

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DEL ARROYO TORTUGAS (SISTEMA CARCARAÑÁ – CÓRDOBA, ARGENTINA)

Eliana Jorquera¹, Javier Alvarez^{1,2}, C. Marcelo García^{1,2}, Paolo Gyssels¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYN), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

²Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

E-mail: elianajor@gmail.com, javieralvarez.ic@gmail.com, cgarcia2mjc@gmail.com, pgyssels@gmail.com

Introducción y objetivos

Un modelo hidrológico busca representar los diferentes procesos involucrados en la transformación lluvia-caudal en una determinada cuenca. De acuerdo a la discretización espacial de la cuenca, se tienen modelos agregados, que consideran la cuenca como una superficie homogénea y modelos distribuidos que permiten considerar la heterogeneidad de parámetros y variables de estado. En este trabajo se implementa el modelo distribuido TREX (England et al., 2007, Velleux et al., 2008, Velleux et al., 2017) debido a la fuerte base física en la conceptualización de los procesos.

Área de estudio

El sistema de estudio seleccionado fue la cuenca del canal San Antonio - arroyo Tortugas (Figura 1, de 12.315 km²) es una importante cuenca de aporte a la cuenca baja del Río Carcarañá. Se ubica al centro-este de la Provincia de Córdoba y del oeste de la Provincia de Santa Fe. Al norte, esta cuenca se extiende hasta la ciudad de San Francisco y al sur hasta proximidades de la localidad Cruz Alta. Este arroyo fue canalizado para transportar el agua proveniente de desagües pluviales urbanos y del escurrimiento superficial en campos de la región. La cuenca es principalmente de llanura, con pendiente media de 0.02%.

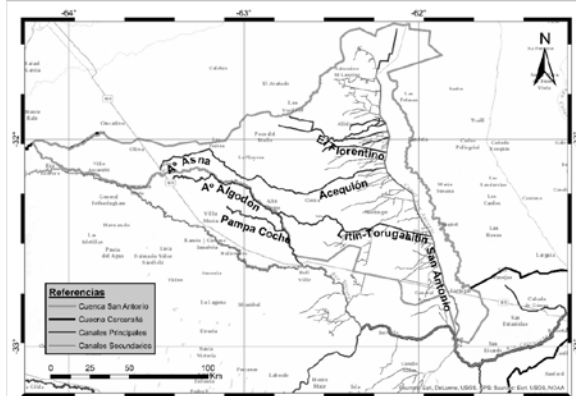


Figura 1.- Cuenca del canal San Antonio - arroyo Tortugas.

Metodología

TREX, “Two-dimensional Runoff, Erosion, and Export model”, es un modelo bidimensional de escurrimiento, erosión y transporte de sedimentos y contaminantes. Los procesos hidrológicos simulados son: precipitación e interceptación, infiltración y pérdidas por transmisión en el cauce, almacenamiento, flujo superficial y en canales y derretimiento de nieve.

En este modelo se utiliza la relación de Green y Ampt (1911) para definir la infiltración en la superficie del terreno y en los cauces. Si la tasa de precipitación supera a la de infiltración, el agua se almacena en las depresiones del terreno hasta un determinado umbral que da comienzo al flujo superficial. Este flujo está gobernado por las leyes de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, TREX utiliza la aproximación de la onda difusiva unidimensional en cauces y bidimensional en la

superficie de la cuenca, suponiendo que el flujo es turbulento y que la resistencia al flujo se puede describir utilizando la formulación de Manning.

Este modelo es de código libre, está escrito en el lenguaje de programación C y está disponible en la página web de la Universidad Estatal de Colorado. El modelo requiere como datos de entrada mapas de modelo digital de elevación, tipos de suelos, cobertura vegetal, máscara de la cuenca y red de canales. Además requiere datos de la geometría y rugosidad de los canales, datos de lluvia y condiciones iniciales tanto en las celdas que corresponden a los cauces como a las laderas.

Los parámetros del modelo de Green y Ampt son la conductividad hidráulica y la altura de succión. Estos son función del tipo de suelo en la cuenca (Figura 2). En la cuenca se identificaron 39 tipos de suelos, de acuerdo al Libro de los Suelos de la provincia de Córdoba (INTA, 2006). El parámetro de interceptación vegetal es un valor máximo de almacenamiento en función de la cobertura vegetal, en la cuenca se distinguen 11 tipos de cobertura vegetal (Figura 3).

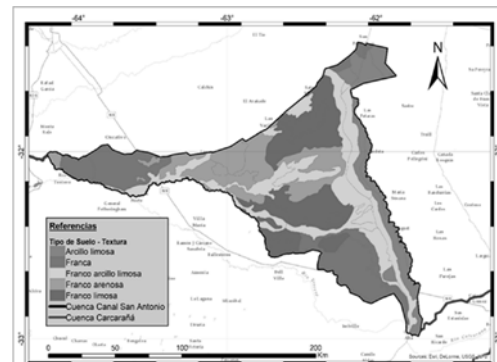


Figura 2.- Mapa de tipos de suelo.

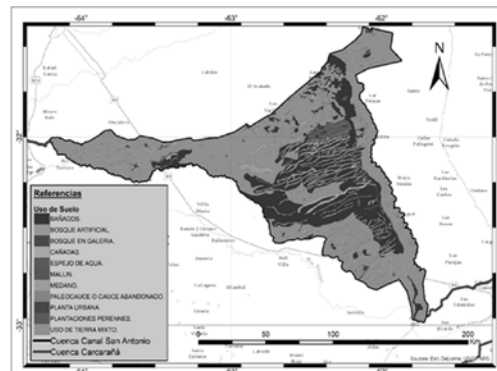


Figura 3.- Mapa de cobertura vegetal.

Los parámetros de escurrimiento superficial tanto en ladera como en canales son la geometría y el parámetro de resistencia al flujo (n de Manning) para cada uno de ellos. Para laderas, la geometría se obtiene a través del modelo digital de elevación y el “ n ” de Manning se indica para cada cobertura vegetal (Figura 3). En cauces la topología de la red de drenaje se obtiene del mapa de links y nodos, del modelo digital de elevación y se indica la geometría y rugosidad de cada uno de los canales.

Además, cada uno de los procesos descriptos necesita una serie de condiciones iniciales; éstas son para el modelo de Green y Ampt, el déficit de humedad y la altura inicial de infiltración. Se indican en forma distribuida en toda la cuenca a través de un mapa ráster.

En el caso del escurrimiento superficial en cauces: se debe indicar la altura inicial de agua en cada cauce y en ladera. En cauces se indica en un archivo de texto y en laderas a través de un mapa ráster. En este caso se supuso que la cuenca no tenía acumulación de agua en cada celda al momento de comenzar la lluvia. El modelo resultante fue elaborado con 4096960 celdas de 100m de resolución por píxel. Por otro lado, se simuló con un paso de cálculo variable entre 1 y 0,1 segundos y se registraron los valores simulados cada media hora.

Resultados y discusiones

El modelo fue parametrizado en primera instancia a partir de conceptos teóricos y rangos de valores recomendados en simulaciones similares. Es así que, se realizó una simulación del evento de precipitación registrado el día 17 de enero de 2017 con los parámetros considerados adecuados para una condición de humedad normal. Teniendo en cuenta que TREX es un modelo distribuido por eventos, con estos parámetros se obtuvo un hidrograma efectivo en una celda ubicada próxima a la localidad Cruz Alta (32°44'00"S - 61°49'00"O).

Los caudales simulados alcanzan los 55 m³/s para el evento de calibración. Sin embargo, se observó que el modelo presentaba dificultades para simular el caudal base en la cuenca de llanura, ya que pretende simular los procesos hidrológicos con un enfoque no-típico, situación no prevista en el modelo TREX.

A continuación, se analizó el escenario de calibración tratando de representar las condiciones de gran humedad antecedente y flujo base en la cuenca, en la fecha de calibración. Para representar las condiciones de humedad antecedentes, se estableció que la infiltración inicial fuera de 10cm, que el déficit de humedad fuera del 20% y la cabeza de succión del orden de 10cm. Por otro lado, para representar el caudal base, se partió de los aforos de caudal efectuados por el LH-CETA de la UNC en diferentes campañas de aforo durante el año 2016. A partir de éstos se estimó la siguiente curva de recesión:

$$Q = 224.940e^{-0.256t} \quad [\text{Ec. 1}]$$

A su vez, el LH-CETA de la UNC realizó aforos de caudal con ADCP previo y a posteriori del evento de validación seleccionado 29/12/2016: 117 m³/s y 20/01/2017: 105 m³/s. Aplicando la curva de recesión antes estimada, de manera conservadora, se puede estimar que el caudal base el 17 de enero (previo a la precipitación) resulta del orden de 90 m³/s.

Realizando nuevamente la simulación anterior, pero añadiendo el caudal base antes estimado, y teniendo en cuenta que la capacidad máxima de transporte del canal San Antonio ronda los 150 m³/s (Figura 4), el caudal excedente inunda las planicies de inundación y campos aledaños (Figura 5).

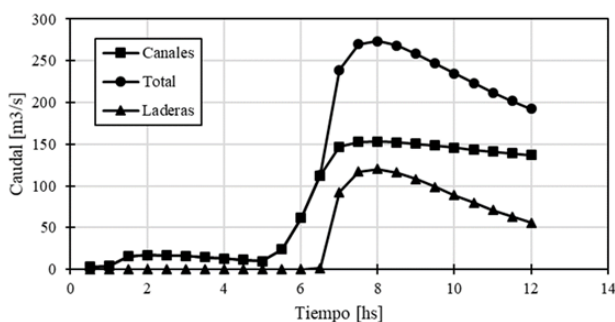


Figura 4.- Hidrograma simulado en canales, laderas y total. (La figura muestra que la capacidad de los canales es de 150 m³/s).

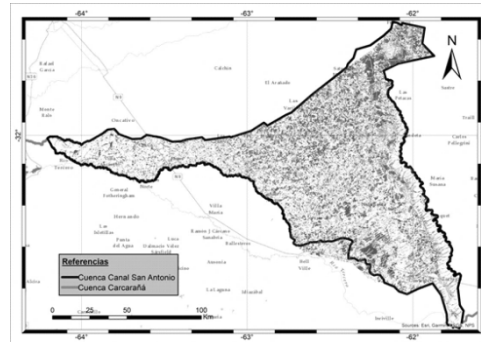


Figura 5.- Presencia de agua en la simulación en el instante pico del hidrograma (8 horas) y parámetros de validación.

Por último, en la siguiente figura se muestra el resultado de la determinación por medio de NDWI de la humedad de suelo a partir de la construcción de un mosaico con imágenes satelitales Landsat 8, para las fechas 21, 23 y 30 de Enero del 2017.

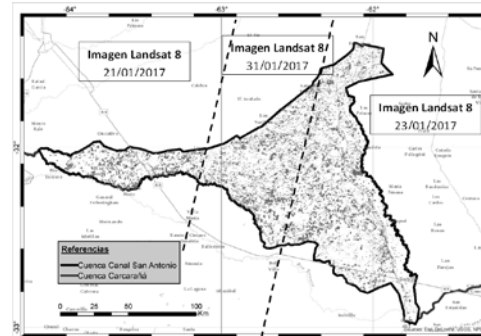


Figura 6.- NDWI de mosaico de imágenes satelitales Landsat 8 entre las fechas 21, 23 y 30-Ene-2017.

Conclusiones

Es de notarse, que tanto en la imagen NDWI anterior como en el resultado del pico del hidrograma 8 horas después de iniciada la simulación, se presenta zonas húmedas en toda la extensión de la cuenca. Las diferencias en magnitud de las inundaciones pueden deberse en primer lugar a que la imagen satelital fue reconstruida con información satelital de entre 5 y 13 días después del evento simulado, debido a la baja cobertura espacial de Landsat para las dimensiones del área de estudio, y a que en el día del evento las imágenes disponibles cubren del orden del 50% de la cuenca con nubosidad, dificultando realizar el análisis de NDWI. En segundo lugar, la simulación es realizada para el evento del 17 de Enero y se presenta la figura para el pico del hidrograma (donde se muestran los mayores flujo en ladera), se espera que en el transcurrir de los días la cuenca logre drenar gran parte de este caudal, reteniendo en depresiones y canales los remanentes del evento y los aportes de las napas subterráneas. Esta última situación resulta difícil de simular con un modelo por eventos debido a la presencia de procesos continuos que no serían debidamente representados por las ecuaciones de infiltración y tránsito de este modelo.

Referencias

- England, J. F., Velleux, M. L., Julien, P. Y. (2007) "Two-dimensional simulations of extreme floods on a large watershed". *Journal of Hydrology*, Vol 347, pp. 229- 241.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Agencia Córdoba Ambiente S.E. (2006) "Los Suelos".
- Velleux, M. L., England, J. F., Julien, P. Y. (2008) "TREX: Spatially distributed model to assess watershed contaminant transport and fate". *Science of the Total Environment*, Vol. 404, pp. 113-128.
- Velleux, M. L., England, J. F., Julien, P. Y. (2017) "TREX Watershed Modeling Framework User's Manual: Model Theory and Description".