

## MODELACIÓN HIDROSEDIMENTOLÓGICA DE UNA CUENCA URBANA DE ZONA SERRANA Y CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO

D. Tomás Rodríguez<sup>(1)(2)</sup>, Gerardo A. Riccardi<sup>(3)</sup>, Pedro A. Basile<sup>(3)</sup>,  
Alejandro R. Ruberto<sup>(4)</sup> y Juan A. Sanchez<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina

<sup>(2)</sup>Tel.: (03755)15698630, e-mail: tomas8448@hotmail.com

<sup>(3)</sup>Laboratorio de Hidráulica, FCEIA-UNR, Rosario, Santa Fe, Argentina

<sup>(4)</sup>Departamento de Hidráulica, FI-UNNE, Resistencia, Chaco, Argentina

### Introducción

La descripción de la generación, transporte y deposición de sólidos en ambientes urbanos presenta un alto grado de complejidad dada la gran cantidad de fuentes y materiales susceptibles de ser incorporados a la corriente hídrica. Además de los suelos erosionados por flujo mantiforme en las áreas permeables y el flujo concentrado en los cursos de agua, se suman los sedimentos generados por las actividades humanas, depositados en superficies impermeables como calles, veredas, techos y solados de edificios. Asimismo los suelos finos del orden del tamaño de limos y arcillas, predominantes en la región en estudio, son susceptibles a la adsorción, traslado y acumulación de contaminantes. Esta problemática se complejiza en zonas donde se presenta un rápido y desordenado crecimiento urbanístico con condiciones extremas de lluvias intensas y cuencas con fuerte pendiente como el caso de las cuencas urbanas de Oberá, sobre la Sierra Central de Misiones. Con el objetivo de describir los procesos de erosión en una cuenca urbana serrana de clima subtropical húmedo (CUSCSH) se implementó y calibró el modelo de acumulación, producción y transporte de sedimentos incluido en el modelo SWMM en una de las cuencas más densamente pobladas de la zona centro de Misiones, la cuenca del arroyo Mbotaby en la ciudad de Oberá.

### Objetivos

Generar las herramientas tecnológicas necesarias para la evaluación de procesos de erosión hídrica superficial de una cuenca urbana serrana de clima subtropical húmedo (CUSCSH) mediante la constitución y calibración de algoritmos de acumulación, producción y transporte de sedimentos incluido en el modelo SWMM y su contraste con mediciones hidro sedimentológicas realizadas.

### Materiales y Métodos

La cuenca en estudio

La cuenca en estudio comprende el área de aporte del arroyo Mbotaby, posee 976,7ha de superficie, recogiendo el 40% de excedentes hídricos del casco urbano de Oberá (Figura 1).

En la cuenca se advierten distintas zonificaciones, desde el distrito central con una alta densidad poblacional, hasta zonas de reservas ecológicas. Cada zonificación está caracterizada por un área impermeable total (AI), área impermeable directamente conectada (AIDC) y número de curva o CN (US-SCS, 1975), parámetros ajustados durante el proceso de calibración del modelo mediante la utilización de registros pluviográficos e hidrométricos (Rodríguez y Riccardi, 2014).

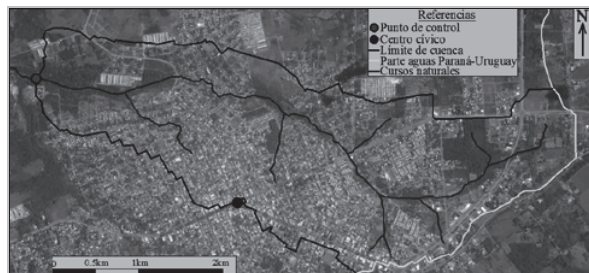


Figura 1.- Cuenca Mbotaby (adaptado de Google Earth®, 2013).

### Caracterización edafológica

La cuenca en estudio, está cubierta de manera general por suelos lateríticos de color rojo, cuyo mineral predominante es la caolinita, lo cual resulta típico en regiones con climas subtropicales húmedos.

Según la clasificación edafológica realizada por CARTA (1964), la zona en estudio presenta suelos del complejo 9 o "tierra colorada". En casi su totalidad se presentan en zonas de pendiente que son moderadas para la región, de entre el 15 y 25%. El principal problema de estos suelos es la erosión grave, que los amenaza una vez cultivados. El laboreo excesivo resulta netamente desfavorable, debido a que destruye la estructura natural del suelo, facilitando la erosión, pues se aceleran los procesos de destrucción de materia orgánica y se impide la reposición.

### Modelo hidrológico-hidráulico utilizado

El modelo utilizado fue implementado en el entorno del SWMM 5.0ve, permitiendo obtener variables de flujo como caudales, velocidades y niveles en cada una de las manzanas, calles, entubamientos y arroyos del sistema pluvial. El nivel de detalle corresponde a una topología con al menos, 4 nodos en cada bocacalle y, cada manzana está representada por una subcuenca tributaria. Dadas las características del sistema de desagüe pluvial domiciliario predominante en la ciudad de Oberá, se estructuró cada unidad de aporte de la siguiente manera: (i) un determinado porcentaje del área impermeable total se consideró directamente conectado (AIDC) al sistema de desagües pluviales, (ii) la superficie impermeable restante o no conectada (AINC) se consideró con descarga en las zonas permeables de los lotes y (iii) los excedentes de las zonas permeables (AP), una vez descontadas las pérdidas, son conducidos al sistema. El ambiente de modelación resultó de una extensión superficial de 976,7ha, correspondiendo 24,5% a áreas impermeables totales, de las cuales 12,9% del total están directamente conectadas, y 75,5% de áreas permeables. El modelo quedó constituido por 972 subcuencas tributarias, 2967 nodos y 3.742 elementos conductores de los excedentes

hídricos (calles, cunetas, sumideros, zanjas, canales, conductos y arroyos).

Algoritmos de erosión utilizados

El modelo de la calidad de agua que posee el SWMM fue utilizado para describir la dinámica, tanto de la generación de sedimentos a nivel de subcuenca como el transporte de los mismos a través de la red de desagüe. Se utilizaron dos algoritmos de generación de sedimentos distintos. Uno para las áreas permeables, donde la disponibilidad de material puede suponerse infinita para un evento aislado, y otro para las áreas impermeables donde el material disponible para ser lavado es limitado y depende de las condiciones antecedentes. La bondad del ajuste entre valores observados y medidos se llevó adelante mediante  $R^2$ , NSE, PBIAS y RSR.

Mediciones hidro-sedimentológicas

Con el fin de comparar los resultados obtenidos mediante la modelación, se realizaron mediciones hidro-sedimentológicas en punto de control de cuenca, de manera de establecer los caudales de escurrimiento directo y las concentraciones de sólidos asociados a distintos eventos pluviográficos registrados y modelados. Las tormentas presentadas en este trabajo son 6, las cuales poseen humedad antecedente tipo II (normal). Los valores de precipitación total varían en un rango de 32 a 77mm, con intensidades medias entre 4.5 y 7.74mm/h. Los hietogramas de la precipitación fueron registrados por el pluviógrafo digital de la Estación Meteorológica de la Facultad de Ingeniería de Oberá. Los caudales erogados por la cuenca fueron inferidos a través del registro de niveles en el punto de control y la correspondiente curva h-Q calibrada. Los sólidos erogados fueron establecidos mediante la toma de muestras de agua y su posterior procesamiento en laboratorio.

## Resultados

Acumulación de contaminantes en áreas impermeables

Para la descripción de la acumulación de sedimento en áreas impermeables se utilizó, al igual que Mendez (2012), un modelo de acumulación exponencial según la Ecuación 1. En el mismo la acumulación sigue un crecimiento exponencial que se aproxima asintóticamente a un determinado valor máximo. Para reproducir el fenómeno de acumulación se procedió a modelar, para cada evento registrado, un periodo de tiempo previo a la tormenta igual a la cantidad de días previos al evento sin lluvia.

$$B = (C_1, C_2 t^{C_3}) \quad [1]$$

Lavado de contaminantes en áreas impermeables

La carga de arrastre en áreas impermeables fue descrita por una función exponencial según la Ecuación 2.

$$W = C_8 \cdot B \cdot q^{C_9} \quad [2]$$

Lavado de contaminantes en áreas permeables

Para descripción del lavado y arrastre de sedimentos desde las áreas permeables se utilizó un modelo de curva de flujo de arrastre descrita por la Ecuación 3.

$$W = C_{10} \cdot q^{C_{11}} \quad [3]$$

Los valores que mejor ajustaron son:

$C_1 = 1200 \text{kg/ha}$ ;  $C_2 = 0.05 \text{días}^{-1}$ ;  $C_3 = 0.010$  (evaluado de 0.005 a 0.100); el coeficiente de arrastre  $C_{10}$  fue ajustado para cada

zonificación siguiendo las relaciones de erogación de sedimentos de la MUSLE [kg/l] (Rodríguez et al., 2015), finalmente los  $C_{10}$  resultantes varían entre un mínimo para el distrito central de 360kg/l y un máximo para las plazoletas de 1016kg/l;  $C_{11} = 1.14$ .

El total de pares de datos evaluados, Sólidos Totales (ST) registrados y modelados, asciende a 68, y los valores obtenidos de  $R^2$ , NSE, PBIAS y RSR evidencian un buen ajuste. En la Figura 2 presenta el polutogramas de ST registrado y resultante del modelo para el evento del 19-jul-14.

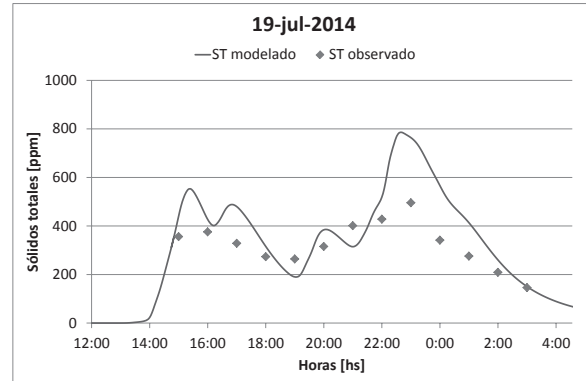


Figura 2.- ST modelado y observado evento 19-jul-14.

## Conclusiones

Con resultados satisfactorios el SWMM ha demostrado ser una herramienta eficaz y de fácil aplicación para la modelación hidrosedimentológica de cuencas urbanas de zona serrana y clima subtropical húmedo.

Se considera un logro metodológico que con herramientas de modelación de media complejidad y mediciones de escurrimiento líquido y de sedimentos durante 2 años, se pueda establecer una satisfactoria descripción de los procesos estudiados.

Se estima que el modelo hidrosedimentológico calibrado permitirá avanzar en un plan director de manejo de los excedentes hídricos superficiales, actualmente inexistente, en la ciudad de Oberá, como así también permitir la evaluación de desempeño de obras estructurales y no estructurales tendientes a mitigar los efectos negativos de la urbanización sobre el medio ambiente.

## Referencias Bibliográficas

- CARTA (Compañía Argentina de Relevamiento Topográfico y Aerofotogramétrico) (1964). "Hoja 2754-25-2D3". Buenos Aires, Argentina.
- MENDEZ, G. (2012). "Sedimentos en el drenaje urbano. Estudio caso: ciudad de Resistencia (Chaco-Argentina)". Tesis de maestría. FI-UNNE. Resistencia. 163p.
- RODRIGUEZ, T. y RICCARDI, G. (2014) "Evaluación del riesgo por inundación en calles de una cuenca urbana de alta pendiente del centro de Misiones". Cuadernos del CURIHAM, Rosario. 20, 23p.
- RODRIGUEZ, T., RICCARDI, G., RUBERTO, A., BASILE, P. y VERA, D. (2015) "Estimación de producción de sedimentos por eventos en una cuenca urbana de Misiones". Jornadas de Ciencia y Tecnología de la UNR. Rosario, Santa Fe, Argentina.