

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO MATEMATICO DISTRIBUIDO EN LA CUENCA DEL A° PAVÓN, SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA.

Stenta H. R.⁽¹⁾⁽²⁾; Riccardi G. A.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾; Basile P. A.⁽¹⁾⁽²⁾ y Scuderi, C.M.⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Hidráulica-Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

⁽²⁾Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hydroambientales, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura; Universidad Nacional de Rosario.

⁽³⁾Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 245 bis. S2000EKE Rosario. Santa Fe.

e_mail: hstenta@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Se presenta la implementación y calibración preliminar de un modelo matemático distribuido, hidrológico-hidráulico físicamente basado en la cuenca del A° Pavón (sur de la provincia de Santa Fe). La cuenca tiene una superficie de aproximadamente 3143 km² y su principal curso es el tramo: Canal San Urbano-A. Sauce-A° Pavón, con descarga al río Paraná. Se utilizó como modelo digital del terreno la información proveniente de cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con agregamiento en celdas de 150 m x 150 m. Adicionalmente se contó con información de red de cursos desde cartas topográficas del IGN, imágenes Google Earth ©; recorridas de campo y proyectos existentes. El modelo quedó constituido con 139717 celdas y una red de cursos de 895 km y fue calibrado preliminarmente con información hidrológica e hidráulica de un evento extraordinario ocurrido el 15 de enero de 2017. El objetivo principal del trabajo es avanzar en la descripción del comportamiento del escurrimiento superficial y su impacto en cuencas del sur de la provincia de Santa Fe, en este caso se realiza el estudio sobre la cuenca del A° Pavón. A partir de la calibración preliminar, para el evento estudiado (enero de 2017), se realizó la comparación entre valores observados y calculados de alturas de agua y caudales (inferidos a partir de una relación H-Q) en la estación de aforo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, estación 3318 – Coronel Bogado. Los resultados indicaron un mejor ajuste en términos de alturas de agua respecto a caudales, obteniéndose valores de R²(alturas) de 0.95 y R²(caudales) de 0.89; errores porcentuales en los valores máximos de -4.1 % en altura y 9.1 % en caudal y valores de PBIAS de - 2.3 % en alturas y 12.1 % en caudales. El error porcentual en términos de volumen total escurrido fue de -9.5 %.

Posteriormente se realizó la explotación del modelo, que permitió realizar la delimitación de áreas inundadas en la cuenca; la determinación de zonas con riesgo para vidas humanas y mapas de permanencias de agua para los diferentes eventos analizados.

INTRODUCCIÓN

En la cuenca hidrográfica del A° Pavón se han realizado diferentes estudios y trabajos; orientados a la descripción general de sus características más relevantes desde el punto de vista de los recursos hídricos, aspectos ambientales y socio-políticos. La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/33.pdf>. Ingreso en febrero de 2018) presenta un reporte descriptivo de las cuencas hídricas de la República Argentina, entre la que se encuentra la cuenca del Pavón. INA (2004) realizó estudios hidrológicos e hidráulicos en el marco del proyecto de descarga de la laguna La Picasa al río Paraná. Mendez Zacarías y Zimmermann (2011) realizan un trabajo donde utilizan un Sistema de Información Geográfica (SIG), como herramienta para la gestión de información necesaria en la modelación de dos sistemas hidrológicos del sur de la provincia de Santa Fe. Dichos sistemas son la cuenca del A° Pavón y la cuenca del A° Saladillo. La revisión del estado del arte indica que no se han realizado estudios respecto a modelación matemática distribuida del escurrimiento superficial en todo el ambiente hidrográfico de la cuenca del A° Pavón. En este trabajo se comienza a implementar un modelo matemático de escurrimiento superficial, de parámetros distribuidos en toda la cuenca. Se ha avanzado en la constitución del área de modelación, la definición de la red de cursos de mayor importancia y la definición de las obras de arte de mayor importancia conjuntamente con la definición del trazado ferro-vial en toda la cuenca. El modelo fue calibrado preliminarmente y aplicado a los efectos de analizar áreas de inundación; zonas de riesgo de vida humano y tiempos de permanencia de aguas. Se remarca el déficit de información hidrometeorológica, lo que implica cierto grado de incertidumbre en el ajuste del modelo.

OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo es avanzar en la descripción del comportamiento del escurrimiento superficial y su impacto en cuencas del sur de la provincia de Santa Fe, en este caso se realiza el estudio sobre la cuenca del A° Pavón (sur de la provincia de santa Fe).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los trabajos

El trabajo se compone de una breve descripción del modelo matemático utilizado; se describe la cuenca del A° Pavón; se presenta un proceso de calibración preliminar para un evento

extraordinario (15/01/ 2017) y se realiza la explotación del modelo para obtener mpasas de alturas de agua, permanencia de aguas y riego de vidas humanas. Debido a la extensión superficial del sistema físico a modelar, a la dificultad de acceder a datos como registros de niveles, caudales, lluvias, dimensiones de obras de arte, se remarca que lo que aquí se presenta es un primer avance.

Breve Descripción del Modelo Matemático

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). Esta herramienta tecnológica es la última actualización de la fusión entre el modelo matemático hidrológico-hidráulico CTSS8 (Riccardi, 2000) y la plataforma en sistema de ventanas para pre y post procesamiento de información y resultados SIMULACIONES (Stenta et al., 2005). **Descripción de la Cuenca del A° Pavón**

El arroyo Pavón constituye la red más meridional de la Provincia de Santa Fe. Su cuenca está orientada de un modo general de SO a NE; las cotas máximas llegan a los 115 m IGN y las mínimas a los 17 m IGN, correspondiendo el nivel de base al encuentro con el río Paraná (Figura 1). Tiene una superficie colectora del orden de los 3143 km². El sistema de drenaje principal está constituido por los arroyos Pavón y Sauce, este último recoge los aportes del canal San Urbano. Aguas abajo de la confluencia de los arroyos Sauce y Pavón se incorporan por margen derecho los aportes del arroyo Cabral y la cañada Rica. La disponibilidad y existencia de datos de precipitación y niveles de agua resulta escasa. La única estación de registro de niveles operada por la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación es la estación Coronel Bogado.

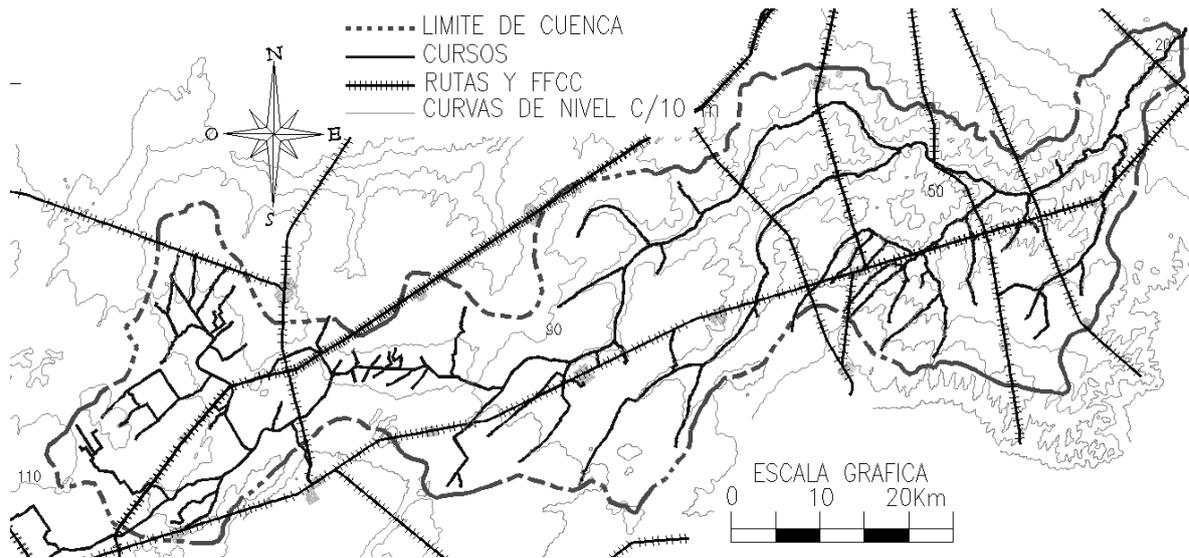


Figura 1: Cuenca del arroyo Pavón.

Respecto a la información de precipitación; para el evento extraordinario del día 15 de enero de 2017 se utilizaron los registros de precipitaciones totales de las estaciones de Agricultores Federados Argentinos (<http://clima.afascl.coop/historico/>. Ingreso Diciembre de 2017). Para la distribución temporal de la lluvia se utilizaron los datos disponibles de los registros pluviográficos de la Estación de Peaje de General Lagos sobre la Autopista Rosario-Buenos Aires. La duración de la lluvia total es de 10 hs. Para la distribución espacial se utilizó la técnica de polígonos de Thiessen. Para la obtención de la lluvia neta se utilizó la metodología del número de curva del Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos. Se estimó un valor de 231 mm de lluvia total y de 210 mm de lluvia neta, ponderada en la cuenca.

Escenarios modelados

El evento del 15 de enero de 2017 ha sido utilizado para la calibración preliminar del modelo. Adicionalmente, se utilizaron escenarios hipotéticos para lluvias de recurrencia 20 años, 50 años, 100 años y 500 años, todos de duración 5 días para la obtención de alturas máximas, permanencia de agua y riesgo humano.

RESULTADOS OBTENIDOS

Calibración preliminar

En este primer avance del trabajo se contó solamente con información de un evento extraordinario de precipitación ocurrido el 15 de enero de 2017. Se reconoce la falta de información hidrometeorológica para realizar un adecuado proceso de calibración –validación. Por otra parte se indica que el modelo utilizado, con base física y espacialmente distribuido ha sido aplicado con muy buenos resultados en cuencas de características similares. Por lo anterior, los valores de los parámetros del modelo (coeficientes de rugosidad de Manning en cursos y en

valle de inundación; coeficiente de gastos en alcantarillas, puentes y en los terraplenes carreteros y ferroviarios que por su baja altura pueden ser sobrepasados por las aguas y actúan como vertederos de cresta ancha) se han definido en función de valores de esos parámetros calibrados en otras cuencas de la región de características similares; en base a los datos reportados en bibliografía específica y en base a lograr un adecuado ajuste para el evento modelado del 15/01/2017.

Para el evento mencionado se contrastaron volúmenes de escurrimiento, caudales máximos e hidrogramas y limnigramas calculados en la estación Coronel Bogado. Los valores resultantes del coeficiente de rugosidad de Manning en cursos se valorizaron en el rango 0.025 - 0.04 s/m^{1/3}; la rugosidad en valle se ajustó en el rango entre 0.08 - 0.12 s/m^{1/3} y las características geométricas de la sección transversal de conducción y almacenamiento dentro de cada celda resultó en sección triangular; inclinación: 0.02 V: 1 H. En la Figura 5 se muestran los limnigramas observado y calculado y en la Figura 6 se presentan los hidrogramas inferido y calculado.

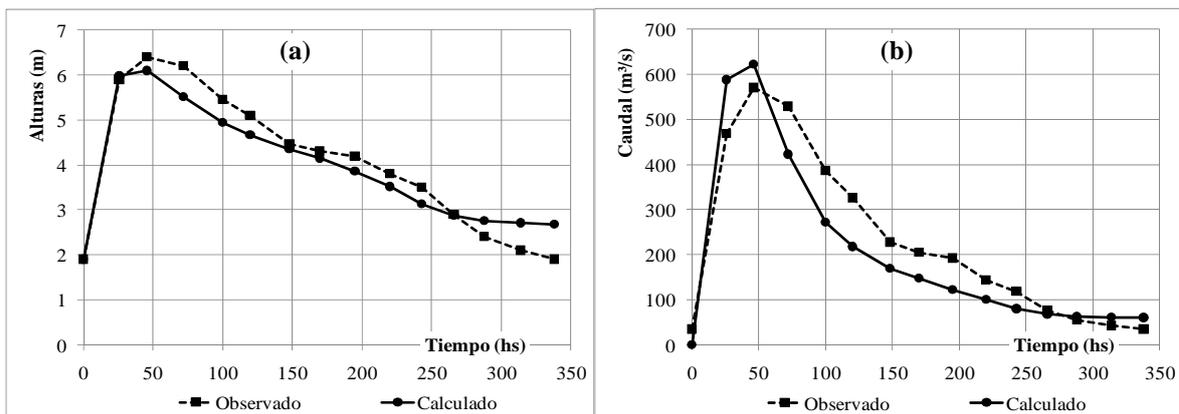


Figura 5: (a) Limnigramas observado y calculados; (b) Hidrogramas observado y calculado.

Se observa un adecuado grado de ajuste entre los valores observados y calculados. Se alcanzó un mejor ajuste en términos de alturas de agua respecto a caudales.

A partir de la calibración preliminar se realizó la explotación del modelo, con la finalidad de obtener mapas de inundación, mapas de permanencia y mapas de riesgo humano; tanto para el evento del 15/01/2017 como para los diferentes escenarios hipotéticos (R = 20 años a R = 500 años). A modo de ejemplo, en la Figura 8 se muestra el mapa de inundación para la Recurrencia de 500 años. En la Figura 10 se muestra el mapa de permanencia de agua superior a 0.30 m para la Recurrencia de 500 años. En la Figura 12 se muestra el mapa de riesgo humano (alto riesgo) para la Recurrencia de 500 años.

En términos generales es posible observar que el evento del 15 de enero de 2017 arroja

resultados similares a los eventos extraordinarios de 100 años y 500 años de recurrencia. Específicamente, en términos de áreas de inundaciones y riesgo humano los resultados se encuentran entre los resultados de los eventos de 100 años y 500 años de recurrencia y en términos de permanencia de agua los resultados son muy similares al escenario de 100 años de recurrencia.

Estos resultados evidencian el carácter extraordinario del evento ocurrido el 15 de enero de 2017. En el rango de recurrencias estudiadas (20 años a 500 años) se observan como resultados generales valores de áreas de inundación entre el 11.7 % (R = 20 años) y 15.9 % (R = 500 años) del área total de la cuenca para alturas iguales o mayores a 1.0 m. Estos valores se incrementan al reducirse la altura de agua considerada, llegando a un porcentaje entre el 66.7 % del área de la cuenca (R = 20 años) y el 80.1 % (R = 500 años) para alturas superiores a 0.30 m.

En términos de permanencia de aguas se tienen porcentajes de afectación respecto al área total de 29.7 % (R = 20 años) y 35.7 % (R = 500 años) para permanencia mayores a 24 hs (y alturas iguales o superiores a 0.30 m). Estos valores se reducen al incrementarse la permanencia, obteniéndose porcentajes de afectación de 7.8 % (R = 20 años) y 8.8 % (R = 500 años) para permanencias superiores a 10 días (y alturas iguales o superiores a 0.30 m).

Los valores de riesgo humano varían entre 11.8 % y 15.9 %, para R = 20 años y R = 500 años, respectivamente.

De igual forma, para el caso de permanencia de aguas superiores a 10 días (y alturas iguales o superiores a 30 cm), el porcentaje del área de afectación (fuera de los cursos de agua) es de 3.5 % para R = 20 años y de 6.1 % para R = 500 años.

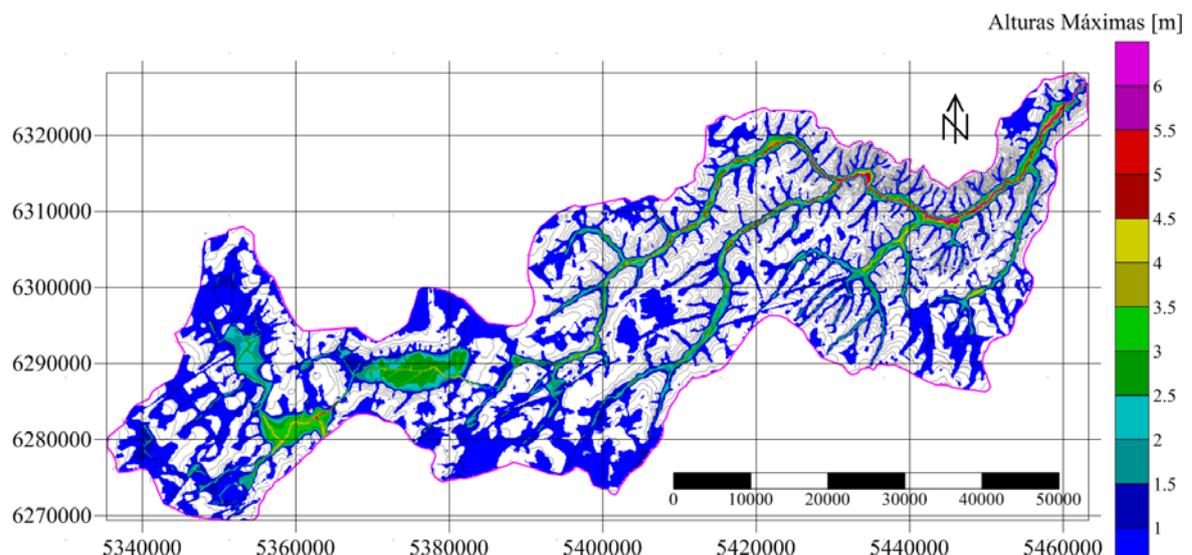


Figura 8. Mapas de alturas máximas para Escenario R = 500 años.

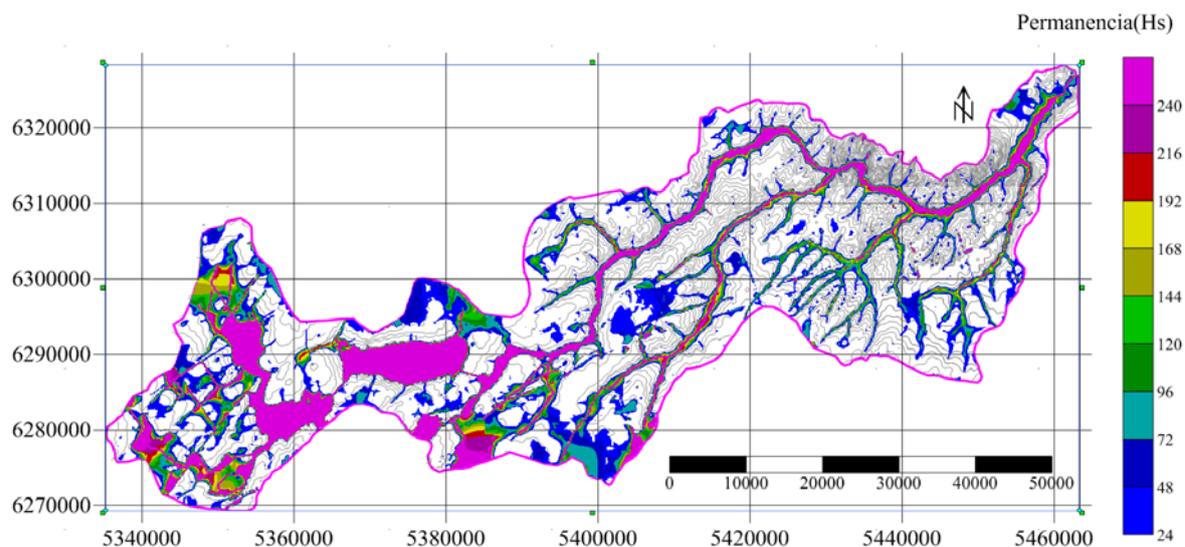


Figura 10. Mapas de permanencia de agua para Escenario R = 500 años.

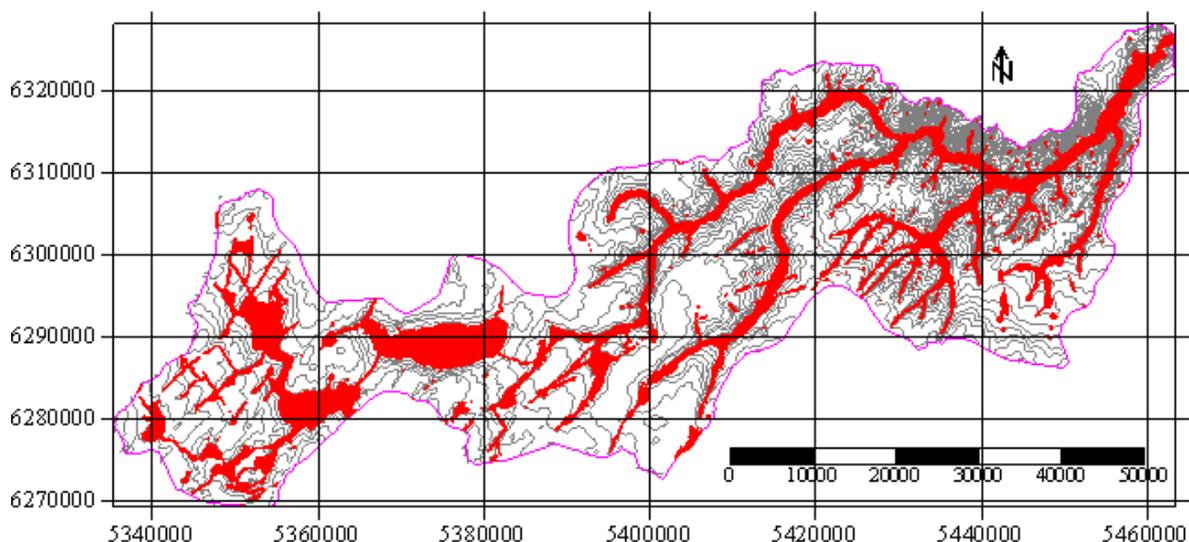


Figura 12. Mapas de riesgo humano para Escenario R = 500 años.

CONCLUSIONES

Se ha logrado realizar un avance en la modelación matemática hidrológica-hidráulica del escurrimiento superficial en la cuenca del A° Pavón (Sur de la provincia de Santa Fe). Este tipo de avance no ha sido reportado en la bibliografía consultada.

Se ha realizado la calibración preliminar considerando un evento extraordinario ocurrido el 15 de enero de 2017. Los resultados son satisfactorios, en términos del ajuste en alturas de agua y caudales en una sección interna de la cuenca, a partir de la comparación con datos relevados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Los resultados permitieron conocer el comportamiento hídrico superficial de la cuenca y definir mapas de inundación (para diferentes alturas de agua), mapas de riesgo humano y mapas de permanencia de aguas (para diferentes tiempos de permanencia) tanto para el evento ocurrido el

15 de enero de 2017 como para una serie de eventos hipotéticos con recurrencias variables entre 20 años y 500 años.

AGRADECIMIENTOS. A la UNR por el apoyo brindado en el marco de los PID-UNR: ING 509 y ING 514.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Mendez Zacarías, J. S. y Zimmermann, E. (2011). Uso de sistemas de información geográfica para parametrización de modelos de simulación hidrológica en llanuras. XXIII Congreso Nacional del Agua Resistencia, Chaco, Argentina. pp 55-72.

Riccardi, G. (2000). A cell model for hydrological-hydraulic modeling. *Journal of Environmental Hydrology*, 8.

Riccardi, G., Stenta, H., Scuderi, C., Basile, P., Zimmermann, E. y Trivisonno, F. (2013). Aplicación de un modelo hidrológico-hidráulico para el pronóstico de niveles de agua en tiempo real. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(1), 83-105.

Stenta, H., Rentería, J. P. y Riccardi, G. (2005). Plataforma Computacional para Gestión de Información en la Simulación Hidrológica-Hidráulica del Esguerrimiento Superficial. XXº Congreso Nacional del Agua y IIIº Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, Mendoza, Argentina. Trabajo 74. pp 1-13.

Stenta, H.; Riccardi, G. y Basile, P. (2015). Modelación distribuida del esguerrimiento superficial en la cuenca del río Tercero-Carcaraña.. *Aqua-LAC*, 8(1), pp. 44- 57.

Stenta, H.; Riccardi, G. y Basile, P. (2017a). Grid size effects analysis and hydrological similarity of surface runoff in flatland basins. *Hydrological Sciences Journal*, 62, 1736-1754.

Stenta, H.; Riccardi, G.; y Basile, P. (2017b). Modelación del esguerrimiento superficial en la cuenca del Aº Seco (Santa Fe) para el evento extremo del día 15 de Enero de 2017. XXVI Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina. 527-540