

# Aplicación y calibración preliminar de un modelo hidrológico distribuido en una cuenca fuertemente antropizada.

*Pablo Tomás Stehli<sup>a</sup>, Juan Francisco Weber<sup>a</sup>, Leandro Redin Vestena<sup>b</sup>.*

<sup>a</sup> Laboratorio de Hidráulica – Dpto. de Ingeniería Civil. Facultad Regional Córdoba Universidad Tecnológica Nacional.

<sup>b</sup> Laboratório de Hidrologia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava - Paraná – Brasil.

E-mail: [pablo\\_stehli@hotmail.com](mailto:pablo_stehli@hotmail.com) – [jweber@civil.frc.utn.edu.ar](mailto:jweber@civil.frc.utn.edu.ar) - [lvestena@unicentro.br](mailto:lvestena@unicentro.br)

RESUMEN: El trabajo consiste en la aplicación y calibración de un modelo espacialmente distribuido en la cuenca del Rio Cascavel, en el estado de Paraná, Brasil. Por tal motivo, en primer lugar se utiliza el modelo TREX previamente adaptado en su código fuente para modelar elementos de las cuencas urbanas, como ser las bocas de tormenta y luego se aplica el modelo semidistribuido SWMM para realizar la simulación de los flujos en los conductos y cauces.

Se recopilaron y procesaron los datos de la cuenca para realizar dichos trabajos, como ser, la corrección y adaptación del modelo digital de elevación, de los mapas de tipo y usos de suelo, relevamiento de la ubicación de bocas de tormenta y conductos. Finalmente, se seleccionaron una serie de eventos (pares de datos de precipitaciones y caudales líquidos medidos) para realizar la calibración del modelo para la cuenca de estudio. En el trabajo se presentan los resultados preliminares de la calibración de un evento seleccionado.

## INTRODUCCIÓN

Los entornos urbanos son sistemas muy complejos debido a su variabilidad en una amplia gama de escalas espaciotemporales, y a la interacción entre las actividades humanas y los procesos naturales. Un ejemplo de ello, es el continuo proceso de urbanización que cambia la cobertura de la tierra y ejerce una fuerte influencia en el comportamiento hidrológico de las cuencas urbanas.

A lo largo del tiempo, se han desarrollado numerosos modelos hidrológicos para ser aplicados en cuencas urbanas. Los mismos, se pueden clasificar según si tienen una base física, conceptual o empírica, pero también se pueden clasificar según su resolución espacial y su capacidad de representar la complejidad de la hidrología urbana, de esta forma se agrupan en semi-distribuidos, totalmente distribuidos o de conjunto de celdas.

En este trabajo se utiliza un modelo hidrológico totalmente distribuido como TREX para modelar los procesos hidrológicos superficiales que se ocasionan en una cuenca urbana y SWMM para

simular los procesos hidráulicos que allí se producen.

Se presenta la aplicación de ambos modelos en conjunto en una cuenca urbana y la calibración de los parámetros de los modelos para un evento.

## EL MODELO TREX

TREX (Two-dimensional Runoff, Erosion, and eXport model) es un modelo bidimensional de escurrimiento, erosión y transporte de sedimentos y contaminantes (England et al, 2007; Velleux et al, 2008). Está basado en el modelo de cuencas CASC2D. Los procesos hidrológicos simulados son: precipitación, interceptación, infiltración y pérdidas por transmisión en el cauce, almacenamiento, flujo superficial y en canales y derretimiento de nieve.

Este modelo utiliza la relación de Green y Ampt para definir la infiltración en la superficie del terreno y en los cauces, y a partir del balance, el 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 (Stehli et al., 2012).

Para simular el proceso hidrológico, TREX plantea una solución numérica explícita de las ecuaciones de balance de masa mediante la segmentación de la cuenca en elementos cuadrados iguales, a los cuales se le asignan los parámetros relativos a las características de infiltración del suelo y coeficientes de rugosidad. 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, tiene una fuerte base física en la conceptualización de los procesos superficiales, pero no considera los procesos subsuperficiales y subterráneos (Jorquera et al., 2012).

A continuación, se describen resumidamente los procesos hidrológicos incluidos en el modelo TREX (Velleux et al., 2008).

El volumen bruto de precipitación ( $V_g$ ) que llega a la superficie en función del tiempo, es igual a la intensidad de precipitación bruta ( $ig$ ) por el área de la región donde ocurre la precipitación ( $A_s$ ). El volumen neto ( $V_n$ ) resulta de descontarle al bruto el volumen interceptado ( $V_i$ ). El balance se explicita en la ecuación (1).

$$\frac{\delta V_g}{\delta t} = i_g \cdot A_s \rightarrow V_n = V_g - V_i \quad (1)$$

Según el volumen interceptado sea mayor o menor al volumen bruto, habrá o no volumen neto de agua sobre la superficie de la cuenca.

Para definir la infiltración de agua en la superficie de la cuenca como así también en los cauces que la forman, el modelo TREX utiliza las relaciones de Green y Ampt (1911, citado por Chow et al., 1994).

$$f = K_h \cdot \left( 1 + \frac{\psi(1-S_e) \theta_e}{F} \right) \quad (2)$$

donde  $K_h$  es la conductividad hidráulica,  $\psi$  es la altura de succión del frente de saturación (altura de succión capilar),  $S_e$  es el porcentaje de saturación efectiva del suelo,  $\theta_e$  la porosidad efectiva del suelo,  $f$  la tasa de infiltración y  $F$  la altura de infiltración acumulada, vinculadas a través de:

$$f = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

lo cual da lugar a una relación no lineal resuelta a través de un método iterativo (Chow et al., 1994).

La fracción de precipitación no retenida ni infiltrada genera un flujo superficial, tanto mantiforme (bidimensional) como en canales (unidimensional). El flujo superficial puede ocurrir cuando la profundidad del agua en el plano terrestre supera el umbral de almacenamiento de la depresión. Las ecuaciones de continuidad para el flujo en dos dimensiones gradualmente variado, sobre un plano rectangular en coordenadas  $(x, y)$  son:

$$\frac{\delta h}{dt} + \frac{\delta q_x}{dx} + \frac{\delta q_y}{dy} = i_n - f + W = i_e \quad (4)$$

donde  $h$  es la altura de flujo superficial,  $W$  es un término fuente/sumidero (descarga/aporte unitario puntual),  $i_n$  es la intensidad de precipitación neta, obtenida a partir de (1),  $i_e$  es la intensidad de precipitación en exceso, y  $q_x$ ,  $q_y$  son los caudales por unidad de ancho en la dirección  $x$  o  $y$ . Suponiendo que el flujo es turbulento, la resistencia se puede describir utilizando la formulación de Manning (Chow et al. 1994) tanto para los flujos bidimensionales como unidimensionales. La ecuación (5) es discretizada en el espacio por el método de diferencias finitas, mientras que para la integración temporal se utiliza el método de Euler.

## EL MODELO SWMM

El programa SWMM (Storm Water Management Model) fue elaborado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este modelo ha sido especialmente desarrollado para la simulación de sistemas de desagües pluviales y cloacales en forma combinada o separada (EPA, 2005).

Este modelo permite interpretar el comportamiento hidrológico de las cuencas de aportes y la respuesta hidrodinámica del sistema de desagüe. Esta es la principal diferencia respecto de los modelos hidrológicos – hidráulicos estándares, los cuales no consideran las perturbaciones de aguas abajo hacia aguas arriba.

SWMM utiliza para el tránsito de los hidrogramas métodos hidrológicos e hidráulicos, estos últimos consideran las ecuaciones de Saint-Venant en su forma completa. La posibilidad de modelar el tránsito hidráulico resulta fundamental en la simulación de desagües donde las condiciones de aguas abajo influyan sobre el escurrimiento en el sistema, como por ejemplo en tramos de baja pendiente o aguas arriba de conductos de escasa capacidad.

#### MODELACIÓN EN CONJUNTO DE TREX CON SWMM.

De la aplicación del modelo TREX en áreas urbanas (Stehli et al, 2016, Giangola-Murzyn, 2013) se verifica que el mismo no incluye las formulaciones para simular el funcionamiento de las bocas de tormenta y los conductos cerrados. Como estos elementos son de gran importancia en la dinámica de las cuencas urbanas, se procedió a la modificación del código fuente de TREX para que simule el funcionamiento de las bocas de tormenta. Estas modificaciones fueron realizadas en el módulo de infiltración. Existirán celdas en donde al haber escurrimiento superficial se infiltra una porción del mismo dependiendo el tipo y característica de boca de tormenta a modelar.

En las bocas de tormenta a cordón abierto en un punto intermedio se estableció la ecuación de Guo (1997, presentada en Riccardi 2004) en la cual en primer lugar se calcula la longitud teórica de la boca de tormenta  $L_t$  en función del caudal total  $Q_0$  la pendiente longitudinal  $S_l$ , el coeficiente de rugosidad de Manning  $n$  de la calle y la pendiente transversal  $S_t$ . Luego el caudal insumido  $Q_i$  en la boca de tormenta depende de la relación de la longitud teórica de la boca de tormenta y la real  $L_c$ .

$$L_t = 0,817 Q_0^{0.42} S_l^{0.30} \left( \frac{1}{\eta S_t} \right)^{0.5} \quad (5)$$

$$Q_i = Q_0 \left[ 1 - \left( \frac{L_c}{L_t} \right)^{1.8} \right] \quad (6)$$

En las bocas de tormenta a cordón abierto en punto bajo se utilizó la ecuación de Bertoni (1995, presentada en Riccardi 2004) la cual diferencia entre el funcionamiento como orificio o vertedero según la relación del tirante de agua con respecto a la abertura de la boca. Estas relaciones están en función de la longitud de la boca de tormenta  $L_c$ , el tirante de agua  $y_0$  y la altura de boca de tormenta  $h$ . En las ecuaciones 8 y 9 se encuentran estas relaciones.

$$Q_i = 1,656 L_c y_0^{1.5} \quad (y_0 \leq 1.5 h) \quad (7)$$

$$Q_i = 0,67 L_c h [2 g (y_0 - h/2)]^{1/2} \quad (y_0 > 1.5 h) \quad (8)$$

Para aquellas bocas de tormenta horizontales que se encuentran en puntos bajos se estableció la relación de Neenah (1977, presentada en Riccardi 2004), la cual relaciona el tirante de agua  $y_0$ , con un coeficiente adimensional  $K$  que depende de la pendiente transversal y la pendiente longitudinal. Para el caso, se fijó una pendiente transversal de 2,5 % de forma tal que el coeficiente  $K$  dependerá solamente de la pendiente longitudinal de la calle. La ecuación 10 muestra la relación de Neenah y la Figura 6 la relación obtenida para el coeficiente  $K$ , para una rejilla de un ancho de 0,45 m y un largo de 0,90 m. Tanto la ecuación 10 como la relación obtenida del  $K$  fueron ingresadas al código fuente de TREX.

$$Q_i = 0,205 K y_0^{5/3} \quad (9)$$

Para las bocas de tormenta horizontales situadas en puntos bajos se utilizó la relación de Guo (1997, descripta en Riccardi, 2004). En las relaciones descriptas se establecen nuevas variables;  $A_u$  es el área útil de la abertura horizontal y  $P_R$  es el perímetro vertedero de la reja. En las ecuaciones 11 y 12 se encuentran las relaciones dependiendo si la reja trabaja hidráulicamente como vertedero o como orificio.

$$Q_i = 1,656 y_0^{1.5} P_R \quad (y_0 \leq 1.792(A_u/P_R)) \quad (10)$$

$$Q_i = 2,91 y_0^{0.5} A_u \quad (y_0 > 1.792(A_u/P_R)) \quad (11)$$

Finalmente, también se ingresaron las relaciones para las bocas de tormenta combinadas. Para este tipo de bocas de tormenta, se utilizaron las mismas ecuaciones anteriormente descritas incorporando el procedimiento adecuado para el cálculo de las mismas: las que se encuentran en un punto intermedio se calcula en primer lugar el caudal interceptado por la rejilla, con el caudal excedente se calcula la longitud teórica de la boca de cordón abierto, luego la eficiencia de esta boca de

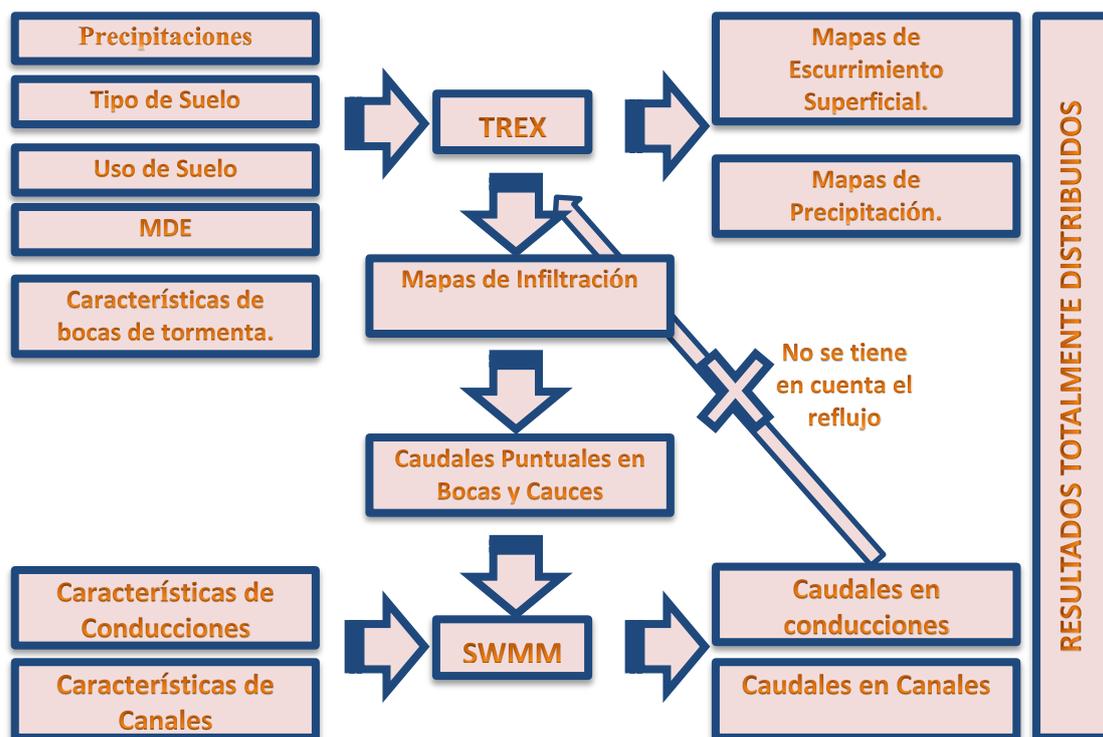
tormenta y finalmente el caudal total insumido en la boca de tormenta mixta será la suma del caudal insumido por la rejilla más el caudal insumido por la boca de tormenta abierta. Para el caso de que esté ubicada en punto bajo se calcula el caudal insumido por los dos tipos de elementos (horizontal y vertical) de forma independiente y luego el caudal total es la suma de los dos caudales.

Para ingresar las relaciones anteriores en TREX se modificaron tres archivos del código fuente del programa, entre ellos, el archivo Infiltration-r5.c donde se encuentran las relaciones del cálculo de infiltración, luego los archivos que manejan la memoria y declaraciones del programa: `trex_water_declarations.h` y `trex_water_definitions.h`.

Las modificaciones realizadas fueron probadas y verificadas con ejemplos teóricos encontrados en distintos libros especializados en la temática (Mays, 2001).

Cabe aclarar, que gracias a diversas modelaciones realizadas con distintas cuencas de distintos tamaños, se verificó que la modificación previa del código fuente que había sido realizada en el módulo de escurrimiento superficial para modelar las bocas de tormenta (Stehli et al, 2016) provocaba inconvenientes en el cálculo numérico ocasionando problemas a la convergencia de la solución incrementando así los tiempos computacionales.

Posteriormente, se estableció un procedimiento de modelación en conjunto con SWMM para simular los conductos enterrados como así también los arroyos y cauces naturales. En primer lugar se modeló la cuenca con el modelo TREX teniendo en cuenta las bocas de tormentas, es decir, con TREX se modeló los procesos hidrológicos superficiales. Los cauces a cielo abierto en TREX se representaron como un tipo de suelo especial en el cual se infiltra todo el escurrimiento que llega a esa celda. Posteriormente con SWMM se modelaron los elementos hidráulicos del sistema, esto es tanto las conducciones cerradas como los canales y arroyos, teniendo como ingreso las salidas de TREX correspondientes a las bocas de tormenta y a los arroyos o canales a cielo abierto (Figura 1).

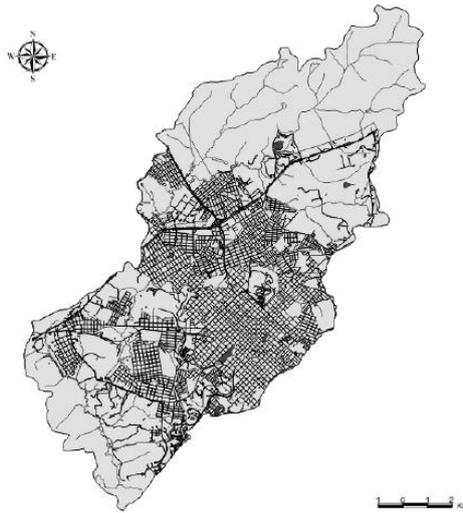


**Figura 1.-** Esquema de procedimiento de modelación distribuida en áreas urbanas con TREX modificado y SWMM.

Al realizar este procedimiento, se realizaron programas ad-hoc para extraer de los mapas de infiltración de salida de TREX los valores de caudales a ingresar en cada nodo de boca de tormenta o cauce de SWMM.

#### CASO DE APLICACIÓN.

El caso de estudio presentado en este trabajo es la Cuenca del Río Cascavel, en el municipio de Guarapuava localizada en el Centro Sur del Estado de Paraná, Brasil. La cuenca tiene un área aproximada de 81,03 km<sup>2</sup>. De su área total, 55,48 km<sup>2</sup> es decir, 68,6% están dentro del perímetro urbano oficial de la localidad de Guarapuava (Figura 2).



**Figura 2.-** Cuenca del Río Cascavel – Adaptado de Gomes (2014).

Para la modelación de la cuenca se utilizaron los siguientes datos de entrada, los cuales fueron procesados para realizar los modelos en TREX y SWMM.

**Topografía:** El modelo digital de elevación fue elaborado a través de la interpolación lineal de datos relevados por distintas campañas efectuadas por la Municipalidad de Guarapuava, asignadas por la Universidad Estatal de Centro Oeste (UNICENTRO) de Brasil.

**Uso y tipo de suelo:** Se utilizaron los mapas elaborados por Gomes (2014). En lo que respecta al mapa de uso de suelo, el mismo es resultado del procesamiento de imágenes Rapideye del 27/09/2011. De la clasificación se evidencia que predominan las clases de vegetación rastrera/cultivo y las áreas construidas con un porcentaje de 26,7 % y 35,8 % respectivamente, del área total. Los tipos de suelo en la cuenca son tres: lattosolos brunos y nittosolos brunos y litólicos.

**Precipitaciones:** Se seleccionaron eventos históricos correspondientes a una estación pluviográfica y dos estaciones pluviométricas. Las fechas de los eventos seleccionados van desde Junio de 2011 hasta diciembre de 2013, en correspondencia a la existencia de datos de caudales líquidos.

**Caudales líquidos:** Se utilizaron para la calibración los resultados de medición de un limnígrafo automático que se encuentra en coincidencia a la estación pluviográfica, dentro de la cuenca Cascavel (no en el punto de cierre de la misma).

Estos datos se adecuaron especialmente para la aplicación en TREX y SWMM. En el modelo digital de elevaciones se realizó la sobre-elevación de los sectores construidos con ayuda de un plano catastral para simular las barreras que producen las construcciones. Se elevó 2,0 metros estas

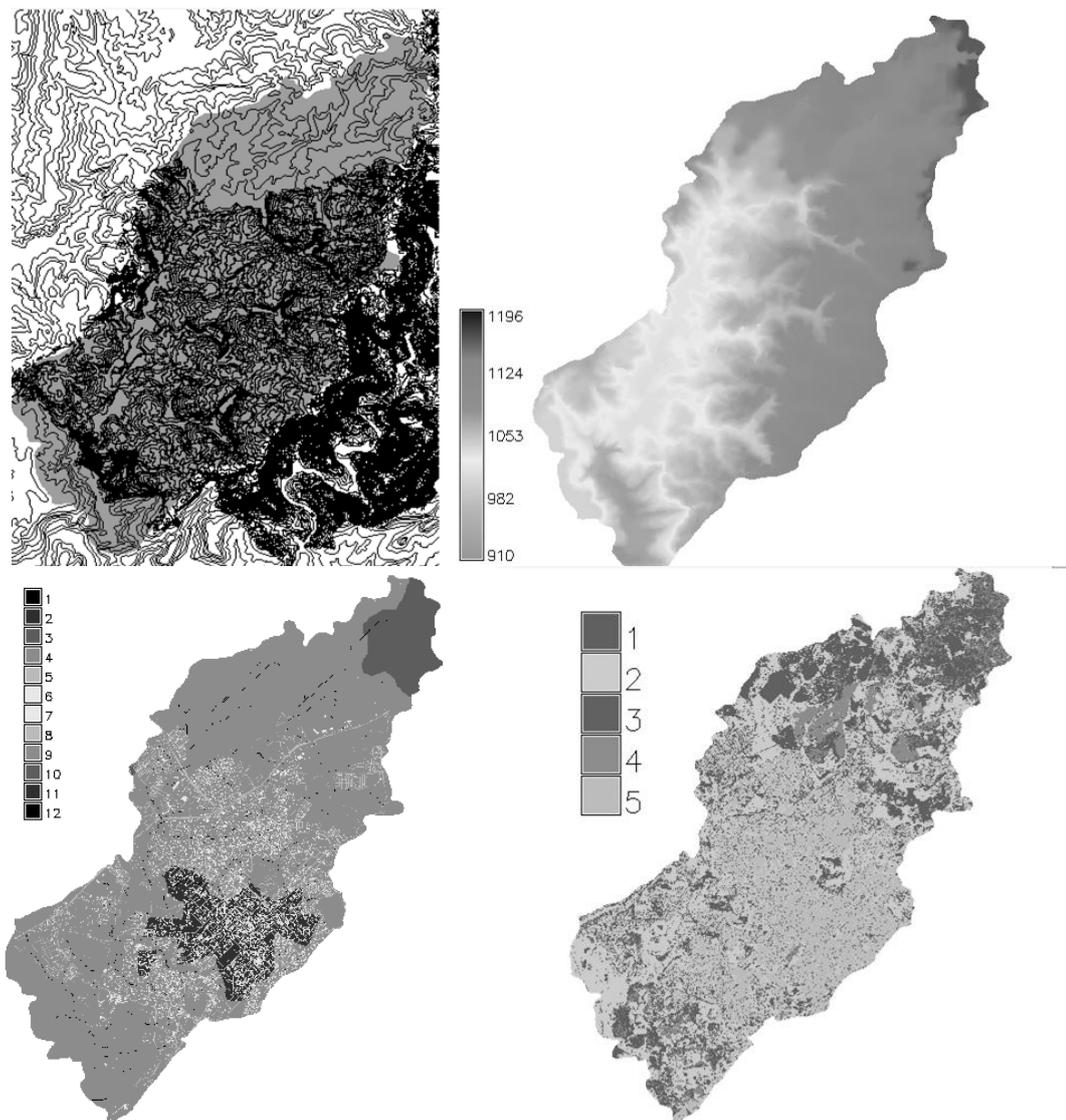
celdas. Sumado a ello, se descendieron 0,15 m las celdas correspondientes a las calles.

En el mapa de tipo de suelo se agregaron los tipos correspondientes a las distintas bocas de tormenta existentes en la cuenca, las cuales fueron relevadas a través de Google Street View®, ésto debido a la inexistencia de documentos que indiquen la cantidad y ubicación de las mismas (Figura 3). También se agregaron dos tipos de suelo adicionales, uno para simular un suelo impermeable en correspondencia a las construcciones y calles pavimentadas o asfaltadas y otro tipo de suelo totalmente permeable para simular las celdas correspondientes a los arroyos y cauces naturales.



**Figura 3.-** Izquierda: vista de una zona de la ciudad de Guarapuava en Street View. A la derecha identificación de las bocas de tormenta.

Con estos mapas, y el de uso de suelo, se elaboraron los archivos de ingreso para el modelo TREX (Figura 4). Debido a la densidad de bocas de tormenta, la resolución base del mapa de uso de suelo (5 m x 5 m) y la densidad de levantamientos topográficos dentro de la zona urbana, se eligió realizar las modelaciones con celdas de 5 m x 5 m en las áreas urbanas y celdas de 30 m x 30 m en áreas rurales, dividiendo la cuenca en 8 subcuencas (Figura 5). Esto facilitó también el manejo de los datos, especialmente en el modelo TREX, donde se genera gran información de salida (mapas de infiltración, precipitación y escurrimiento superficial a distintos intervalos de tiempo).

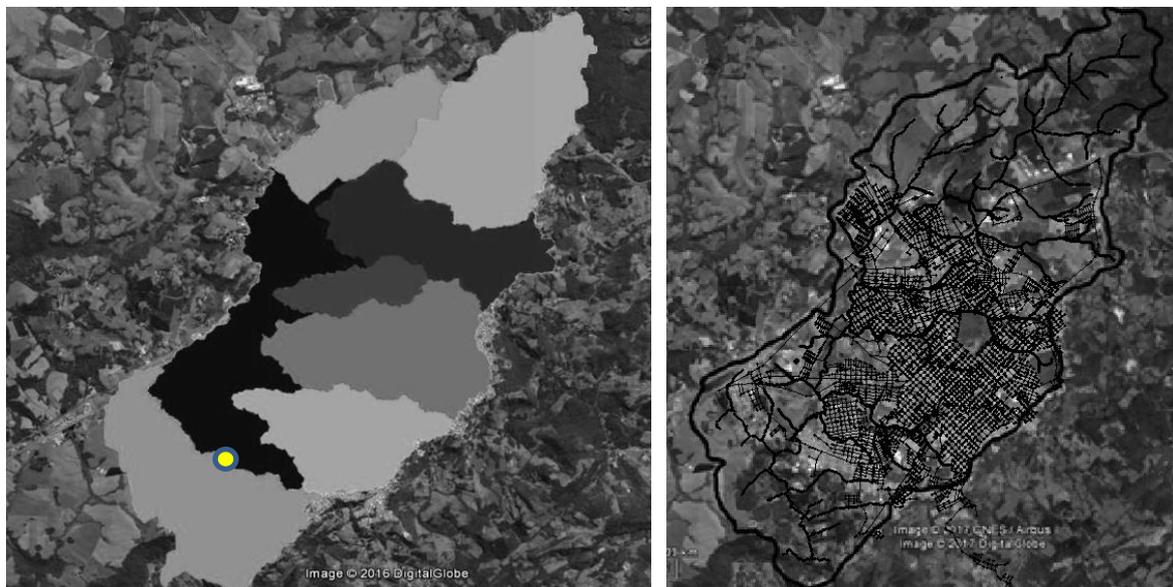


**Figura 4.-** Mapas de ingreso para la modelación de la cuenca de Cascavel en TRES. De izquierda a derecha: curvas de nivel de la cuenca utilizado para producir MDE, MDE, mapa de tipo de suelo y mapa de uso de suelo.

En SWMM se creó la red de drenaje compuesta por nodos correspondientes a las bocas de tormenta (que tienen como ingreso el flujo infiltrado en TRES en ese tipo de suelo) y nodos cauces (que tienen como ingreso el flujo infiltrado en TRES en el tipo de suelo cauce) y los conductos que representan los cauces. Estos elementos se modelaron utilizando, el relevamiento realizado anteriormente para ubicar las bocas de tormenta y por mapas desarrollados por el Instituto Militar donde representan la red de drenaje natural. Al no existir documentación de ubicación y características de conductos, se simuló la red como una red cerrada donde los conductos corren en la parte central de las calzadas y se unen entre ellos en un nodo auxiliar al intersectarse. Las bocas de tormenta descargan a la red a través de un conducto que une a las mismas al nodo auxiliar más cercano. De la misma forma para la conexión conductos-cauce (Figura 5).

De esta forma se creó un modelo que contiene 3494 nodos de conexión de conductos de calle (red cerrada), 5285 conductos que simulan las cañerías bajo calles, 4211 nodos que representan las bocas de tormenta en la Ciudad de Guarapuava, con su correspondientes conductos de conexión con la red de conductos de drenaje, 15095 nodos correspondientes a celdas cauces con sus correspondientes conductos de conexión, 1 embalse y 15306 datos de ingreso de caudal puntual al sistema. A estos elementos, se les asoció los parámetros característicos para su adecuada modelación como ser, en los nodos cota de fondo (según DEM) y profundidad y en los conductos longitud (según coordenadas de nodos), forma (según relevamiento) y rugosidad.

En cuanto al cálculo hidráulico en SWMM fue utilizado el método de la onda dinámica, especialmente debido a la malla cerrada de cañerías de drenaje que fue necesaria realizar en consecuencia del desconocimiento existente de la ubicación precisa de las mismas.



**Figura 5.-** A la izquierda, división de la Cuenca del Rio Cascavel en ocho subcuencas para mejorar la trabajabilidad en el modelo TREX. A la derecha vista del modelo completo de SWMM de la Cuenca de Cascavel.

Lo anterior se automatizó y luego se realizaron diversas correcciones y procesamientos para el correcto funcionamiento y simulación en condiciones reales.

## RESULTADOS.

Se presentan a continuación los resultados preliminares de la calibración un evento seleccionado.

Según los caudales medidos en el evento, se extrajo del mismo el caudal base para poder comparar entre escurrimiento directo medido y escurrimiento directo simulado. Esto es consecuencia, de que

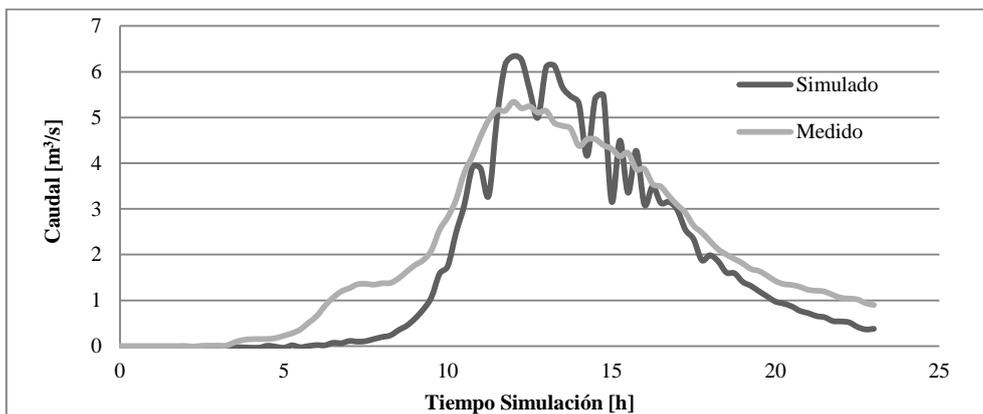
en TREX no es posible simular los fenómenos que producen variaciones en los caudales bases. Para la separación del escurrimiento directo se utilizó el método de Barnes (Orsolini et al., 2000).

A continuación se presentan los resultados gráficos del evento calibrado y los parámetros estadísticos de ajuste (Figura 6, Figura 7 y Tabla 1).

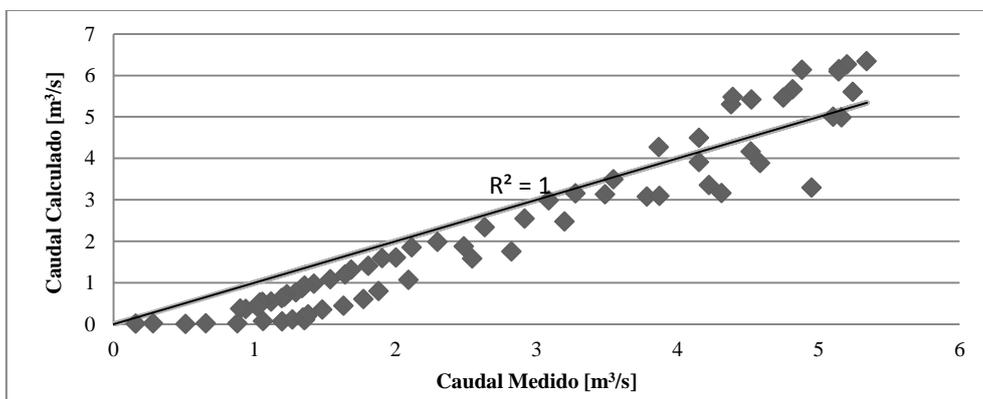
Se observa un aceptable ajuste de los parámetros calibrados tanto en forma visual (hidrogramas) como así también, se observan los parámetros estadísticos del ajuste obtenido.

Como se mencionó anteriormente, con el procedimiento establecido se pueden obtener resultados distribuidos en toda la cuenca, tanto de escurrimientos superficiales, precipitación e infiltración (TREX) como de flujos en conductos y cauces (SWMM).

A continuación se presentan la visualización de algunos resultados en la extensión de la cuenca (Figuras 8, 9).



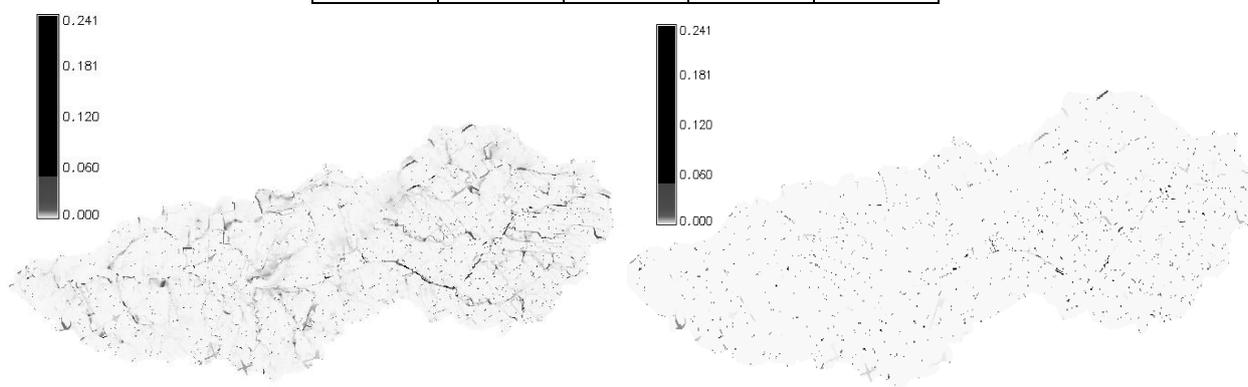
**Figura 6.-** Comparación de escurrimientos directos medidos y simulados – Evento de 27 de Agosto de 2013.



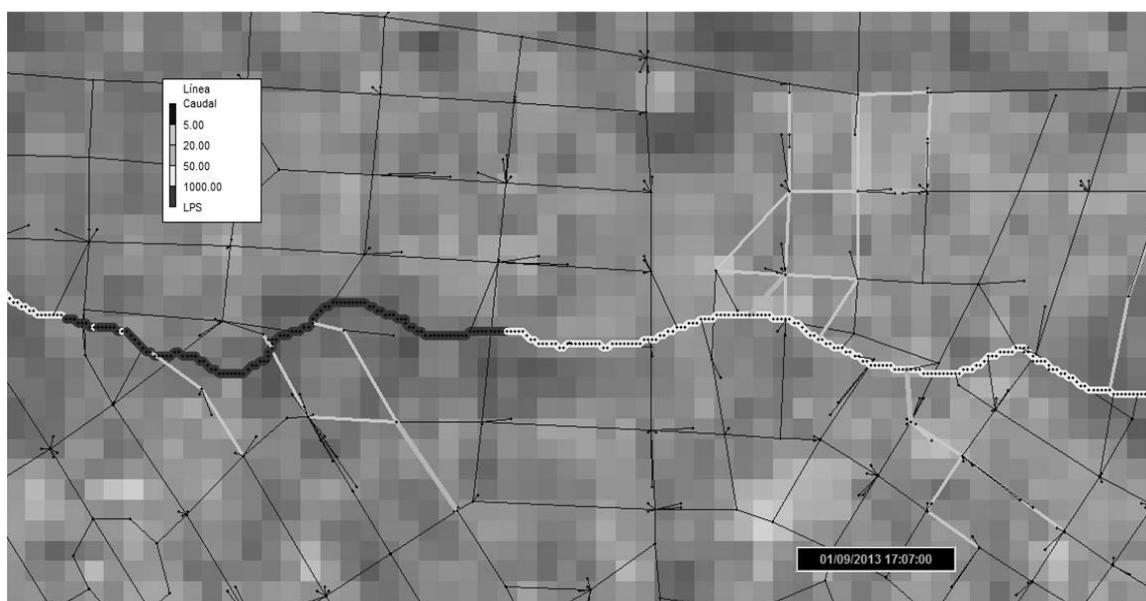
**Figura 7.-** Comparación de escurrimientos directos medidos y simulados – Evento de 27 de Agosto de 2013.

**Tabla 1.-** Parámetros estadísticos de ajuste obtenidos.

R2	NSE	PBIAS	Media	Desvío
0,922	0,844	0,20 %	0,553	0,743



**Figura 8.-** Altura de escurrimientos superficiales [m], subcuenca Barro Preto para los tiempos 10 y 15 horas de iniciada la precipitación – Evento de 27 de Agosto de 2013.



**Figura 9.-** Caudal en cauces y conductos de un sector de la cuenca de Cascavel a 15 horas de iniciada la precipitación, visualizado en SWMM – Evento de 27 de Agosto de 2013.

Se observa en los caudales simulados por SWMM una fluctuación de los mismos cuando estos se acercan en su valor al del pico de crecida.

Para la modelación de este evento completo se tardó aproximadamente 4 días para modelar el escurrimiento en TREX y 4 horas para modelar el sistema hidráulico en SWMM.

## CONCLUSIÓN.

Se logró la aplicación, previa modificación de código fuente de TREX, de un modelo totalmente distribuido a una cuenca fuertemente antropizada teniendo en cuenta los componentes hidráulicos existente en ella. Luego, se logró un adecuado ajuste de los parámetros para un evento seleccionado. Para lo anterior, aparte de la modificación en el código fuente fue necesario estrategias en la modelación de la cuenca entera, debido a la cantidad de datos que se manejan (resultado de la resolución adoptada) y de los fenómenos que se simulan en cada modelo seleccionado.

Queda pendiente la calibración de los parámetros para una serie de eventos seleccionados y la posterior validación de los resultados.

*Agradecimientos:* Los autores del presente trabajo quieren manifestar su agradecimiento al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Brasil por el apoyo económico, como así también a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina).

## REFERENCIAS

Bhering, S.B. & Santos, H.G. (2008). Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas, Embrapa Solos, Instituto Agronômico do Paraná, 74 p

Chow V.T., Maidment R., y Mays L. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw-Hill.

England, J., Velleux, M., Julien, P. (2007). “Two-dimensional simulations of extreme floods on a large watershed”. Journal of Hydrology, 347(1):229-241.

EPA, 2005. SWMM – Manual del Usuario (Version 2005, en español).

Giangola-Murzyn, (2013). “Modelación y parametrización hidrológica de la ciudad, resistencia a inundaciones”. Tesis de Doctorado. Université Paris-Est.

Gomes, E. de S. (2014). “A dinâmica hidrológica fluvial em bacias hidrográficas com diferentes taxas de impermeabilização do solo em Guarapuava/PR”. Dissertação como requisito de Mestre em Geografia, UNICENTRO, Guarapuava, Parana.

Jorquera E., Weber J.F., y Reyna S.M. (2012) “Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada”. Primer Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, Bs. As.

- Mays, W. M. (2001). Stormwater Collection Systems Design Handbook. Mc Graw-Hill.
- Orsolini, H.E.; Zimmermann, E.D. y Basile, P.A. (2000). “Hidrología: Procesos y Métodos”. ISBN 950-673- 254-4. UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Riccardi, G., (2004). Hidrología en medios antropizados. Libro electrónico. CURIHAM, FCEIA-UNR. <http://cvirtual.fceia.unr.edu.ar>.
- Stehli P.T., Weber J.F., y Jorquera E. (2012) “Implementación de un modelo hidrológico espacialmente distribuido de simulación de eventos”. Primer Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, Bs. As.
- Stehli, P., Weber J., Vestena L.. (2016). “Avances en la aplicación de un modelo hidrológico distribuido en una Cuenca fuertemente antropizada”. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2016.
- Velleux, M., England, J., Julien P. (2008). “TRES: Spatially Distributed Model to Assess Watershed Contaminant Transport and Fate”. Science of the Total Environment, 404(1):113-128.