

## GENERACIÓN DE UN MODELO DE PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SAMBOROMBÓN

**BORZI, G.<sup>1</sup>, DELGADO M.<sup>2</sup>, DEL BLANCO M.<sup>3</sup>, SANTUCCI LUCIA<sup>1</sup> Y CAROL E.<sup>1</sup>**

1: Centro de Investigaciones Geológicas. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Universidad Nacional de La Plata  
gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

2: División Fisiología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.  
isadelgado80@yahoo.com.ar

3: UIDET Hidromecánica – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.  
mercedes.delblanco@ing.unlp.edu.ar.com

**Resumen.** *La cuenca del Río Samborombón, situada en la provincia de Buenos Aires, se caracteriza por la escasa pendiente, suelos limo-arcillosos y estructuras viales que la interceptan. Actualmente en la cuenca no existen estaciones limnigráficas ni estaciones meteorológicas oficiales activas. El objetivo del trabajo fue generar un modelo de precipitación-escorrentía en la cuenca del Río Samborombón mediante el software HEC-HMS 4.1, con el fin de contribuir al conocimiento de su funcionamiento hidrológico. El modelo se ajustó en base al máximo caudal registrado. La cuenca fue dividida en subcuencas, asignándole valores de área, precipitación, evapotranspiración y pendiente; para el cálculo de las pérdidas por infiltración se utilizó el Número de Curva, y como método de transformación el Hidrograma Unitario de Clark. El caudal máximo simulado ocurrió un día posterior al de la máxima precipitación, comparable con los caudales registrados. Por su parte, la incorporación de las estructuras viales transversales, corroboró que las mismas funcionan parcialmente como diques durante eventos de gran precipitación, elevando el nivel aguas arriba. La modelización permitió obtener buenos resultados a partir de escasos datos base, y contribuyó a un mayor entendimiento de los procesos hidrológicos en cuencas de llanura y su posible relación con las obras viales.*

**Palabras clave:** HEC-HMS, Inundación, Simulación, Tormenta

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el cuidado del recurso hídrico es reconocido como un elemento intrínseco en el manejo de los sistemas rurales así como en el debate de políticas del sector [1]. La modelización hidrológica es ampliamente utilizada para predecir el comportamiento de los sistemas y a su vez estudiar los procesos hidrológicos. Hoy en día se la considera como una herramienta necesaria para el manejo de los recursos naturales [2]. Un modelo de escurrimiento puede definirse como un set de ecuaciones destinadas a estimar el escurrimiento en función de varios parámetros que describen las características de la cuenca, siendo imprescindibles los datos de lluvia y los del área de drenaje. Además, suelen incorporarse otras características, tales como suelo, vegetación, topografía, contenido de humedad y niveles de agua subterránea, entre otros. Estos deben ser descriptos de manera

transparente y procurando que tanto su calibración y validación, así como la determinación de su nivel de sensibilidad e incertidumbre sean establecidos de manera rutinaria, como parte misma del trabajo de modelado [3].

Para la modelización es necesario contar con los parámetros intrínsecos del terreno y los extrínsecos como las características de un evento, para poder lograr un mayor ajuste y brindar de este modo mayor veracidad a posteriores simulaciones utilizando escenarios hipotéticos futuros. La utilización de este tipo de herramientas también habilita a poner a prueba muchas observaciones subjetivas, corroborando o no su veracidad.

La provincia de Buenos Aires es la más poblada de Argentina y posee problemas de anegamientos en numerosas localidades, por lo que se está utilizando la modelación con el fin de obtener mapas de peligro [4], predicción de inundaciones [5] y el diseño de obras [6].

Por su parte, las estructuras viales que existen en áreas de llanura tienden a dificultar el escurrimiento natural del agua, encontrando estas aseveraciones en numerosos lugares de Argentina y particularmente en Buenos Aires [7, 8, 9, 10, 11, 6, 12, 13].

El objetivo del trabajo fue generar un modelo de precipitación-escorrentía en la cuenca del Río Samborombón, de modo de contribuir al conocimiento sobre el funcionamiento hidrológico a escala de cuenca.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Samborombón situada en el noreste de la provincia de Buenos Aires posee una extensión de 5400 km<sup>2</sup> (Fig. 1), escasa pendiente y suelos limo-arcillosos. Durante los eventos de tormenta, la intensidad de la misma condiciona la infiltración del agua, la cual no se ve favorecida con la caída de grandes volúmenes de agua en poco tiempo. Normalmente la saturación del suelo durante la precipitación acumulada de algunos días, produce escorrentía producto de la recarga rechazada, sin embargo esta situación no suele darse durante los meses más calurosos [14]. Por otra parte, si bien el comportamiento del río es de tipo efluente [15], la descarga es muy lenta, por cuanto puede despreciarse como aporte al río durante los grandes eventos de tormenta de corta duración.

La morfología de la cuenca suele ser plana en el sector de divisoria y en ella se encuentran numerosas cubetas de deflación plano-cóncavas. A medida que se avanza hacia el río existe un quiebre de pendiente por donde escurre el agua hasta llegar a la llanura de inundación del río. La planicie aluvial suele presentar una escasa pendiente y un ancho que puede alcanzar más de 3 km, la cual es ocupada por el agua durante los eventos de tormenta.

La realización de simulaciones hidrológicas fiables para la cuenca del Río Samborombón cuenta con dos problemáticas. Una de ellas es la escasez de datos hidrológicos (climáticos, caudales, etc.) ya que no existen estaciones de monitoreo continuas en el tiempo que funcionen actualmente. La otra es que no existe un relevamiento topográfico de detalle, siendo 1:50.000 la menor escala relevada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, Argentina). Esta última resulta ser la falencia más grave, debido al escaso gradiente hídrico de la cuenca (0,03 a 0,10%).

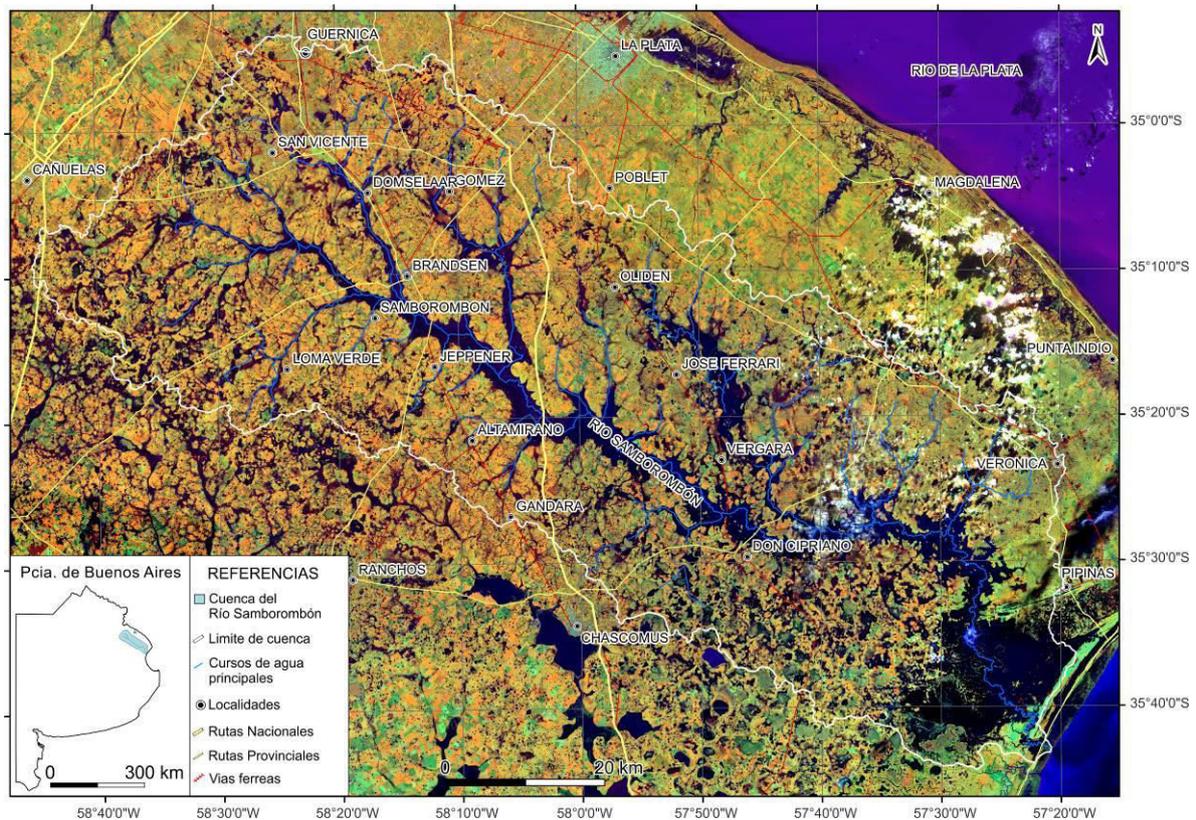


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Río Samborombón.

### 3. METODOLOGÍA

Para la modelización hidrológica se utilizó el software HEC-HMS 4.1, creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que es un software libre, ampliamente utilizado a nivel mundial.

Dada la escasez de datos hidrológicos que hay en la cuenca, se seleccionó dentro del período en que se cuenta con registros de precipitaciones y caudales, un evento de lluvia que marcó una gran inundación. Dicho evento corresponde a septiembre de 1982, en donde el caudal registrado en la estación limnigráfica n°57 de la Dirección Provincial de Hidráulica (estación que se encontraba sobre el Río Samborombón en la Ruta Provincial 2) fue de  $579 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los registros fueron otorgados por la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires.

Los datos diarios de precipitación y temperatura media fueron otorgados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y corresponden a 22 estaciones meteorológicas, los mismos se analizaron mediante la metodología de la curva de doble masa [16]. Asimismo, se utilizó el software ArcGIS 10.0 para obtener por interpolación datos en lugares carentes de estaciones de medición, generando archivos de tipo rasters con valores continuos de precipitación y de temperatura, para cada día del mes de septiembre de 1982. A partir de estos archivos se obtuvo un dato puntual en cada centroide de las subcuencas. Luego, este valor fue utilizado

para obtener la evapotranspiración real a través del método de [17].

El software ArcGIS 10.0 también fue utilizado para la delimitación de subcuencas con un área promedio de 144 km<sup>2</sup>. Los datos de pendiente media de las subcuencas y pendientes medias de secciones de cauces se obtuvieron a partir del modelo digital del terreno hidrológicamente adaptado [14]. Se creó una red de avenamiento simplificada acorde a cada subcuenca dentro del software HEC-HMS 4.1, utilizando los principales tributarios, en donde fueron cargados los datos areales de las subcuencas, las pendientes de las mismas y de los cauces, así como la conexión entre dichos elementos. Se incluyeron además las estructuras viales que atraviesan el río en algunos tramos, habiendo dimensionado las mismas en relevamientos de campo con cinta métrica. Los coeficientes de rugosidad de [18] fueron obtenidos a partir de tablas en base a observaciones de campo.

Para la transformación de los valores de precipitación en escorrentía se utilizó el Hidrograma Unitario de Clark. Para el cálculo de las pérdidas dentro del modelo hidrológico se utilizó el método del Número de Curva (NC), desarrollado por el Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture [19]. El US Army Corps of Engineers [20] lo caracteriza como un método simple, predecible, estable y mundialmente aceptado. El mismo se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, y tipo de uso y cubierta vegetal, definiendo las condiciones hidrológicas para cada complejo suelo-vegetación. Valores mayores de NC representarán valores mayores de escurrimiento, siendo su rango de 1 a 100. Según su textura y por consiguiente su respuesta frente a la infiltración, esta metodología establece cuatro clases de suelos o Grupos Hidrológicos de suelos, definidos a continuación: A) mínimo potencial de escurrimiento, con suelos profundos, con predominio de arena y grava; B) suelos mayoritariamente arenosos; C) textura franco-arcillosa; D) suelos predominantemente arcillosos, con máximo potencial de escurrimiento. Los parámetros en cuanto a características del terreno para el modelado fueron derivados del mapa de uso y tipo de suelos elaborado por el INTA (2007), a partir del cual se obtuvo el NC para cada subcuenca empleando las tablas de [21, 22].

Los caudales conocidos del evento fueron utilizados para ajustar el hidrograma, los mismos están incompletos encontrando sólo un valor máximo y algunas mediciones que detallan la atenuación del caudal. Esta situación no esclarece si ese caudal registrado fue el pico máximo o sólo pudo ser medida la merma en el caudal, por lo que esta metodología tratará de entender el evento con mayor detalle.

#### 4. RESULTADOS

##### **Definición de las características generales a nivel de cuenca a considerar en el modelado**

La cuenca se dividió en un total de 18 subcuencas (Fig. 2). Al tratarse de un área de llanura, las pendientes se encontraron entre 0,000103 y 0,001221; los tiempos de concentración presentaron valores entre 22 y 70 horas.

Los suelos en la cuenca presentan texturas franco-limoso, franco-arcillo-limoso y arcillo-limoso, correspondiéndose con los Grupos Hidrológicos B, C y D. Los principales usos del suelo identificados fueron de tipo rural, encontrando cultivos y áreas de pastoreo principalmente en la mayor parte de la cuenca. Además, existen limitadas áreas urbanas de

baja densidad, principalmente en la zona de cabecera y escasas áreas urbanas dispersas. Los valores de Número de Curva asignados para las subcuencas se encontraron entre 69 y 85.

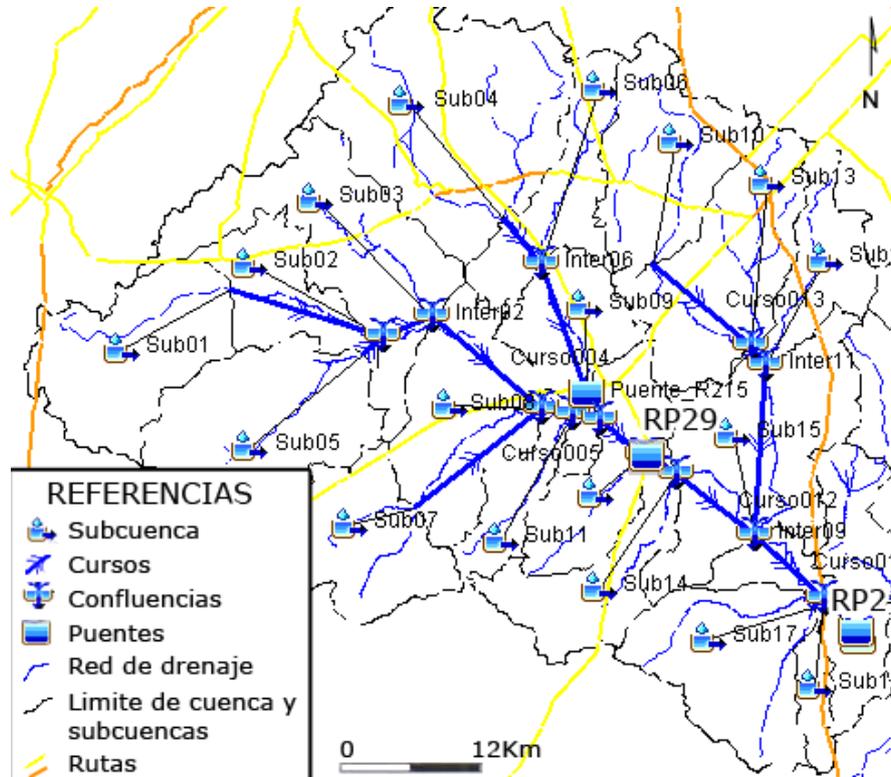


Figura 2. División de la cuenca del Río Samborombón en subcuencas.

### Simulación hidrológica

Los valores obtenidos a partir de la simulación realizada con el software HEC-HMS 4.1 resultaron comparables a los caudales registrados a campo, para el evento en estudio (septiembre de 1982).

La división de la cuenca en subcuencas (Fig. 2) y la asignación a sus centroides de valores diarios de precipitación y evapotranspiración permitió representar la existencia de estaciones meteorológicas regularmente espaciadas. Por ejemplo, para la subcuenca 17, el diagrama de precipitación diaria generado evidencia distintos eventos mayores ocurridos entre los días 3 y 16, y eventos menores intercalados (Fig. 3).

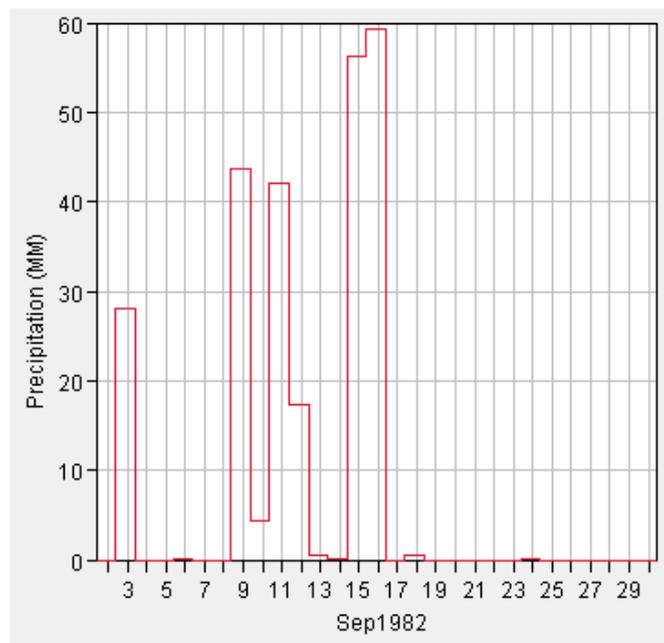


Figura 3. Precipitación registrada en la subcuenca 17.

En la Figura 4 se presenta el hidrograma obtenido a través de la simulación a la altura del puente de la Ruta 2 (dentro de la subcuenca 18). El hidrograma presenta tres picos, de distinta magnitud: un pico de caudal muy bajo el día 5 (de  $26,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), otro pico intermedio en el día 13 (de  $298,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ), y otro correspondiente al caudal máximo, para el día 17 de septiembre (de  $617,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Este último ocurre 1 día posterior a la última precipitación (de  $59,34 \text{ mm}$ ). En esta figura también se observa que durante la simulación se produce una elevación del agua (pool elevation) en la zona aledaña al puente de la Ruta Provincial 2, donde se encontraba la estación limnigráfica. Esta elevación alcanza su máxima cota de  $7,7 \text{ m s.n.m.}$ , perdurando 11 días con una altura promedio de  $7 \text{ m s.n.m.}$ , superando la cota local del río de  $4 \text{ m s.n.m.}$  en dicha sección.

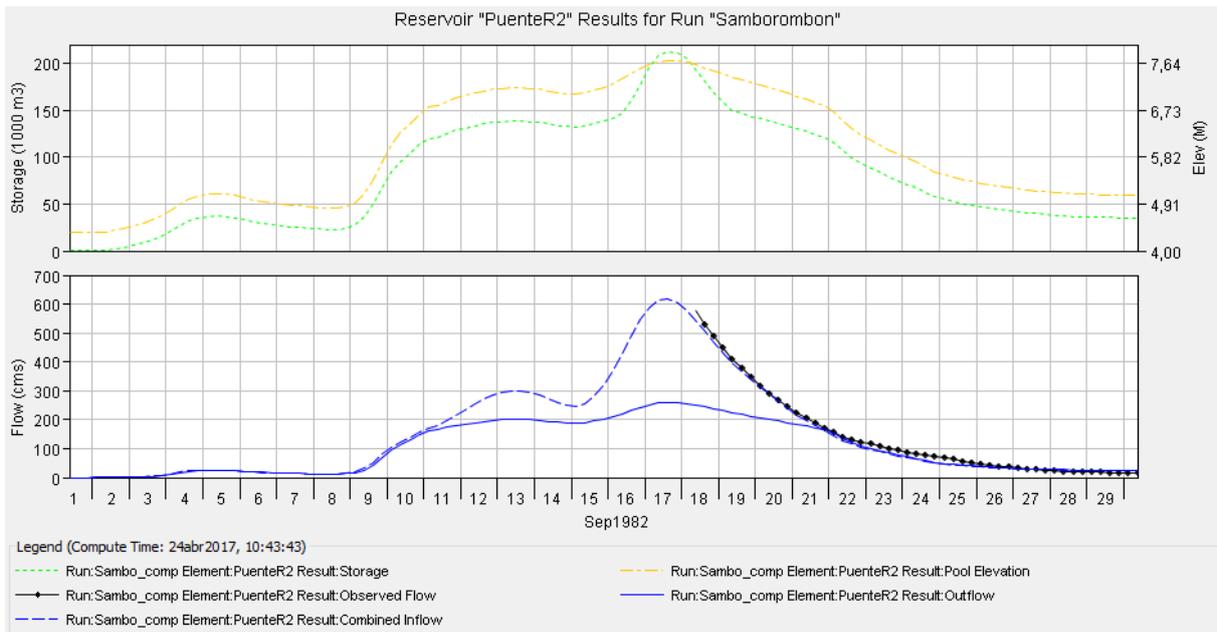


Figura 4. Hidrograma obtenido por simulación, a la altura del puente de la Ruta Provincial 2.

Por su parte, inmediatamente aguas arriba, donde no se encuentra ninguna estructura vial, la modelización sólo registró el pico de caudal el día 17 de Septiembre (Fig. 5).

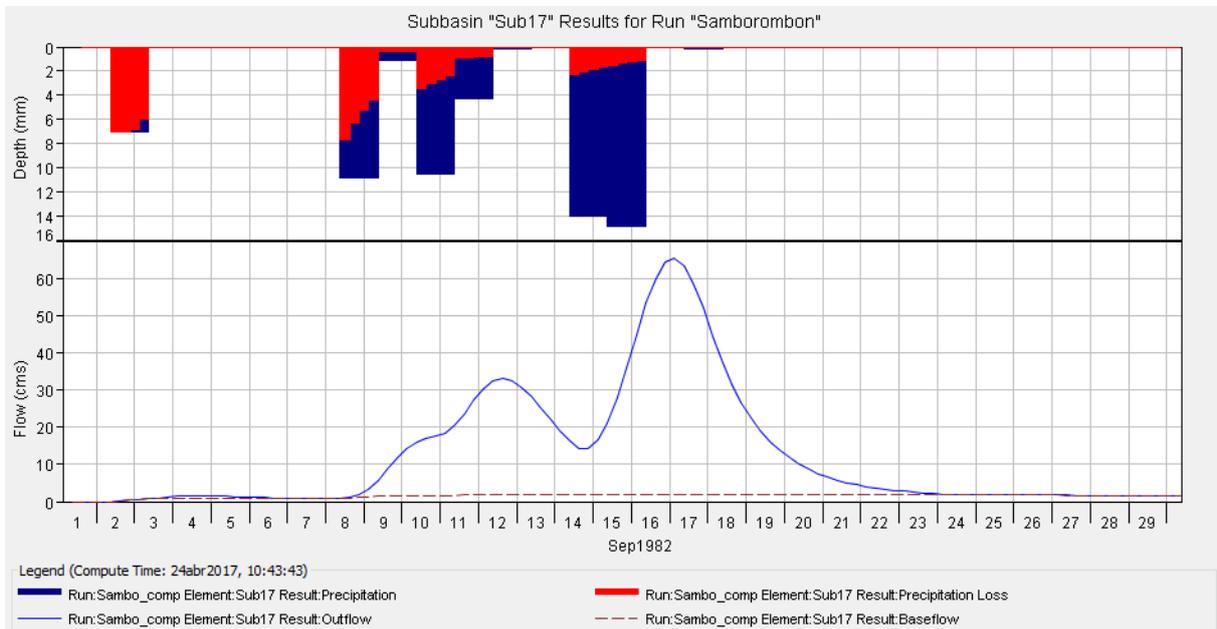


Figura 5. Comportamiento de la subcuena 17 respecto a la precipitación.

A partir de la metodología aplicada también se hizo posible la obtención de hidrogramas en otros sitios de la cuenca carentes de estaciones de aforo, como por ejemplo la altura del agua alcanzada en el puente de la Ruta Provincial 29, ubicado dentro de la subcuenca 12 (Fig. 6). De este modo se pudo llegar a estimar cómo fue su comportamiento, a pesar de la ausencia de registros de campo.

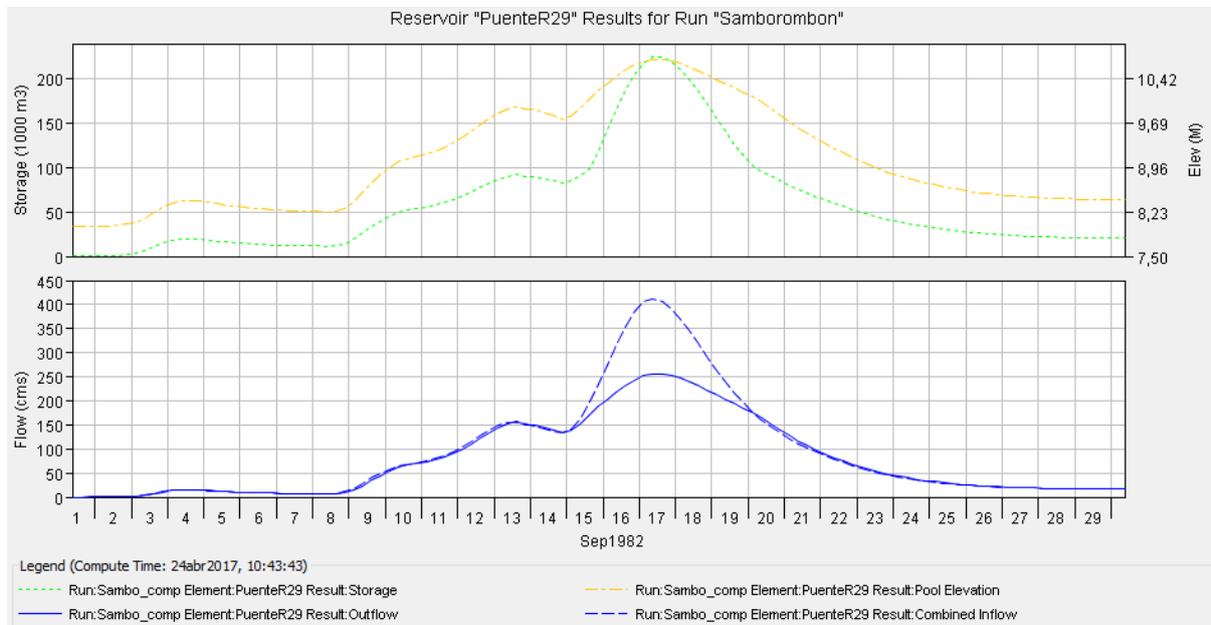


Figura 6. Hidrograma obtenido por simulación, a la altura del puente de la Ruta Provincial 29.

## 5. CONCLUSIONES

La generación de un modelo de precipitación escorrentía en la cuenca del Río Samborombón resultó satisfactoria acorde a los resultados obtenidos, si se comparan con los registros de la estación limnigráfica. Pese a la existencia de escasos registros de caudales, se pudo reconstruir un hidrograma, ante la falta del mismo. Por lo tanto, se considera que la metodología aquí desarrollada es adecuada para cuencas de escasa pendiente, grandes dimensiones y mínima disponibilidad de registros reales de campo. Debido a que sólo se contaba con datos de caudales, el ajuste del modelo se limitó a los mismos. Los valores de altura de la lámina obtenidos en la simulación no han podido ser comparados con datos actuales debido a que la estación limnigráfica hoy no se encuentra en actividad y tampoco se poseen los datos del periodo simulado.

La realización de este trabajo y el posterior ajuste mediante datos reales permitirán simular a futuro escenarios hipotéticos diversos, y evaluar su posible impacto en la escorrentía superficial. La elaboración de escenarios podría basarse en procesos de cambio de uso del suelo, tales como el aumento de áreas impermeables por expansión de zonas destinadas a cultivos hortícolas bajo invernáculos o el desarrollo de áreas urbanas o semiurbanas. Además,

la posibilidad de contar con un modelo que posea un ajuste confiable permite simular potenciales escenarios climáticos, y de este modo intentar predecir el posible comportamiento hidrológico a escala de cuenca.

Por último, los resultados alcanzados con esta simulación hidrológica contribuyeron a verificar que las obras viales, como en este caso la Ruta Provincial 2, funcionan como diques que retrasan el escurrimiento del agua, contribuyendo a la permanencia de la misma en el área anegada por más tiempo.

## REFERENCIAS

- [1] World Bank. *The Water and Sanitation Program Rural Water Supply and Sanitation Challenges in Latin America for the Next Decade*. Lessons from the “Cusco+10” International Seminar. Pp 32, (2011).
- [2] Devi G., Ganasri B. P. & Dwarakish G. S. “A Review on Hydrological Models.” *Aquatic Procedia* 4: 1001 – 1007, (2015).
- [3] Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi S., Srinivasan, R., Yang, H & Kløve, B. “A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model.” *Journal of Hydrology* 524, 733–752, (2015).
- [4] Reyna, J., Spalletti, P., & Brea, J. D. *Riesgo de inundaciones en el Río Luján*. Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, (2007).
- [5] Cazenave, G., & Vives, L. *Predicción de inundaciones y sistemas de alerta: Avances usando datos a tiempo real en la cuenca del arroyo del Azul*, *Revista ASAGAI* 33, (2014).
- [6] Damiano, F., & Parodi, G. N. *Aplicación de herramientas simplificadas de modelización para diseño de obras agrohidrológicas en planicies de inundación*, *El Suelo: pilar de la agroindustria en la pampa Argentina: XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo Rosario, Argentina, 31 Mayo-4 Junio 2010* (2010).
- [7] Zimmermann, E. D., Basile, P. A., & Riccardi, G. A. *Análisis de la modificación en la respuesta hidrológica del sistema del Arroyo Ludueña provocados por cambios del uso del suelo*. Seminario Internacional Sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, (2000).
- [8] Euillades, P., Vénere, M., Clause, A., Vives, L., Varni, M., & Usunoff, E. “Modelos digitales de elevación para simulación computacional de inundaciones: interferometría vs cartografía.” *Mecánica Computacional*, 21, 2267-2277, (2002).
- [9] Auge, M., Hirata, R., & Lopéz Vera, F. *Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del acuífero Puelche en La Plata*. Informe científico final. Centro de Estudios de América Latina (CEAL), UAM, SCH. Buenos Aires, (2004).
- [10] Zárate, M., & Rabassa, J. *Geomorfología de la provincia de Buenos Aires*. In R. E. de Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé, & E. J. Llambías (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. XVI Congreso Geológico Argentino (pp. 119-138), (2005).
- [11] Badano, N. D. *Modelación Integrada de Grandes Cuencas de Llanura con Énfasis en la Evaluación de Inundaciones*. Tesis de grado en Ingeniería Civil. FIUBA, Bs. As, (2010).

- [12] Ferreira G. y Rodriguez L. *Modelación de la red de drenaje del arroyo Cululú (prov. de Santa Fe - Argentina) como base para la gestión hídrica*. XXIV° Congreso Nacional del Agua, (2013).
- [13] Quiroz Londoño, O. M., Grondona, S. I., Massone, H. M., Farenga, M., Martínez, G., & Martínez, D. E. "Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio.". *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (13\_1), 76-98, (2013).
- [14] Borzi G.; Tanjal C.; Kruse E. *Recurrencia de anegamiento en la cuenca del Río Samborombón, Provincia de Buenos Aires*. 1as Jornadas de Hábitat y Ambiente. Mar del Plata, (2016).
- [15] Sala, J. M. *Contribución al estudio geohidrológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires*. EASNE-CFI. Serie. Téc, 24. (1972)
- [16] Bruce, J. P. and Clark, R. H.. *Introduction to Hydrometeorology*, PergamonPress, Oxford, 319 pp, (1966).
- [17] Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance." *Publication in Climatology* 10: 185-311, (1957).
- [18] Manning, R., Griffith, J. P., Pigot, T. F., & Vernon-Harcourt, L. F. *On the flow of water in open channels and pipes*, (1890).
- [19] SCS (Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture). *Section 4: Hidrology. National engineering handbook*. Soil Conservation Service. Washington, DC, USA, (1972).
- [20] US Army Corps of Engineers. *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic modeling system HEC-HMS. Technical Reference Manual*. 149 pp, (2000).
- [21] Cronshey, R. G., Roberts, R. T., & Miller, N. *Urban hydrology for small watersheds (TR-55 Rev.)*. In *Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age* (pp. 1268-1273). ASCE. (1985).
- [22] Bossard, M., Feranec, J., & Otahel, J. *CORINE land cover technical guide: Addendum 2000*, (2000).