de Naciones Unidas, “Hacer visible el recurso invisible”. El agotamiento de las reservas de agua subterránea se produce cuando la extracción supera la recarga, debido a la extracción intensiva. La contaminación reduce la idoneidad del agua extraída para el consumo humano y afecta a los ecosistemas. Hay muchas fuentes antropogénicas de contaminación del agua subterránea, la mayoría están localizadas en la superficie, pero otras inyectan contaminantes

en el subsuelo por la utilización de pesticidas y agroquímicos, en las zonas de recarga. Como también la presencia de pozos ciegos y cloacas sin plantas de tratamiento, como también las aguas servidas e industriales de emprendimientos textiles, curtiembres y otras actividades que vuelcan sus desechos en los cauces de arroyos secos pero que en épocas de lluvias arrastran los contaminantes a los niveles acuíferos.

La contaminación de las aguas subterráneas es un proceso prácticamente irreversible. La gestión del agua subterránea en forma sostenible e inclusiva ya es una cuestión de supervivencia para la especie humana, por lo tanto es fundamental es fundamental aplicar lo planteado por Einstein “los errores que no se reconocen son errores que se repiten”.

Hagamos visible el recurso invisible, con una gestión acorde a las técnicas apropiadas y a los controles seguros y constante para lograr que el agua domiciliar sea potable para todos eliminando las causas del daño a la salud.

Referencias

COFES (Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios) – (2022).

Custodio, Emilio, 2013. La calidad del agua subterránea como parte importante de su gobernanza. Aguas Subterráneas Recurso Estratégico. Tomo 1. Editorial de la Univ. de La Plata pág. 340 -345

Estrategia de Progresividad para la Equidad en el Acceso al agua y saneamiento.

Johnson Divisiones UOP Inc. Saint Paul, Minnesota. (1966).

Nilda González, Eduardo Kruse, María M. Trovatto, Patricia Laurencena. (Editores). Tomo I. (2013). Editorial Univ. De La Plata. Aguas Subterráneas Recurso Estratégicos.

Mas- Pla, Josep 2013, Aguas Subterráneas y Cambio Climático. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, Editorial de la Univ., de La Plata. Pág. 406- 411.

Massone, Héctor, E 2013 El concepto de riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Un análisis de sus perspectivas y alcances. Temas actuales de la Hidrología Subterránea. Editorial de la Univ. De La Plata.

Ploil, Carlos, Schulz, J, Matalon Patricia. 2013. Aguas Subterráneas y Sociedad en Regiones Áridas. Caso de estudio Algarrobal del Águila La Pampa Argentina. Agua Subterránea Recurso Estratégico tomo 1 pág. 299- 305.

Remorini, Gustavo, E, Campos Alfonso Francisco- 1997. Evaluación del sistema de Explotación de Agua Subterránea para consumo Humano en la Localidad de Ahinojaste Dpto. Arauco Prov. De La Rioja. Consejo Federal de Inversiones.

Talamo E, Moya Ruiz, García Rodolfo, Rocha Fasola, 2013. El Complejo Acuífero Profundo de Arauco, Prov. De La Rioja. Agua Subterránea Recurso Estratégico tomo 1 pág. 140 -147.

UNESCO Informe mundial de Naciones Unidas. (2022) Aguas Subterráneas Hacer Visible el Recurso Invisible.

presentar por fuera de los contenidos temáticos de cada asignatura

Actividades asincrónicas

En virtud que la/os estudiantes no cuentan en sus domicilios con los recursos de conectividad necesarios para acceder a las aulas virtuales mencionadas en el párrafo anterior, el ISPB en un esfuerzo de gestión monto un aula laboratorio con 30 Pcs y la conectividad necesaria para que los alumnos realicen desde el instituto las actividades asincrónicas que demandan las asignaturas.



Figura 2.- Aula laboratorio para realizar actividades asincrónicas

Actividades sincrónicas

Las actividades sincrónicas se desarrollaron de acuerdo a un cronograma acordado entre todas las asignaturas de un semestre con una carga total de dictado de clases teórico-prácticas de 4 hs distribuidas en dos días a la semana de 2 hs cada día. Además, se fijaron dos encuentros de dos horas cada uno para instancias de consulta sincrónica con los tutores no disciplinarios. Las actividades sincrónicas en cada semestre tuvieron una duración de 15 semanas.

Para el desarrollo de las actividades sincrónicas el ISPB implementó una sala /aula de video conferencia, donde los alumnos concurrían a recibir las clases sincrónicas de cada asignatura. Con ello se dio solución a las dificultades de conexión que muchos de los estudiantes tenían y se mantuvo un espacio de encuentro de los alumnos entre sí y de ellos con los docentes colaboradores del ISPB. En la Figura 3 se muestra una imagen de la sala durante una de las clases sincrónicas.

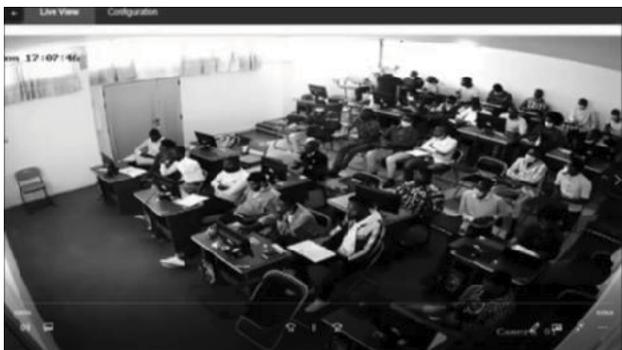


Figura 3.- Sala de Videoconferencia en el ISPB

Salidas de campo

Como parte de las actividades formativas, se realizaron en algunas de las asignaturas salidas de campo para la complementación de la formación práctica de gabinete. Ello fue posible gracias al apoyo de los docentes colaboradores del ISPB y otros actores locales que facilitaron las visitas de campo. En la Figura 4 se observa la salida de campo realizada en el marco de la asignatura Riego y Drenaje.



Figura 4.- Estudiantes del ISPB recorriendo los laterales del riego

Conclusiones

Al cabo de un año de trabajo se logró:

- que un importante porcentaje de alumnos aprobaran las asignaturas dictadas,
- que los docentes en formación del ISPB cumplan su función de apoyo al desarrollo de las clases obteniendo una primera experiencia práctica en el dictado de las asignaturas,
- que el ISPB cuente con los recursos humanos y materiales para desarrollar actividades virtuales de carácter asincrónico.
- que en el ISPB se disponga de un aula de carácter híbrida para el desarrollo de clases sincrónicas que a la vez cuente con personal formado para la gestión de los recursos informáticos.

Referencias

Schreider, M. G. Palhares, V. Zucarelli, R. Gioria, J. Macor (2015) La Formación de Ingenieros para el Desarrollo Sostenible. Anales del XXV Congreso Nacional del Agua, CONAGUA 2015. Paraná, Argentina.

EL CASO DE B° TOBA: UNA OBRA DE AGUA POTABLE PARA 8 BARRIOS POPULARES DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

Talotti Daiana⁽¹⁾, Hereñú Sofia⁽²⁾ y Lopez Lefoll María Luz⁽³⁾

(1) Departamento de Estudios, Proyectos y Estandarización, (2) Departamento de Inspección de Obras, (3) Departamento de Reducción de Agua No Contabilizada (RANC).

Aguas Santafesinas S.A, Gerencia de Infraestructura. Argentina, Santa Fe, Rosario. Salta 1451

E-mail: daiana.talotti@aguassantafesinas.com.ar sofia.hereñú@aguassantafesinas.com.ar, maria.lopez@aguassantafesinas.com.ar

Introducción

La zona en estudio de este proyecto se encuentra en el seno del Distrito Oeste de la ciudad de Rosario y está delimitada al norte por calle Espinosa, al sur por el Ferrocarril Mitre, al oeste por Av. Circunvalación y al este por calle Avellaneda. Según el Registro Nacional de Barrios Populares (ReNaBaP), en el área de estudio hay establecidos 8 barrios que se muestran en la Figura N°1: El Sol (200 familias), Amistad (150 familias), Roca (80 familias), La Cava (350 familias), Libertad (80 familias), La Tacuarita (200 familias), Quinta (350 familias), Vía Honda 2 (400 familias).



Figura 1.- Identificación de los 8 barrios populares de la zona de estudio

En total, viven aproximadamente 20500 habitantes, de los cuáles 10000 hab. residen en los barrios populares y 10500 en barrios formales.

El objetivo principal del proyecto es lograr que los y las vecinas de los barrios populares de toda la zona de estudio mejoren su acceso al agua potable y además se mejore la calidad del servicio prestado en el área formal. Para lograr dicho objetivo se plantea una solución integral, que involucra a diversos actores no solo a la empresa prestadora del servicio ASSA, sino también al Estado, nacional, provincial y municipal, a los vecinos y vecinas, a las organizaciones sociales y ONGs que actualmente trabajan en la zona.

El proyecto plantea obras diferentes para cada área, por un lado, las soluciones destinadas a mejorar las conexiones de los y las vecinas de los barrios populares y por otro lado acciones que se deben llevar a cabo en las cañerías que actualmente existen en la zona con servicio formal.

Justificación

El agua potable es un derecho universal al que todas las personas deben poder acceder. En el orden internacional, el acceso al agua potable ha sido incluido en la carta de los derechos humanos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), donde además se ha creado un esquema de Objetivos para el Desarrollo Sostenible a modo de plan maestro para el 2030, dentro de los cuales el número 6 corresponde a “garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

Otro aspecto a tener en cuenta es que ASSA, se rige por la Ley N°11220, que establece un radio servido y no servido en las localidades donde la empresa presta el servicio. Esta reglamentación, por mucho tiempo, fue un impedimento para la

empresa a la hora de intervenir los barrios populares, hasta la sanción de la Ley Nacional N°27453 donde se declara de utilidad pública a los bienes inmuebles en los que se encuentran asentados barrios populares relevados en el ReNaBaP. Además, declara de interés público el régimen de integración sociourbana. Esto permite plantear un nuevo paradigma sobre el radio servido habilitando la posibilidad de realizar obras de infraestructura para estos sectores.

Situación Inicial

En la zona existe una planta de ósmosis inversa, (POI), que posee dos módulos de tratamiento, los cuales potabilizan aproximadamente 80 m³/h y se encuentra en ejecución un tercer módulo que aumentará la capacidad a 120 m³/h. Este caudal se mezcla con agua potable que proviene de la Planta Potabilizadora Rosario y con agua de una perforación, logrando así un caudal de 190 m³/h apto para consumo. Esta planta posee un esquema de cisterna, con bombeo hasta un tanque elevado.

El caudal de salida del tanque no presenta ninguna variación a lo largo del día, es decir sale la misma cantidad de agua tanto en el momento de mayor consumo, como de noche cuando los consumos deberían bajar, esto evidencia que se está perdiendo un gran caudal de agua osmosada en fugas.

Las redes comunitarias de agua generalmente llegan hasta las casas recorriendo superficialmente las calles y por dentro de las zanjas. En épocas de escasez de lluvia, las zanjas, que deberían estar secas, se encuentran llenas de aguas grises y se puede observar entre la basura que se acumula, canales de agua cristalina provenientes de las múltiples fugas. Esta situación trae aparejadas muchas problemáticas para la sociedad, entre las cuales se pueden mencionar, caudal insuficiente en horarios picos, y bajas presiones, que pueden contaminar el recurso con aguas grises por flujo inverso. Dicha problemática se ve reflejada en la gran cantidad de casos de enfermedades de origen hídrico que se presentan en el “Centro de Salud Barrio Toba”.



Figura 2.- Red comunitaria en alcantarilla

Hipótesis

Originalmente la escasez de agua se pretendía solucionar mediante la ejecución de un cuarto módulo de ósmosis inversa, para el cual no había lugar físico en las instalaciones existentes, por lo que se debía incorporar otro predio con cisterna, bombeo y nuevas cañerías. No se proponía para este proyecto ninguna intervención sobre las redes existentes.

Se planteó una segunda alternativa, basándose en la reducción de fugas de toda el área a intervenir, mediante la reparación y

renovación de cañerías y la extensión de redes y regularización de las conexiones en los barrios populares. Como resultado de estas acciones, el caudal producido por los tres módulos de la POI alcanzaba y no era necesario construir un nuevo módulo.

En cuanto a la primera alternativa, si bien se mejoraría la situación de los y las vecinas de la zona con tendido formal en términos de presión y caudal. Esto no solucionaría la problemática general del barrio, ya que, al haber mayor presión disponible, el porcentaje de pérdidas se incrementaría, desperdiciando más agua. Además, no se resuelve la problemática del acceso al agua dentro de los barrios populares, siendo esta una cuestión que no debe obviarse en el proceso de toma de decisiones. Por otro lado, la ejecución de toda la obra llevaría una inversión tres veces mayor que la segunda alternativa e implicaría mayores tiempos de ejecución, generando un mayor impacto ambiental. Cabe mencionar que existe un proyecto que beneficiaría a la zona mediante la ejecución de un acueducto, a partir del cual la POI quedaría fuera de funcionamiento.

Propuesta de Acción

Para regularizar las conexiones de los barrios populares, se propone colocar una única cañería de PEAD de 50mm a baja profundidad en el interior de los pasillos y bordes de los polígonos, de manera de conectar la nueva red en un único punto a las cañerías existentes, anteponiendo una válvula esclusa que permita regular el caudal de ingreso al barrio y un medidor de caudal. Además, se propone retirar las instalaciones precarias, de manera de que no convivan las redes comunitarias con las nuevas. En cuanto a las conexiones domiciliarias, se previó dejar un cajón plástico con una llave esférica de ½" para cada familia. También se tuvo en cuenta la incorporación de válvulas esclusas sobre las cañerías de los pasillos, de manera de poder sectorizar los barrios. Finalmente se propone un alisado de cemento sobre la cañería, con la doble función de protegerla y mejorar la transitabilidad del barrio.

Para la reparación de la red formal, se plantean dos acciones, por un lado, renovar las cañerías existentes perimetrales a los polígonos, aproximadamente 6.5 km y por otro, reparar 307 fugas, 230 en conexiones domiciliarias activas y 77 puntos sobre cañerías distribuidoras.

Ejecución del Proyecto

Actualmente el proyecto se encuentra en ejecución, en esta etapa se busca validar las hipótesis de diseño a partir de las experiencias obtenidas.

Las vivencias pueden segmentarse entre el intercambio de las diferentes partes inherentes a la obra, y la obra propiamente dicha, donde aparecerán cuestiones generales de la ejecución, el tendido y la reparación de las redes y otras propias de la búsqueda de fugas.

La interacción entre los diferentes actores cumple un rol fundamental, debido a la diversidad de organismos que intervienen. La obra se encuentra financiada con los fondos del FISU, Fideicomiso de Integración Socio Urbana, la unidad ejecutora es la Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Santa Fe, que mediante un convenio con ASSA le permite llevar adelante la licitación del proyecto, y la ejecuta una empresa Contratista. A estas instituciones se le suman las distintas organizaciones territoriales y los y las vecinas beneficiarias de la obra. Dentro de la empresa además intervienen distintas áreas, Proyecto, Inspección, RANC, Relaciones con la comunidad, obra vial, redes y prensa. Por esto es que uno de los principales desafíos es fortalecer los vínculos y la comunicación entre todas las partes intervinientes, de manera de crear una mayor sincronía en las elecciones y las acciones de manera de evitar errores que finalmente podrían devenir en el desperdicio de recursos.

En cuanto a la búsqueda de fugas, se realiza un seguimiento de los distintos indicadores del sistema, como número de fugas por km encontradas, tamaño de fugas, caudales de salida de tanque, presión disponible y a medida que se incorpore la macromedición en los barrios, el consumo por habitante.

Los equipos de búsqueda de fugas utilizados requieren de puntos de accesos directos a la red y una presión disponible de al menos 5 m.c.a. En algunos sectores no se pudieron realizar las tareas debido a que no se pudo acceder a la red. En cuanto a la presión disponible, si bien en la mayoría de los sectores era menor a la requerida, para poder trabajar se recurrió a una metodología de sectorización, mediante el accionamiento de válvulas se dejaban temporalmente zonas sin agua, redistribuyendo el recurso en sectores más pequeños, aumentando la presión y permitiendo el desarrollo de las tareas.

Debido a los largos períodos de presiones por debajo de los 3 m.c.a los y las vecinas del radio servido debieron intervenir las conexiones, ya que la única forma de acceder al servicio era al ras del suelo. A partir de la puesta en marcha del tercer módulo de la POI, las presiones disponibles en el sistema aumentaron, en algunos sectores de 0 a 5 m.c.a, en esta nueva realidad las múltiples intervenciones se convirtieron en pequeñas fugas que, debido a la gran cantidad, generaban un impacto en el sistema, produciendo una demanda de reparaciones menores a absorber por la empresa.

De lo ejecutado hasta el momento se pudo observar que las mayores dificultades no resultaron en el tendido de la red dentro de los pasillos, donde los y las vecinas se involucraron activamente facilitando las tareas, los espacios disponibles se adaptaron a las tecnologías adoptadas permitiendo cierto grado de variación a lo proyectado.

Los desafíos se encontraron en las redes perimetrales, donde conviven diferentes grados de urbanización, las calles están asfaltadas, y las zanjas han ganado terreno de las veredas después de tantos años de cumplir la triple función de transportar las aguas pluviales, los efluentes primarios, y el agua proveniente de las fugas de la red. Además, existe una convivencia entre las redes formales de agua de las que se cuenta información, y los servicios que han ido construyendo los y las vecinas para resolver el acceso al agua y la descarga de los efluentes pluviales y cloacales, de los cuales es difícil estimar su ubicación.

Se observa una dificultad para lograr la correcta compactación del relleno sobre la cañería, debido a que el terreno se encuentra saturado por la presencia de agua constante en las zanjas, provenientes de las tres fuentes mencionadas.

El aporte extra de este proceso es el aprendizaje de los nuevos conocimientos generados a través de la experiencia empírica y el seguimiento de indicadores del sistema, de esta manera los criterios adoptados podrán ser renovados y replicados en nuevos proyectos de similares características.



Figura 3- Ejecución red nueva en pasillo

IMPLICANCIAS DE LA APLICACIÓN DEL ACUERDO DE ESCAZÚ EN LA GESTIÓN DEL RECURSO

Noelia Torchia, Aldo Rodríguez Salas, Guillermo Hernández, Mariano Garguir, Marco Fagioli, Sofia Torres y Macarena Frazzetta

Universidad de Congreso, Argentina
noeliatorchia@profesores.ucongreso.edu.ar

Introducción

El presente trabajo fue realizado en el marco de un proyecto de investigación financiado por la Facultad de Abogacía de la Universidad de Congreso (Sede Mendoza). El objetivo original del proyecto de investigación era analizar cuáles son los cambios que deberían encararse en la gestión del agua en la Provincia de Mendoza a partir de la reciente entrada en vigencia del Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (en adelante Acuerdo de Escazú, Acuerdo, Escazú) aprobado por Ley n° 27.566.

Teniendo como válida la hipótesis de que los institutos de participación ciudadana previstos en la legislación hídrica debían ser reformulados a los fines de la observancia de los mínimos establecidos en el Acuerdo de Escazú, la investigación se centró en procurar determinar cómo es actualmente la participación de los usuarios en la gestión hídrica a fin de ir delineando posibles mecanismos para incorporar a la ciudadanía en la gestión del recurso.

Para cumplir con este primer objetivo comenzó un proceso de recopilación de datos y encuestas tendientes a definir cómo está actualmente regulada la participación en la gestión del recurso hídrico en la Provincia de Mendoza, a fin de verificar si los mecanismos previstos son o no efectivos.

Ello, entendíamos, nos permitirá analizar de qué manera podría ampliarse la participación a la ciudadanía en general, como exige el Acuerdo de Escazú. No obstante, los resultados preliminares obtenidos de la muestra realizada dan cuenta que la participación de los concesionarios de aguas superficiales es realmente escasa en las instancias previstas en la normativa.

Esta verificación nos motivó a modificar el eje de la investigación a fin de indagar sobre las causas de esa escasa participación. Encontrar tales causas nos daría elementos para que los mecanismos de participación de la ciudadanía que podamos delinear en un segundo tramo de la investigación sean efectivos.

En este primer tramo de la investigación que aún está lejos de arribar a resultados definitivos, hemos reunido los datos necesarios para tener un diagnóstico de la participación de los usuarios en la gestión del agua, a partir de su derecho a la participación en la gestión de la red secundaria de riego en adelante, reconocido en la Constitución Provincial (art. 187) y comenzado a indagar en las causas de la escasa participación detectada.

Métodos

Los métodos utilizados de recolección de datos han consistido en asistir a las Asambleas ordinarias de Inspecciones de Cauce y verificar a través de los expedientes administrativos que obran en poder del Departamento General de Irrigación la cantidad de asistentes a las distintas instancias (Asambleas ordinarias de aprobación de presupuesto, rendición de cuentas y extraordinarias de distribución así como en la elección de

autoridades de la Inspección de Cauce).

Debido a la gran cantidad de Inspecciones de Cauce (138) se decidió tomar una muestra, incluyendo en el análisis 26 Inspecciones de Cauce, de toda la Provincia. Entre ellas, se eligieron, al menos dos por cuenca, las que tienen mayor cantidad de regantes y las que tienen menor cantidad de regantes. Asimismo, las que presentan mayor cantidad de usos recreativos (áreas urbanas) y las que tienen más usuarios agrícolas (rurales).

Dicha muestra nos permitió verificar si el fenómeno observado es común en todas las cuencas o no, si influye en la participación el tamaño de la Inspección o el tipo de uso del agua que realizan sus integrantes.

Asimismo, otro de los aspectos a considerar fue si la participación de los regantes aumenta durante el acto eleccionario o no, y para tal caso procurar identificar si la amenaza de multa por la falta de asistencia al proceso eleccionario sería la causa de una más efectiva participación en este último proceso.

Por otro lado, y a los fines de comenzar a indagar en las causas del fenómeno de la escasa participación que pudimos comenzar a verificar, desarrollamos una encuesta a través de un formulario google que remitimos gracias a la colaboración del Departamento General de Irrigación a los grupos de whatsapp de las Inspecciones de Cauce que seleccionamos en la muestra, obteniendo una buena respuesta, la que fue complementada con las llenadas en forma presencial con motivo de la asistencia de las alumnas becarias a algunas Asambleas de regantes, oportunidad en la cual entrevistaron personalmente a algunos regantes.

Resultados

Se observa que en las Asambleas de usuarios, tanto de rendición de cuentas, como aprobación de presupuesto y en las Asambleas extraordinarias de distribución que se realizan en forma concomitante, la participación es en la mayoría de los casos menor al 5% de los usuarios, y en ningún caso supera el 11%, por lo que resulta evidentemente baja e inefectiva.

En cambio si observamos la participación en esas mismas Inspecciones de Cauce con motivo del acto eleccionario 2022 observamos que el porcentaje de participación crece considerablemente alcanzando valores aceptables en algunos casos.

Aquí aparece un elemento importante a considerar y tiene que ver con las causas del aumento de la participación en el acto eleccionario.

Sobre dicho aspecto podemos observar que al contestar el formulario google, los regantes respondieron en un gran porcentaje (66,7%) que ello se debe a la existencia de multas. También se indicaron como causas de la escasa participación que la convocatoria no es buena (25,6%).

Respecto a la baja participación en las Asambleas, los usuarios manifiestan en un gran porcentaje desconocer su objeto y

funciones (25,6 %), no sentirse escuchado (20%) y en un gran porcentaje manifiestan desconocer los derechos que le corresponden como usuarios (41%).

A lo que puede sumarse un porcentaje importante de personas que no pueden participar por no ser titulares de la propiedad (porcentaje que asciende al 20% conforme los resultados del último censo y conforme los resultados de la encuesta).

De acuerdo a lo expuesto en forma libre por los usuarios al completar la encuesta se observa que muchos manifiestan desinformación sobre las actividades que realiza la Inspección de Cauce.

Conclusiones

Hemos podido verificar, con cierto grado de certeza, que la participación en la gestión del agua por parte de los usuarios es escasa. Si bien el Acuerdo de Escazú nos obliga a pensar en mecanismos para ampliar la participación en la gestión del recurso hídrico a personas no usuarias del recurso en aquellos aspectos que puedan tener un impacto significativo sobre el ambiente, ello no debe afectar el derecho que constitucionalmente corresponde a los titulares de concesiones de agua superficial, cuya participación debe ampliarse a través de las adecuadas medidas de política hídrica.

Entendemos que el principal aspecto a trabajar para mejorar la participación, es informar adecuadamente a los regantes sobre los derechos que les corresponden y sobre las acciones que realiza la Inspección de Cauce, a través de mecanismos formales y no formales de educación. Dicha tarea debería ser acompañada por el Departamento General de Irrigación y por el Gobierno Provincial.

Fortalecer dicha participación es crucial mientras se desarrollan en paralelo otros mecanismos para incluir a los no usuarios del recurso hídrico en las instancias a que refiere el Acuerdo de Escazú.

LA DIPLOMATURA EN HIDROINFORMÁTICA: UNA PROPUESTA DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL EN EL ÁMBITO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y EL SANEAMIENTO

Juan F. Weber, Matías Bupo, Pablo T. Stehli, Andrés M. Cabello

Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS). Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba - Argentina - Teléfonos: (54 - 351) - 468-4215 / 4006 / 4317 - int. 119-5
E-mail: jweber@frc.utn.edu.ar

Introducción

La Hidroinformática es una rama de la Informática que se concentra en la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para abordar los problemas cada vez más graves del uso equitativo y eficiente del agua para sus diferentes propósitos (Abbott, 1991). Al tener sus orígenes en la Hidráulica Computacional, la simulación numérica de los flujos de agua y los procesos relacionados sigue siendo un pilar esencial de la Hidroinformática, lo que fomenta un enfoque no solo en la tecnología sino también en su aplicación en un contexto social (Kumar et al., 2005).

La inclusión de temas de hidroinformática en la carrera de ingeniería civil es muy importante por varias razones:

- Mayor eficiencia y precisión en el diseño y construcción de infraestructuras hidráulicas: La hidroinformática permite el uso de herramientas digitales para el diseño y análisis de sistemas hidráulicos, lo que puede llevar a una mayor eficiencia y precisión en el diseño y construcción de infraestructuras hidráulicas, como represas, canales, sistemas de riego, entre otros.
- Optimización de la gestión de recursos hídricos: La inclusión de temas de hidroinformática en la carrera de ingeniería civil permite a los estudiantes tener una visión más completa y actualizada sobre los recursos hídricos y su gestión, lo que puede ayudar a desarrollar soluciones más eficientes y sostenibles en términos de uso y conservación.
- Preparación para un mercado laboral en constante cambio: La industria de la ingeniería civil está en constante evolución y la inclusión de temas de hidroinformática en la carrera de ingeniería civil puede preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos actuales y futuros relacionados con la gestión de recursos hídricos y su impacto en el medio ambiente.
- Fortalecimiento de la interdisciplinariedad: La hidroinformática es una disciplina interdisciplinaria que requiere la combinación de conocimientos en ingeniería civil, hidrología, informática y matemáticas, entre otros campos. La inclusión de estos temas en la carrera de ingeniería civil puede fomentar el trabajo en equipo y la colaboración interdisciplinaria en la resolución de problemas complejos.

La Diplomatura en Hidroinformática fue aprobada en sesión del Consejo Directivo de la Facultad Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRC, 2022) y se encuentra en la actualidad en proceso de implementación, teniendo como objetivo su inicio en el segundo semestre de 2023.

Objetivos

Se establecen como objetivos de la propuesta académica los siguientes:

- Formar recursos humanos altamente capacitados y entrenados en las modernas herramientas computacionales disponibles para las tareas de diseño y análisis vinculados a la Ingeniería de los Recursos Hídricos y la Ingeniería Sanitaria.

- Comprender las potencialidades y limitaciones de las herramientas de software de uso frecuente en las tareas de diseño hidráulico, hidrológico y sanitario.
- Promover el uso del software específico en el ámbito de los Recursos Hídricos y el Saneamiento.
- Aportar al desarrollo de las buenas prácticas de la Ingeniería en el contexto de las nuevas tecnologías de la información y comunicación, en el ámbito de los Recursos Hídricos y el Saneamiento.

Desarrollo

Perfil del egresado

Los diplomados en hidroinformática participan en la definición, construcción y suministro de las herramientas que permiten a los decisores gestionar los recursos hídricos y el medio ambiente. Trabajan con ingenieros, científicos y personas de otros grupos de interés. El egresado utiliza o asesora a otros en el uso de modelos matemáticos y sistemas hidroinformáticos para la planificación, diseño o gestión del recurso hídrico. Se espera que el egresado adquiera las siguientes competencias:

- Tener una buena comprensión de los fundamentos de una variedad de procesos físicos, técnicas de modelado avanzadas y tecnología de la información para la gestión del agua;
- Ser capaz de seleccionar y utilizar modelos de simulación aplicados a sistemas hídricos o sanitarios en una amplia variedad de situaciones de la ingeniería hidráulica, hidrológica y ambiental;
- Ser capaz de utilizar las herramientas de software actuales y conocer sus ventajas y limitaciones;
- Saber diseñar, desarrollar e integrar sistemas y herramientas de apoyo a la decisión;
- Ser capaz de brindar asesoramiento a los administradores y usuarios de herramientas avanzadas.

Modalidad de cursado

El cursado de la Diplomatura será de carácter presencial, en aula de Computación preparada a tal fin (software requerido instalado). Adicionalmente, podrá habilitarse un dictado híbrido (presencial / a distancia sincrónico) mediante el uso de cámara de videoconferencia y soporte técnico en aula. Se espera que esta metodología amplíe la cobertura territorial de oferta de esta Diplomatura.

El dictado de los cursos se llevará a cabo en torno al desarrollo de uno o más ejemplos prácticos, resueltos mediante las herramientas de software propuestas. En todos los casos, se utilizará software libre o de distribución gratuita.

Cada curso se aprobará con un trabajo Final propuesto por el docente, donde el estudiante deberá resolver un problema específico haciendo uso de la herramienta computacional aprendida.

Propuesta curricular

La propuesta curricular consta de nueve (9) cursos o módulos,

que totalizan una carga horaria de 180 horas, distribuidos en tres (3) semestres, según el siguiente detalle:

Tabla 1.- Propuesta curricular

Primer Semestre

Curso	Denominación	Carga horaria (hs)
A.1	HEC – RAS I	16
B.1	HEC – HMS	16
C.1	Sistemas de Información Geográfica	28
TOTAL		60

Segundo Semestre

Curso	Denominación	Carga horaria (hs)
A.2	HEC – RAS II	20
B.2	SWAT+	24
C.2	EPANET	16
TOTAL		60

Tercer Semestre

Curso	Denominación	Carga horaria (hs)
A.3	HEC – RAS III	20
B.3	SWMM	16
C.3	MODFLOW	24
TOTAL		60

Discusión

En el mundo, existen diversos programas de formación en Hidroinformática, entre los que se pueden citar, entre otros:

- Master of Science in Hydroinformatics: sostenido por la Oficina de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el IHE DELFT Institute for Water Education, en los Países Bajos, es una de las carreras más prestigiosas en la especialidad, y de mayor permanencia en la oferta académica (Solomatine et al., 2022).
- Erasmus Mundus Master's Degree in Hydroinformatics & Water Management (EuroAqua): es desarrollado por el consorcio EuroAqua con la cooperación de varias universidades europeas (Gourbesville y Cunge, 2009).

En el ámbito latinoamericano, se destaca la propuesta de iniciativa privada desarrollada por el grupo consultor Gidahatari (Perú):

- Diplomado de Modelamiento Numérico de Recursos Hídricos: liderado por el MSc Saúl Montoya

Es importante destacar que aunque el dictado de carreras de Hidroinformática es relativamente nuevo en la región, hay un creciente interés por esta disciplina y se espera que en el futuro

haya una mayor oferta educativa en este ámbito para formar profesionales capacitados para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la gestión de los recursos hídricos.

La propuesta de una Diplomatura en Hidroinformática surge como consecuencia de la creciente demanda del medio profesional en el ámbito de los Recursos Hídricos y el Saneamiento, de personal altamente capacitado y entrenado en las modernas herramientas computacionales disponibles para las tareas de diseño y análisis vinculados a la Ingeniería de los Recursos Hídricos y la Ingeniería Sanitaria. Si bien existen en el medio diversos trayectos curriculares de cuarto nivel en el área, ninguno se ha focalizado hasta el presente, en el estudio de las herramientas de software disponibles, quedando a voluntad o necesidad del interesado su práctica y aprendizaje; con la consecuente disparidad en la formación y en los criterios de modelado utilizados en sus futuras tareas profesionales. Este hecho repercute directamente en la oferta de profesionales calificados en el tema, resultando en diversos casos una limitante significativa a la hora de formular equipos de trabajo, la disponibilidad de recursos humanos con este perfil.

Resta incorporar al trayecto curricular disciplinas tales como: Ciencia de Datos, Inteligencia Artificial, Fundamentos de Métodos Numéricos y Programación, Redes, Gestión de la Información, Procesamiento y Comunicación de Datos, etc., que podrán ser incluidas en una eventual reformulación de la propuesta como carrera de posgrado.

Conclusiones

Se considera que la Diplomatura en Hidroinformática permitirá la capacitación y el entrenamiento de los profesionales y estudiantes avanzados en el uso de las más modernas herramientas de software aplicadas a los Recursos Hídricos y el Saneamiento, cubriendo de ese modo, y en forma organizada y sistemática, la creciente demanda del mercado laboral en estas competencias. Asimismo, se espera que este trayecto curricular aporte y sea complementario a la variada oferta de formación académica de posgrado en las Ciencias del Agua existentes en el ámbito local como nacional.

Referencias Bibliográficas

Abbott, M. B. (1991). *Hydroinformatics: information technology and the aquatic environment*. Avebury Technical.

Gourbesville, P., and Cunge, J. A. (2009). *EuroAqua and its links to RTD (Research & Technological Development) & management*. In **Quevauviller, P.** (Ed.). (2009) *Water System Science and Policy Interfacing* (pp. 347-369). Royal Society of Chemistry.

Kumar, P., Folk, M., Markus, M., and Alameda, J. C. (2005). *Hydroinformatics: data integrative approaches in computation, analysis, and modeling*. CRC Press.

Solomatine, D. P., Price, R. K., Jonoski, A., Popescu, I., Bhattacharya, B., Alfonso Segura, L., Corzo Perez, G., van Andel, S. J., and Bertini, C. (2022). *Hydroinformatics education at IHE Delft: past and future*. Chapter 7 in **Jonoski, A.** (Ed.) (2022) *Michael Abbott's Hydroinformatics: Poiesis of New Relationships with Water*. IWA Publishing.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Córdoba (2022). *Resolución Consejo Directivo 2362/2022*.



+info
www.
conagua.
ina.gob.ar

