

## ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA FORMACIÓN ABRUPTA DE CURSOS FLUVIALES EN CUENCAS SEMIÁRIDAS SEDIMENTARIAS

Nicolás Buono<sup>1</sup>, Esteban Jobbágy<sup>2</sup>, Marcelo Nosetto<sup>2</sup>, Ángel Menéndez<sup>3</sup> y Raúl Cáceres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>2</sup>Grupo de Estudios Ambientales - IMASL, Universidad Nacional de San Luis.

<sup>3</sup>Instituto Nacional del Agua.

E-mail: nicolasbuono8@hotmail.com

### Introducción

Cuencas semiáridas sedimentarias dentro de nuestro país (San Luis, Córdoba) han sufrido un importante proceso de erosión hídrica en las últimas décadas, manifestando un crecimiento exponencial de su red de drenaje superficial a partir de la generación abrupta de nuevos cauces sobre el territorio y su posterior desarrollo. Tal es el caso del denominado Río Nuevo en la provincia de San Luis, el cual inició su formación alrededor de la década de 1980 y en la actualidad presenta valles de hasta 25 metros de profundidad y 50 metros de ancho. Otros ejemplos recientes corresponden al Arroyo La Paraguaya y el Arroyo Ají en la provincia de Córdoba, los cuales han causado cortes sobre la Ruta Nacional N° 8 y pérdidas/fragmentación de extensas áreas productivas.

El origen de los nuevos cursos se encontraría dado a partir de remociones en masa del terreno, motivadas por procesos de auto-colapso espontáneo de depósitos sedimentarios loésicos en estado suelto, desencadenándose en sectores que manifiestan anegamientos locales asociados a niveles freáticos cercanos a la superficie (Jobbágy et al., 2015).

Este fenómeno es seguido por eventos de erosión retrógrada motivados por mecanismos de sapping, los cuales son catalizados por el aporte de flujos subsuperficiales y las pendientes del terreno. A su vez, el proceso continúa avanzando hacia aguas abajo del sector de colapso y sobrepasando el explayamiento aluvional inicial, seguido por el desarrollo de fenómenos de erosión fluvial que provocan la rápida profundización y crecimiento de los valles. Este último proceso se encuentra fuertemente influenciado por las características geomecánicas de los sedimentos areno-limosos finos predominantes. Vale señalar que los eventos descriptos son de carácter reciente en la región y no muestran señales de estabilización, observándose que la densidad de drenaje ha mantenido un crecimiento exponencial en las últimas tres décadas, y que hasta el presente no ha cambiado su tendencia (Contreras et al., 2012).



Figura 1.- Daños sobre puente en Ruta Nacional N°8, San Luis.

Desde un punto de vista hidrológico se observa un ascenso sostenido de los niveles freáticos generalizado en la región, el cual avanzó progresivamente en las últimas décadas provocando el afloramiento de cuerpos de agua en superficie y la salinización de suelos (Jobbágy et al., 2015).

Resulta importante tener en cuenta que la configuración hidrogeológica de las áreas afectadas se caracteriza por la presencia de un basamento rocoso cercano a la superficie, conformando un acuífero libre de baja potencia y en general variable tanto en sentido norte-sur como en dirección este-oeste. Dicha variabilidad condicionaría de manera significativa la respuesta de los niveles freáticos frente a la dinámica hídrica existente (Sánchez et al., 2013).

Desde un enfoque geotécnico, los estudios de campo indican la presencia de un manto sedimentario superficial conformado por depósitos cuaternarios de origen eólico (loessoides), compuestos por arenas finas con un alto contenido de limo no plástico. Por su parte, las características físicas del material revelan la presencia de suelos potencialmente autocolapsables y dispersivos.

Dada la evidencia existente respecto al aumento de los niveles freáticos y su relación con el inicio de los nuevos cursos, se propone realizar un estudio basado en modelación hidrológica continua, con el objeto de valorar la incidencia del cambio de uso de suelo y el aumento de las precipitaciones sobre las recargas del acuífero freático en la cuenca del Morro (San Luis). Por otra parte, dadas las escalas temporales involucradas en los procesos erosivos que determinan el crecimiento de los nuevos ríos, se realizó una evaluación cuali-cuantitativa del impacto del cambio de la cobertura vegetal, el aumento de áreas anegadas y la interconexión de los cursos, sobre la magnitud de los caudales de diseño correspondientes al cauce del Río Nuevo (área: 400 km<sup>2</sup>, pendiente media cauce: 0.85%, desnivel: 500 m), con el objeto de vincular la consolidación de la red hidrográfica con los eventos de crecida que afectan la región.

### Metodología

Con el objeto de analizar las causantes principales de las recargas sobre el acuífero freático, se realizó un estudio basado en modelación hidrológica extendida a partir del software SWAT (Soil and Water Assessment Tool), desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El mismo se materializa como un modelo matemático de base física, continuo y semi-distribuido, operando a escala de cuenca a partir de la definición de parámetros concentrados. Vale resaltar que el mismo se encuentra enfocado en el análisis de procesos de superficie, en los cuales se requiere resolver la interacción entre el clima, la topografía y las distintas prácticas de uso de la tierra para periodos extendidos de tiempo. De esta manera, el análisis comparativo efectuado se encuadra dentro de una escala espacio-temporal extendida, a partir de la comparación de volúmenes anuales. Por otra parte, se desarrolló un modelo a partir del software HEC-HMS, desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), con el objeto de comparar la magnitud de los eventos de crecida entre un medio físico en estado nativo y el actual.

Las forzantes climáticas fueron procesadas a partir de una serie histórica continua de 50 años (1968-2017) de datos diarios de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. Por su

parte, el modelo digital de elevaciones (MDE) fue construido a partir de topografía radar obtenida del SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) en su resolución de 30 m, calibrado a partir de cartas topográficas y la red de puntos de alta precisión proporcionada por el I.G.N. Por otro lado, se elaboraron detallados mapas de cobertura vegetal discretizados por periodos (1975, 1985, 1995, 2015) en base al procesamiento de imágenes satelitales, análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y verificación de campo. Las clases fueron agrupadas en tres coberturas principales: cultivos anuales (maíz y soja), bosque nativo y pasturas/pastizales. La distribución espacial por sub-cuenca fue procesada con ayuda de herramientas S.I.G, obteniendo así una evolución espacio-temporal discreta de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

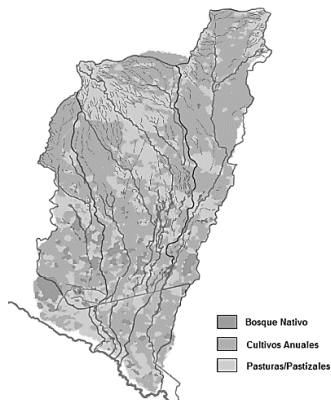


Figura 2.- Distribución de la cobertura vegetal, cuenca del Morro.

Asimismo, se efectuó un relevamiento detallado de las superficies anegadas con ayuda de mapas provenientes de la base del Joint Research Centre (European Commission) en el marco del programa Copernicus, para evaluar la distribución espacio-temporal y la dinámica de los cuerpos de agua durante un periodo de 32 años (1984-2015). En forma complementaria, se analizó la evolución histórica de los cauces a partir de técnicas de teledetección/fotointerpretación sobre imágenes satelitales Landsat provistas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S).



Figura 3.- Evolución histórica de la red hidrográfica, cuenca del Morro.

## Resultados

En relación al balance hídrico, se observa que el reemplazo de las coberturas nativas (bosque y pasturas/pastizales) por cultivos anuales de secano (soja y maíz) ha provocado un incremento de las recargas freáticas. Esto se explica dada la mayor capacidad de las coberturas nativas para captar y evapotranspirar el agua de lluvia gracias a una mayor profundidad de raíces. Por su parte, vale señalar que el aumento del módulo pluviométrico también ha desarrollado un papel importante sobre el

incremento de los volúmenes anuales de recarga y escurritía en la cuenca del Morro.



Figura 4.- Evolución comparativa de las recargas ante el cambio de cobertura vegetal y el aumento de las precipitaciones (2000-2017).

En términos de los eventos de corta duración, se identifica un aumento en los caudales pico de diseño, motivado por el cambio de uso del suelo, el incremento en la conectividad de los cursos y el aumento de áreas anegadas. En este sentido, se señala que la consolidación de la red hidrográfica ha tenido un impacto significativo sobre el transporte de los volúmenes de escurritía, permitiendo conformar subcuencas con áreas de mayor aporte y acelerando los tiempos de respuesta hidrológica de las mismas frente a los eventos de precipitación. De esta manera, se identifica la evolución de un régimen semipermanente-endorreico con predominio de inundación y sedimentación, a permanente-exorreico donde prevalece la erosión y el transporte.

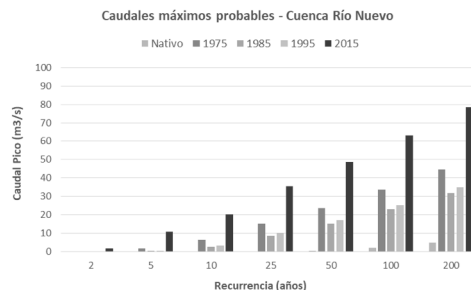


Figura 5.- Evolución de los caudales de crecida ante el cambio de la cobertura vegetal para el Río Nuevo, cuenca del Morro.

## Conclusiones

Se ha desarrollado una metodología basada en modelación hidrológica para evaluar la incidencia del cambio de uso del suelo, el aumento de las precipitaciones y la evolución de la red hidrográfica en la cuenca del Morro. Se ha logrado valorar la incidencia del avance del frente agrícola sobre el comportamiento hídrico a largo y corto plazo, evidenciando sus consecuencias extremas ante un medio físico con características geomorfológicas congénitas derivadas de un paisaje semiárido sedimentario.

## Referencias bibliográficas

- Contreras S., Santoni C.S., Jobbágy E.G., (2012). "Abrupt watercourse formation in a semi-arid sedimentary landscape of central Argentina: the roles of forest clearing, rainfall variability and seismic activity". *Ecology*, Volume 6, Issue 5, Pág. 794-805.
- Jobbágy E.G., Nossato M.D., (2015). "Los Nuevos Cursos de Agua en la Cuenca El Morro: Descripción del Proceso y Pautas para su Gestión". Consejo Provincial de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación. Comisión de Trabajo sobre la Cuenca El Morro, provincia de San Luis.
- Sánchez V. H., Salvioli G., Guimaraes R., Di Chiacchio J. C., (2013). "Investigación hidrogeológica en el área de Colonia Los Manantiales". *Convenio Fundación Argentina - Ministerio del Campo: provincia de San Juan*.