

# Nueva herramienta para análisis de sistemas de drenaje pluvial urbano

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las zonas urbanas en los últimos años sobrepasa cualquier previsión, cualquier diseño, cualquier planeamiento de servicios urbanos (figura 1). En los países en desarrollo, la proporción de personas que viven en ciudades casi se ha duplicado desde 1960 (desde menos del 22% hasta más del 40%), mientras que en las regiones más desarrolladas, la proporción ha aumentado desde el 61% hasta el 76%. Según un informe publicado en 1998 por el Banco Mundial, sobre índices demográficos en América y Europa, en Venezuela la densidad poblacional promedio estaba alrededor de los 24 hab. / km<sup>2</sup> lo cual lo ubica como un país bajamente poblado, no obstante el indicador que define la concentración de población en zonas urbanas, muestra que Venezuela es el país con el segundo mayor porcentaje de población urbana con un 87%, por detrás de Argentina. Esto, evidencia el continuo despoblamiento de los campos y zonas rurales localizadas al sur del país, en busca de beneficios económicos en los centros urbanos ubicados en la región Centro Norte, entre otras razones impulsado por el desarrollo de la actividad petrolera.

El acceso al agua potable es una reto continuo ya que las dotaciones son cada vez mayores y los ríos y acuíferos están sobre explotados, cerca de agotarse. El suministro de energía también presenta serios retos de cara al futuro, de manera que, comparado con los problemas que plantean el abastecimiento de agua y de energía, los sistemas de drenaje y las zonas verdes de las ciudades no son una gran preocupación para nuestra sociedad, porque sólo dan problemas cuando llueve (Kamal et al., 2004). Esta reflexión también es válida para la Ciudad de Coro, capital del Estado Falcón, en la cual se han venido incrementado los problemas asociados al drenaje urbano a medida que aumentan los porcentajes de área imper-

## Resumen / Abstract

*El crecimiento reciente de las ciudades de Venezuela necesita mejorar los servicios públicos incluido el drenaje urbano. Coro, capital del Estado Falcón, como otras zonas urbanas llanas costeras sufre anegamiento provocado por precipitaciones intensas y por la falta de una red de drenaje pluvial adecuada al desarrollo urbano actual. Se presenta aquí una propuesta novedosa basada en herramientas informáticas para analizar el funcionamiento de sistemas de drenaje en zonas predominantemente planas, bajo un enfoque sustentable. Se expone una breve recopilación del estado del arte actual y futuro de dichas herramientas y se muestra una nueva experiencia desarrollada en el Centro de Investigación de Recursos Hídricos en la UNEFM en el Estado Falcón, para abordar estos problemas.*

*Palabras clave: sistema de información geográfica, modelos de simulación, drenaje urbano.*

*Recent growth of cities in Venezuela demands improvement of their public services including urban drainage. Coro, capital of Falcón state, as well as other coastal plain urban zones suffers from flooding due to intense rainfall and the lack of a storm drainage network consistent with its present urban development. A new proposal is presented here based on informatic tools to evaluate performance of drainage systems in predominantly plain zones under a sustainable scheme. A brief state of the art, present and future, about those tools is included and a new experience to handle these problems developed in the Centro de Investigación de Recursos Hídricos (UNEFM, Falcón state) is discussed.*

*Keywords: geographic information system, simulation models, urban drainage.*

Ing. Luis Alejandro Sánchez Román  
Centro de Investigación en Recursos Hídricos.  
Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.  
Complejo Académico Los Perozo, Coro, Estado Falcón, Venezuela.  
e-mail: luisanchezr@yahoo.com

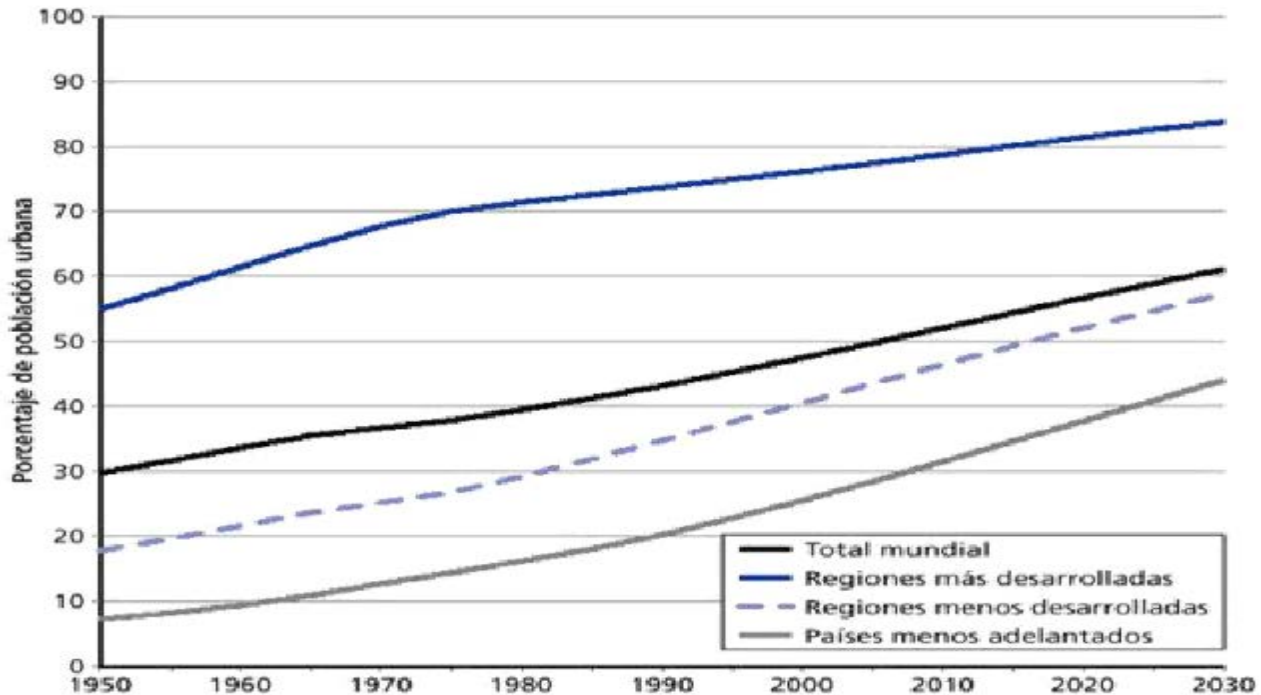


Figura 1. Tendencia mundial de la urbanización. (United Nations Population Fund (UNFPA), 1999). Fuente: Pedraza, 2001.

meable, producto del crecimiento urbanístico en la última década.

El Estado Falcón está ubicado en la zona occidental del país, limitado al norte por el Mar Caribe, la capital posee una zona urbana que presenta una superficie aproximada de 24.800 km<sup>2</sup>, predominando en ella la topografía plana. La red de drenaje pluvial de la ciudad de Coro está constituida por alrededor de 30 canales, quebradas y drenes que atraviesan la ciudad en varias direcciones. Existen múltiples puntos en la ciudad, donde en épocas de lluvia, se almacena el agua y toma mucho tiempo en evacuarse con mayores o menores consecuencias y afecciones. Una de las zonas que presenta este tipo de problemas, se ubica al Sur de la Ciudad en donde se evidencia un crecimiento urbanístico importante, lo cual ha originado cambios en la tasa de impermeabilización de dicha zona.

La aceleración de los procesos urbanísticos trae consigo mayor generación de basura hacia los ambientes urbanos, lo cual requiere de altas inversiones tanto en la recolección y disposición de los desechos como en la limpieza de calles y avenidas. En muchas ocasiones, dichas inversiones no se planifican al mismo ritmo en que crecen las urbanizaciones, trayendo como consecuencia la acumulación excesiva de basura y desechos sólidos que en su mayoría van a parar a los canales y sumideros de la ciudad (figura 2).

Uno de los aspectos a evaluar en zonas urbanas en continuo crecimiento, como el caso de Coro, tiene que

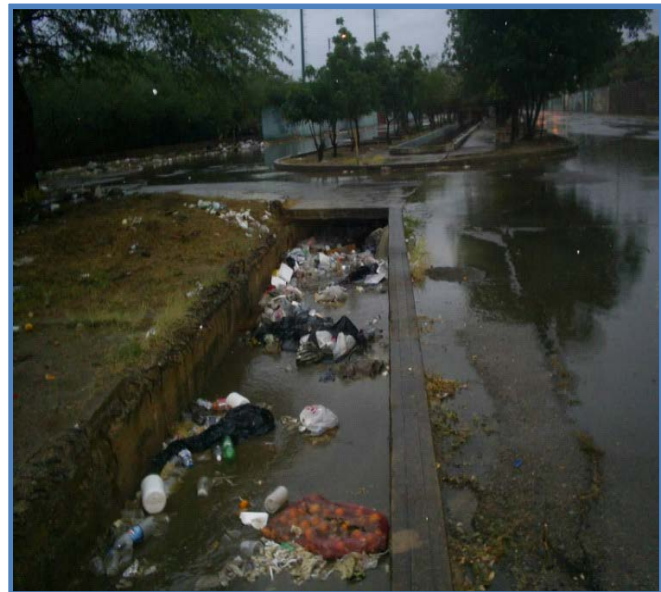


Figura 2. Canal artificial obstruido por desechos urbanos. (zona central de la ciudad de Coro).

ver con el impacto de esa urbanización sobre el sistema de drenaje pluvial existente. Para ello, se propone construir un sistema de modelación integrada apoyada en el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), a fin de analizar rigurosamente la respuesta hidrológica e hidráulica de cuencas urbanas predominantemente planas, ante los cambios en el uso del suelo en los últimos años y bajo un horizonte de planificación.

## ANÁLISIS DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL URBANO. TENDENCIAS ACTUALES

Un estudio comparativo realizado por el autor de los planes directores de drenaje, entre municipalidades en países de América latina y algunas ciudades de países industrializados, permitió constatar que en general, algunos países latinoamericanos todavía predomina el enfoque tradicional, es decir, Método Racional para la estimación de la escorrentía y la ecuación de Manning para el tránsito en los conductos, sin contemplar, las técnicas de análisis que permiten modelar el comportamiento real del sistema, en régimen no uniforme y no permanente. La tendencia general en lo que respecta a las técnicas de análisis actuales empleadas tanto para el diseño como para la evaluación, está orientada hacia los modelos matemáticos integrados. Los modelos integrados incluyen dos componentes vinculados: el Modelo hidrológico y el hidráulico. El primero orientado a modelar procesos de baja escala como almacenamiento en depresiones, Intercepción, y el flujo sobre superficies impermeables en áreas urbanas con delgadas capas de suelo y baja capacidad de infiltración "overland flow". (Chow et al., 1988). En cambio, el componente de simulación hidráulica se ha caracterizado por la utilización de modelos de tipo Simplificado por ejemplo la aproximación de la onda cinemática o Completo en el cual se resuelven completamente las ecuaciones de Saint Venant.

Una revisión general de la evolución histórica en el desarrollo de los modelos para el análisis y diseño de infraestructura de drenaje pluvial en ambientes urbanos, permite afirmar que el avance ha sido desigual en diferentes países o regiones. Los modelos hidrológicos más potentes, han ido mejorando su campo de aplicación enfocándose en la simulación del transporte de la escorrentía superficial para estimar la producción y evolución de cargas contaminantes asociadas a dicha escorrentía. En general, los modelos han sido ampliamente usados en el campo de la Ingeniería y su complejidad ha aumentado a medida que se descubren nuevas herramientas computacionales para resolver con rapidez las ecuaciones matemáticas representativas de fenómenos físicos determinados. (Riccardi, 2001), afirma que en la actualidad las mayores limitaciones en el modelado hidrológico-hidráulico de los procesos lluvia-escorrentía están vinculados a insuficiencia de datos, especialmente en países en desarrollo. En el caso de Venezuela, la aplicación se ha centrado en mayor medida en el diseño y dimensionamiento de componentes de la redes de drenaje para prevenir inundaciones en el medio urbano y en menor medida en como herramienta para la planificación del crecimiento urbano en las grandes ciudades.

Uno de los aspectos que diferencia el análisis de los procesos hidrológicos lluvia-escorrentía en ambientes rurales con los ambientes urbanos (figura 3), tiene que ver con la escala de estudio y la consideración de procesos

hidrológicos e hidráulicos predominantes. (Achleitner, 2006).

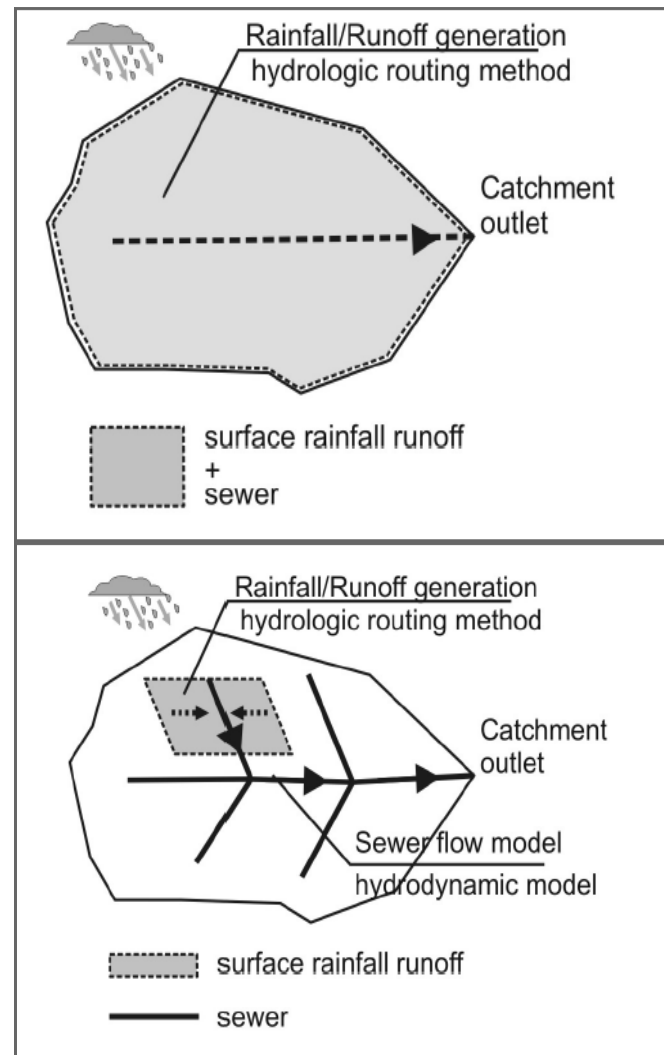


Figura 3. Adaptado de: Stefan Achleitner (2006), "Modular conceptual modeling in urban drainage development and application of city drain", Innsbruck, Austria

El alto nivel de detalle, que requiere la simulación del movimiento del agua en ambientes urbanos, ha sido estudiado ampliamente (Zaghloul, N.A, 1983), (Maksimovic, 2001), (García J, et al., 2004). A criterio del autor, los resultados obtenidos por estos investigadores están enfocados a analizar solo el grado de discretización, y no dejan claro los criterios óptimos que el modelador debe asumir para dicha discretización. El efecto de escala sobre la simulación del Flujo de Agua Superficial en Áreas Urbanas usando modelos basados en la Onda Cinemática fue estudiada por (Pedraza, 2001), en este trabajo se desarrolló un proceso de agregación espacial aplicable solo a cuencas urbanas pequeñas, en el que se demostró que en este tipo de cuencas el efecto del flujo superficial predomina sobre el efecto del flujo en cauces y para escalas mayores, el proceso dominante corresponde al

efecto del flujo en cauces por encima de el efecto del flujo superficial, por lo que la respuesta hidrológica pasa a depender más de los parámetros geométricos e hidráulicos de la red de drenaje.

Las primeras investigaciones orientadas a la evaluación integral de modelos y a analizar los progresos científicos en la modelación Hidrológica en cuencas urbanas, fueron presentadas por (Papadakis et al., 1973); (Brown et. al., 1974); (Marsalek et al., 1974). El autor resalta los aportes realizados por estos trabajos para demostrar las bondades de uno u otro modelo, aunque para la época no existían muchos modelos integrados. Sin embargo, ninguno de los trabajos es concluyente ni ofrece un criterio aceptable para la comparación objetiva y multicriterio de los modelos evaluados.

En la última década, numerosas investigaciones sobre el análisis del flujo en la superficie de la ciudad, han sido desarrolladas orientados a la creación de nuevos modelos de simulación, y a la comparación de sus atributos. Actualmente, los modelos más conocidos para drenaje urbano son el MOUSE (En Europa) y el SWMM (América), ambos permiten trabajar con la planeación ya que están diseñados para proporcionar una perspectiva de los efectos en la cantidad y calidad del agua pluvial en ambientes urbanos, sin embargo el SWMM a diferencia del MOUSE es de dominio público. La primera versión del SWMM fue desarrollado en 1971 por Metcalf and Eddy, de la Universidad de Florida (Resources Engineers for the U.S. Environmental Protection Agency EPA).

Es preciso resaltar que gran parte de los estudios donde se aplican modelos de simulación en ambientes urbanos, no se contempla la etapa de calibración y validación de los resultados. En este sentido, (Urbanas, 2007), realizó un estudio exhaustivo en el que analizó cuan seguros y exactos son los resultados de los modelos para drenaje urbano, en aspectos como: el efecto de la distribución espacial y temporal de la lluvia, la magnitud de los errores cuando no se tienen datos para calibrar o el origen de los datos es sospechoso, la Incertidumbre inducida por la longitud de registros de lluvias máximas, entre otros aspectos.

En el trabajo se concluye que menos del 5% de las simulaciones en ambientes urbanos realizadas en los Estados Unidos son contrastados con datos de campo y que el principal elemento para obtener resultados confiables en el modelado de sistemas de drenaje urbano es la destreza del modelador, en segundo lugar está la selección del modelo apropiado, y por último está el motor matemático del modelo. A pesar que este investigador se limita a los casos de aplicación en Norte América, las limitaciones y las dificultades para calibrar y validar los modelos para drenaje urbano coinciden con las que enfrentan los países en desarrollo en cuanto a la información de campo disponible.

## **El código SWMM y su acoplamiento con los sistemas de información geográfica.**

El modelo EPA SWMM 5.0 no tiene una integración directa con SIG, no obstante, existen diversas empresas que tienen softwares de cálculo hidrológico e hidráulico que utilizan como motor de cálculo a SWMM 5.0 y que además tienen integración con SIG.

Todo estos software son comerciales y además con precios muy variables en función de las potencialidades y prestaciones incluidos en el paquete (cantidad de nodos y conductos, rutinas de transporte de sedimentos, calidad de las aguas, entre otras aplicaciones).

Paralelo al desarrollo de paquetes basados en el código SWMM, han ido surgiendo otras herramientas informáticas para la modelación matemática y representación de la información, entre los cuales se encuentran: PCSWMM.NET de la empresa Computational Hydraulic Int. (CHI) Guelph, Canadá, MIKE SWMM Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Dinamarca, INFOSWMM, de la empresa MHWSOFT, AGSWMM, de la empresa Chester Engineers; SWMM CONNECT de la empresa Aqualyze Inc. Existen otros, como XPSWMM desarrollado por XPSOFTWARE (Portland, Oregón), que tienen su propio código de cálculo, pero además permiten trabajar con EPA SWMM 5.0.

## **CASO DE ESTUDIO. SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE CORO. ESTADO FALCÓN**

Hasta la fecha la alcaldía del municipio Miranda y la Gobernación del Estado Falcón no cuentan con una herramienta que les permita manejar la gran cantidad de información presente en el Sistema de Drenaje Urbano de la Ciudad de Coro, con la poca información existente y el grado de dispersión de la misma se hace imposible su gestión mediante procedimientos tradicionales. Este trabajo presenta una herramienta computacional que facilita el manejo y tratamiento de la información espacial georeferenciada y sus características descriptivas como apoyo al análisis y evaluación de la infraestructura de drenaje pluvial urbano. Cabe destacar, que el proyecto en fase de desarrollo y aquí solo se presente el enfoque general y algunos avances preliminares.

En la Ciudad de Coro, el mantenimiento y crecimiento de la red de drenaje consume todos los años un porcentaje apreciable del presupuesto municipal, es por ello, que se hace necesaria la implantación de una herramienta que ayude a la manipulación de los altos volúmenes de información existente, y pueda ayudar en la priorización de las inversiones futuras en la red. Se prevé que esta herramienta, incorpore las tecnologías SIG tanto para el almacenamiento de los datos de manera centralizada, como para el pre y post procesamiento de la información vinculada con los Modelos matemáticos Integrados. Las etapas para desarrollar el sistema son:

**Etapa 1:** corresponde al Levantamiento de campo, al

inventario de la infraestructura existente, a la recopilación, procesamiento y análisis de la información de lluvias máximas de pluviógrafos y pluviómetros de la Cuenca Urbana de la Ciudad de Coro. En esta etapa se busca obtener una base de datos detallada de las características físicas del área en estudio (usos del suelo).

**Etapa 2:** en esta fase, se realiza el diagnóstico del funcionamiento hidráulico del sistema y el pronóstico con simulaciones bajo diversos escenarios, aplicando el modelo SWMM. Es obvio, que esta etapa implica tener el modelo calibrado a fin de que los resultados reflejen con precisión la situación real, no obstante para la fecha de presentación de este artículo, está en desarrollo un trabajo exclusivamente orientado a la calibración hidrológica de una de las principales cuencas urbanas de la ciudad, y por ende no se tienen resultados concluyentes al respecto.

**Etapa 3:** al disponer de la infraestructura de datos espaciales se puede tener un control y seguimiento del estado físico estructural tanto del sistema mayor como el

menor. De esta forma, es posible proponer actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en cualquiera de los componentes del sistema. Esta fase, comprende la formulación de soluciones y actuaciones concretas sobre el sistema para mejorar su funcionamiento. Además, con la posibilidad de migrar los resultados del modelo matemático al SIG, se cuantificará la amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación en la zona de estudio, lo cual permitirá llevar a cabo análisis exhaustivos del impacto socio-económico de las inundaciones pluviales en las áreas más críticas.

### Resultados preliminares

Los resultados preliminares tienen que ver con la recopilación de toda la información del Sistema de Drenaje Urbano y el desarrollo del sistema de información que lo va a gestionar como infraestructura de datos espaciales, así como también están algunos resultados relevantes obtenidos de la implementación del modelo matemático y de la infraestructura de datos espaciales (figura 4).

 UNEFM	<b>Universidad Nacional Experimental</b> <b>"Francisco de Miranda"</b>		
			
<b>Vista Aguas Arriba-Aguas Abajo</b>		<b>Vista Aguas Abajo-Aguas Arriba</b>	
			
<b>Presencia de Representación de Agua</b>		<b>Presencia de Basura y Abundante Formación Vegetal.</b>	
<p>Obra: Canal Natural situado al Oeste del Cementerio Municipal de Coro (CN-01).          Fecha de la Inspección: <u>29/03/2009</u>          Responsable: <u>Br. Luisana Méndez</u></p>			

*Figura 4. Planilla de campo.*

Luego de la digitalización y georeferenciación del mapa base de la ciudad se procedió a construcción de la base de datos SIG, para la infraestructura de datos espaciales. Para sistematizar y simplificar el proceso de recolección de información la ciudad se dividió en dos sectores, el este y el oeste. El catastro informatizado del sistema de Drenaje, se apoyó en unas planillas con la información levantada en campo, cada planilla contempla un volumen importante de información, la cual es necesaria para alimentar la base de datos. Entre los datos que incluye están: la ubicación, la geometría de las estructuras, las características físicas y un reporte fotográfico multitemporal, entre otros tópicos.

Posterior a un trabajo de campo exhaustivo en el que se actualizaron y levantaron topográficamente casi el 70% de las calles de la zona en estudio, se construyó una base de datos con las cotas de pavimento de calles debi-

damente georeferenciadas y enlazadas a la red geodésica de la ciudad. Esto, sería el insumo principal para la construcción del modelo digital de elevación y la generación automática de los mapas con patrones de flujo en calles (figura 5).

En el SWMM y en general en casi todos los modelos para el análisis de sistemas de drenaje urbano, se requiere la caracterización física de la cuenca urbana como parámetros de entrada. Para determinarlos se cuenta con cartas topográficas que deben ser procesadas a mano como es el caso de la ciudad de Coro. Lamentablemente, obtener esta información manualmente es tedioso y necesita bastante tiempo, así como también su actualización. Por esta razón, se ha construido una aplicación en ambiente SIG (figura 6) para obtener de manera rápida y confiable parámetros tales como % de área impermeable por manzanas o segmentos y la Curva Número (SCS).

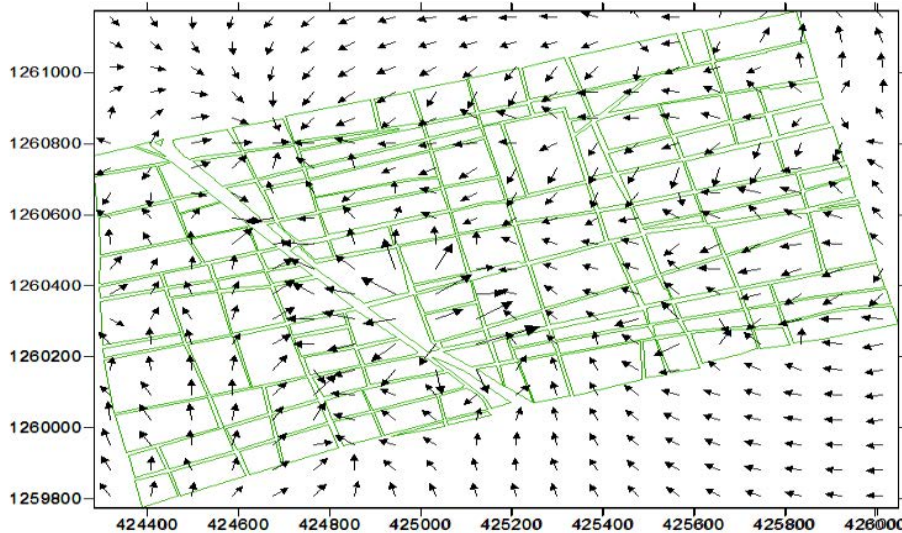


Figura 5. Generación automática de los patrones de flujo

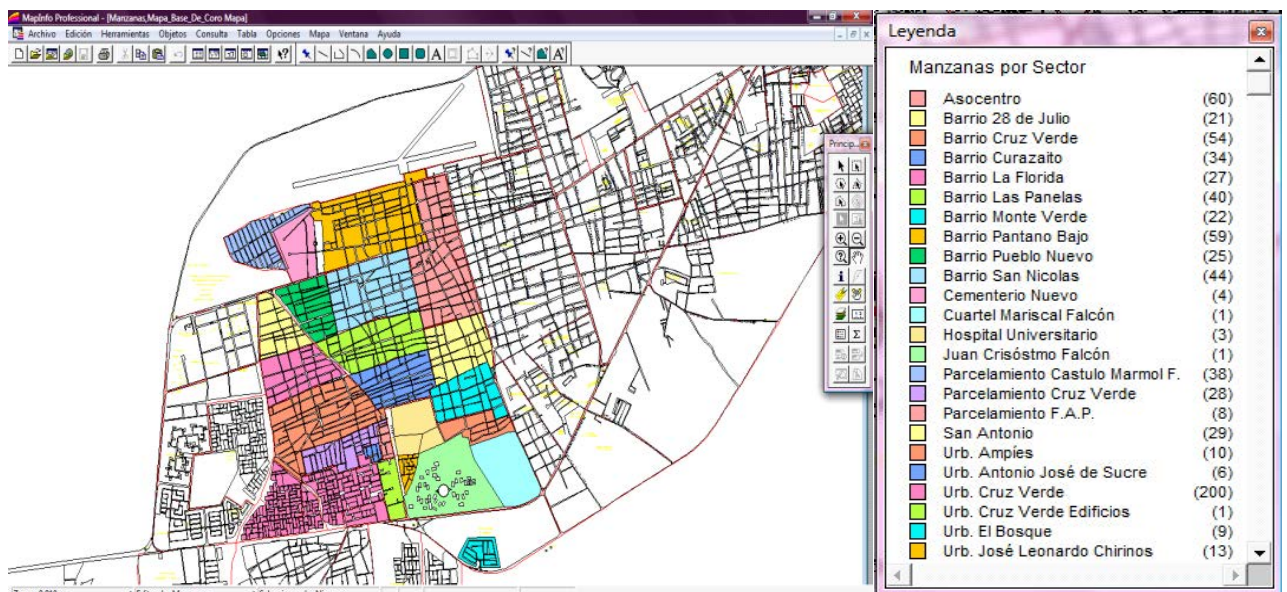


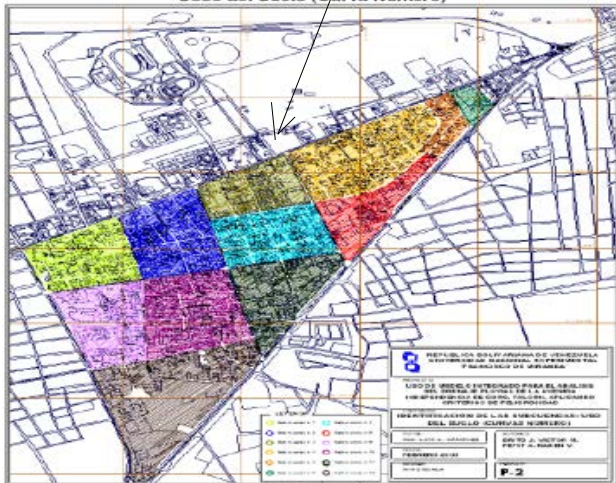
Figura 6. Aplicación en ambiente SIG.

## De la implementación del modelo matemático. Diagnóstico del funcionamiento hidráulico.

En la figura 7, se aprecian tres de las principales cuencas urbanas pertenecientes a la zona este de la ciudad, en donde fundamentalmente el sistema de drenaje está constituido por sumideros de ventana para captar el agua y colectores enterrados para conducirla a los sitios de descarga. En este sector de la ciudad, se aplicó el modelo SWMM para analizar y evaluar el funcionamiento del drenaje superficial y subterráneo para diferentes escenarios de lluvia. Como ejemplo se muestra, una de las zonas analizadas correspondientes a la Avenida Independencia, la cual se clasifica como una vía arterial principal, cuyo sistema de drenaje es fundamentalmente superficial con algunos puntos de descarga en canales abiertos y embaulamientos a largo de la vía. Es importante mencionar, que en esta avenida al menos una vez al año durante los periodos lluviosos se generan caudales de circulación importantes, con calados que superan el nivel de acera y por ende la capacidad de conducción máxima de la propia vía.



Plano P-2. Identificación de las Sub-cuencas: Usos del Suelo (Curva Número)



Fuente: Propia (2008).

Figura 7. Cuencas más importantes del Sector Este.

Con los resultados del SWMM (figura 8), se construyó la curva de evolución de caudales para toda la vía, para ello se dividió en tramos respondiendo a la topografía y la direcciones del flujo. Estas gráficas, representan el patrón de comportamiento del agua a lo largo de la vía (caudal vs distancia) y (tirante vs distancia), restringido a un valor máximo de tirante y ancho mojado permisible para establecer su capacidad máxima de conducción. Con la condición de calado admisible, y con los niveles simulados en cada tramo de la vía, se determinaron las zonas específicas en las cuales se supera la capacidad de la vía y se pone en peligro la libre circulación de peatones y vehículos. Como referencia se muestra la curva de evolución de uno de los tramos analizados.

En la curva de evolución (figura 9) se observa que el tramo analizado cuya longitud es de 580 m, la capacidad de conducción de la vía se supera en un 76,50%, lo que equivale a 443,71 m, evidenciando las deficiencias en el sistema superficial existente, así como el déficit en la cantidad de estructuras de captación existentes, que no tienen la capacidad de interceptar la cantidad de escorrentía que se produce durante un evento de lluvia como el simulado. Es obvio, que el comportamiento de la curva de calados vs distancia es similar, es decir, se producen calados que superan los 20 cm de acera en la mayor parte del tramo.

Aprovechando las potencialidades el SWMM, se procedió a formular una propuesta de solución que comprende la incorporación de nuevas estructuras de captación en los puntos críticos. Para ello, solo se agregaron en el modelo conceptual las posibles obras de captación en los puntos de interés en función de lo observado en las curvas de evolución tanto de flujo como de calados, simulando reiteradamente para observar el comportamiento hidráulico de la vía, una vez incorporada cada estructura, hasta obtener la curva de evolución modificada (figura 10).

Este tipo de análisis con SWMM sería trabajoso desde el punto de vista de la recopilación de la información básica, es en este aspecto, en la infraestructura de datos espaciales de la zona y el catastro digitalizado de las áreas tributarias hacia la Avenida, donde se aprovechan las ventajas que ofrece esta nueva herramienta. A continuación se muestra la tabla 1 que resume algunos de los beneficios del sistema comparado con el enfoque tradicional, que hasta la fecha ha sido implementada en el caso de estudio.

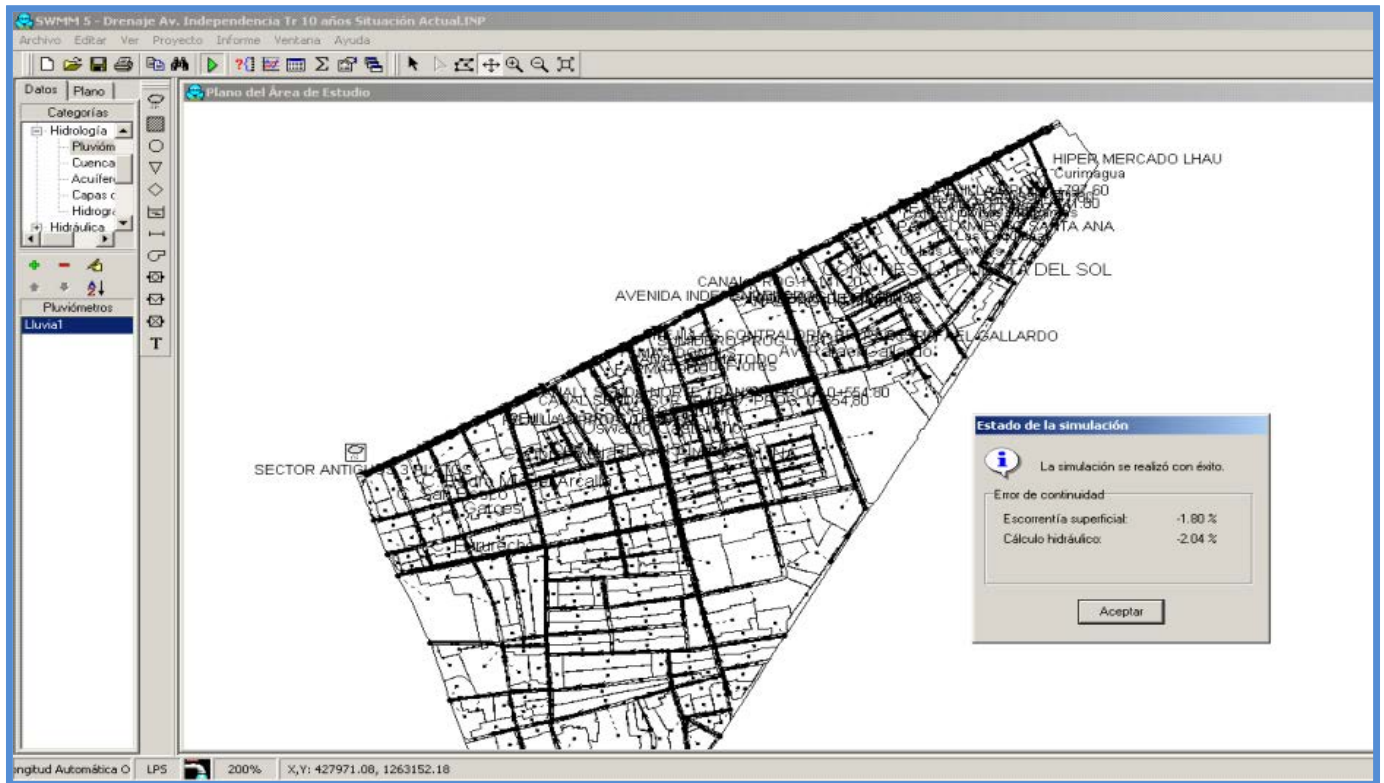


Figura 8. Implementación del Modelo SWMM.

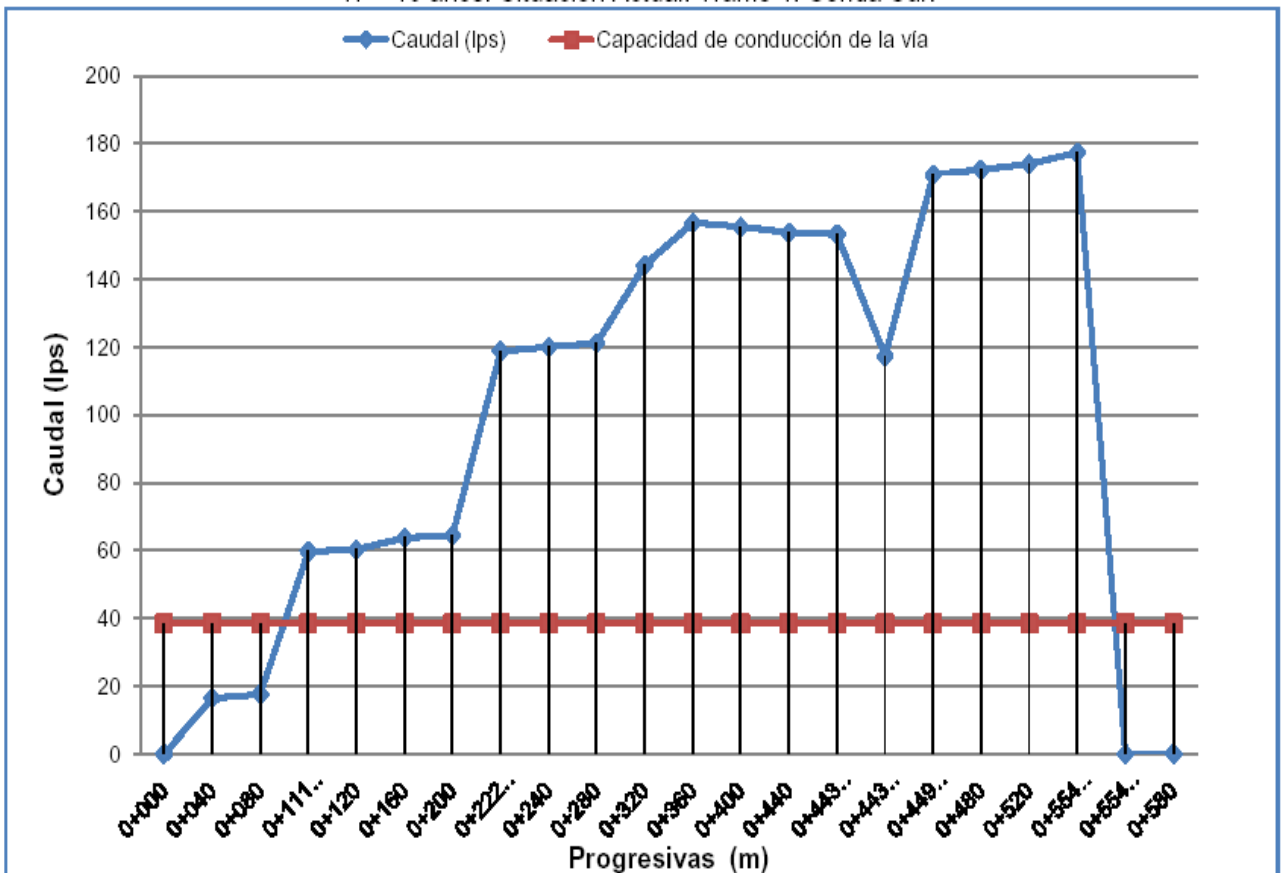


Figura 9. Curva de evolución de caudales para un tramo de la vía. Tr = 10 años.



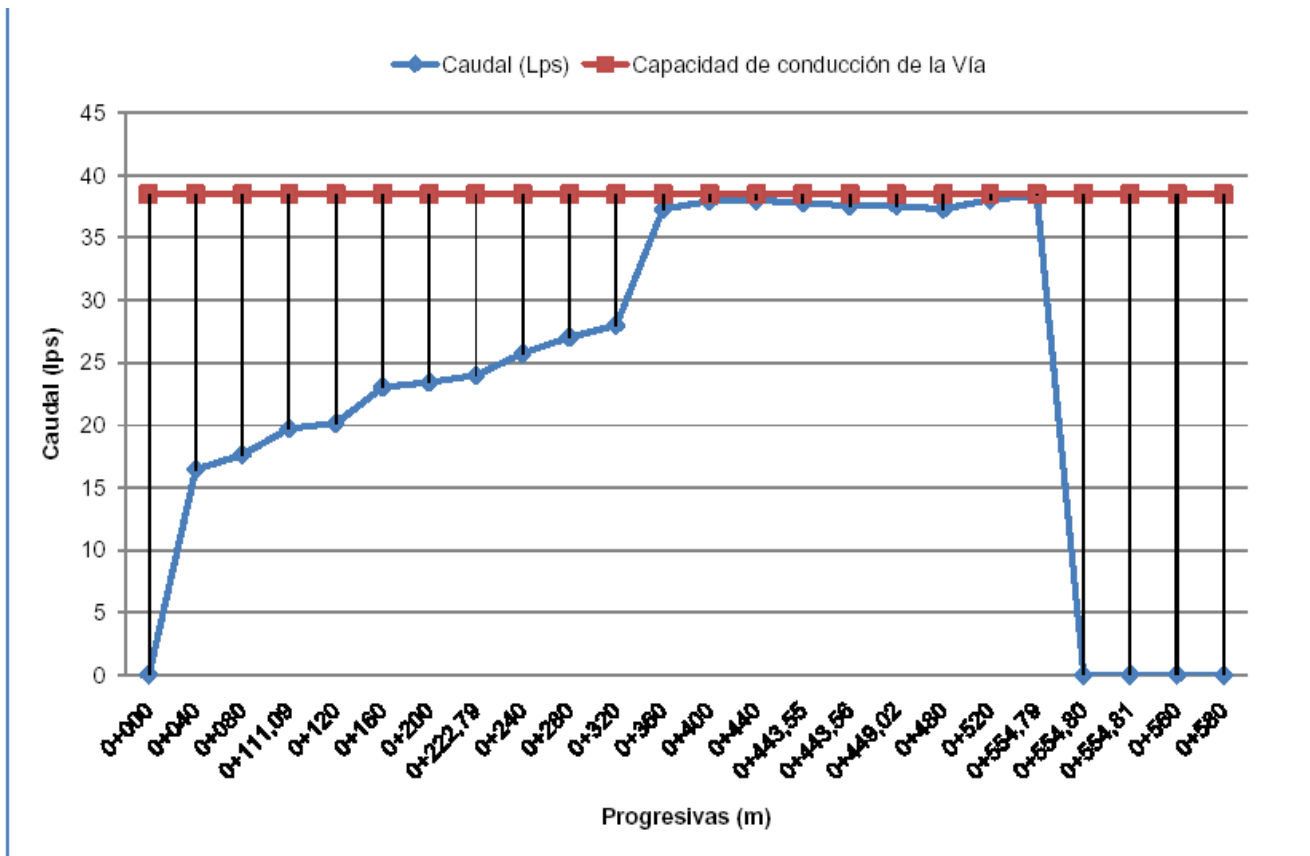


Figura 10. Curva de evolución modificada para un tramo de la vía.  $T_r = 10$  años.

Tabla 1. Matriz de comparación.

Enfoque tradicional	Herramienta : SIG - SWMM
Desconocimiento absoluto del estado físico de la infraestructura. .	Es posible tener una base de datos con toda la información del Sistema de una forma estructurada y coherente para que pueda ser realizada cualquier consulta de manera sencilla, rápida y eficiente
Dispersión de la información en diversos entes públicos como privados	Una única Base de Datos conteniendo información gráfica, tabular y relacional. Los datos son compartidos por todos los usuarios del sistema. Puede tenerse una base de datos histórica con reportes fotográficos para realizar análisis multitemporal del estado físico estructural del sistema.
Desconocimiento total de las rasantes de pavimentos y por lo tanto de lo patrones de flujo reales.	La base de datos topográfica con las cotas de pavimento es actualizable por lo es posible construir el mapa de patrones de flujo en calles en cualquier instante a partir del MDT.
Método racional para el análisis hidrológico y la ecuación de Manning para el tránsito en conductos.	Modelación integrada del sistema en conjunto con flujo impermanente.
No hay una herramienta confiable para diseñar un plan director de drenaje pluvial.	Es una herramienta valiosa para diseñar un Plan director de Drenaje bajo un horizonte de 25 años y un instrumento que brinda respaldo técnico la implementación de ordenanzas locales.

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado parte de un sistema para apoyar el análisis y la evaluación de la infraestructura de drenaje pluvial en la Ciudad de Coro, basado en las aplicaciones que ofrecen los SIG y en la posibilidad de acoplarlos con los modelos matemáticos integrados. La herramienta está orientada hacia dos objetivos centrales, uno de ellos es emplearlo para el pre - y post procesamiento de la información requerida por el modelo SWMM a fin de cuantificar el riesgo asociado a las inundaciones urbanas y el otro manipular una base de datos histórica con todos los atributos de las cuencas urbanas y la ubicación y caracterización exacta de cada uno de los componentes del sistema.

La función fundamental del sistema a desarrollar es la gestión de la información, siendo la misión de su interfaz la simplificación y automatización de las tareas más habituales realizadas por los usuarios. La herramienta constituye una innovación tecnológica a escala nacional, ya que su utilidad va más allá de la modernización en la gestión de los Sistema de Drenaje del Municipio Miranda, es decir, el sistema está concebido para ser aplicado inicialmente en Coro pero como un proyecto piloto, porque está siendo estructurado en forma general de modo de poder extenderlos a otras regiones.

## REFERENCIAS

1. Achleitner, S. (2006). Modular conceptual modeling in urban drainage development and application of city drain. Innsbruck, Austria 2006
2. Brown, J.W., et al., (1974). Models and Methods Applicable to Corps of Engineers Urban Studies. U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Misc. Paper H-74-8.
3. Dammel et al., (2001). Evaluating drain inlet cleaning as a Stormwater Best Management Practice, International Water Association (IWA) 5th International Conference, Milwaukee.
4. Department of Civil Engineering, California State University, (2002). Department of Public Works Bureau of Sanitation Watershed Protection Division. High Trash Generation Areas and control Measures City of Los Angeles.
5. García J, et al., (2004). Evaluación de la discretización en una cuenca urbana a través del modelo SWMM. Depto. Hidráulica y Saneamiento, Universidad Federal de Santa María, Camobi, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro, Brasil.
6. Kopp, S., (1998). Developing a Hydrology Extension for ArcView Spatial Analyst. ESRI ArcUser Magazine, ESRI, Redlands, California. Disponible en <http://www.esri.com/news/arcuser/arcuser498/hydrology.html>.
7. Kamal et al., (2004). Stormwater Drainage Model Couple with Flood Depth Mapping : a new approach towards solution of Urban Drainage Problems", River Hydraulics Division, Surface Water Modelling Centre, Dhaka, Bangladesh.
8. Martin et al., (2005). Interfacing GIS with water resource models: a state - of - the - art review. Journal of the American Water Resource Association.
9. Marsalek, J., et al., (1975). Comparative Evaluation of Three Urban Runoff Models. Water Resources Bulletin, AWRA.11, No. 2; 306-328.
10. Maksimovic, (2001). General overview of urban drainage principles and practice. In: Urban drainage in Specific climates. Volume 1: urban drainage in humid tropics. 227p. Unesco: Paris.
11. McKinney, D.C., D.R. Maidment, and M. Tanriverdi, (1992). Expert Geographic Information Systems for Texas Water Planning. Journal of Water Resources Planning and Management 119(2):170-193.
12. Papadakis, C, et al., (1973). Testing of Methods for Determination of Urban Runoff. J. Hydraulics Div., Proc. ASCE, pp. 1319-1335.
13. Pedraza, R, (2001). Tesis Doctoral: Efectos de Escala sobre la Simulación del Flujo de Agua Superficial en Áreas Urbanas Usando Modelos Basados en la Onda Cinemática.
14. Riccardi, G. (2000). Modelación de escurrimiento en cuenca urbana con interacción entre sistemas, mayor y menor. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales- FCEIA- CIUNR-UNR, Rosario, Argentina.
15. Urbonas, B. (2007). Stormwater Runoff Modeling; Is it as Accurate as We Think?. Publicado en the Engineering Conferences International Conference on Urban Runoff Modeling: Intelligent Modeling to Improve Stormwater Management, Humbolt State Univ., Arcata, CA.
16. Zaghoul, N.A. (1983). Sensitivity analysis of the SWMM runoff-transport parameters and the effects of catchment discretization" Adv. Water Resources, Volume 6,

Recibido: marzo del 2010  
Aprobado: abril del 2010