

DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA QUE PERMITA IMPLEMENTAR UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE MEDIANTE SOFTWARE DE APLICACIÓN.

Lennys C. Mayz M.¹, Yuri Medina^{2*} y Maria V. Dale³

¹ lennys.cm.4@gmail.com

² * medinay43a@gmail.com

³ dalemariavictoria@gmail.com

RESUMEN

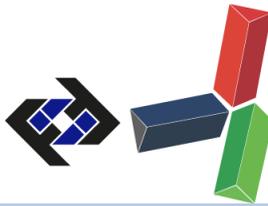
En la actualidad, los desarrollos urbanísticos con frecuencia generan problemas, como lo son inundación, contaminación y desnaturalización. Las nuevas construcciones traen consigo la impermeabilización del suelo y el incremento de la escorrentía superficial, por lo cual la aplicación de los sistemas de drenaje convencionales pudiera ser insuficientes para atenuar los daños. En este sentido, surge la necesidad de diseñar nuevos sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), que contribuyen a disminuir el efecto en la naturaleza causado por el crecimiento urbano. Las metodologías actualmente empleadas en el diseño de los sistemas urbanos de drenaje, sólo permiten conocer el comportamiento estático de los elementos hidráulicos que lo componen. Sin embargo, el uso de herramientas informáticas permite conocer las respuestas dinámicas de todos los elementos que conforman un sistema de drenaje urbano para un evento de lluvia. Este trabajo muestra un procedimiento para el diseño de elementos SUDS. Adicionalmente a través del uso del software de aplicación EPA SWMM se logra modelar el sistema urbano de drenaje bajo las filosofías sostenibles, como propuesta para mitigar un problema de inundación urbana.

Palabras Clave: Drenaje urbano, Sistemas urbanos de drenaje sostenible, modelación hidráulica, EPA SWMM, escorrentía superficial.

ABSTRACT

Nowadays, urban development frequently cause problems as flooding, pollution and denaturation of environment. Their construction implies soil waterproofing and increasing surface runoff; therefore, by applying a conventional drainage system could be insufficient to mitigate damage. In this sense, there is a need to design new sustainable urban drainage systems (SUDS), which reduce the effect on nature caused by urban growth. The methodologies currently used in the design of urban drainage systems, only consider static behavior of the hydraulic elements that compose it. However, by using computer tools take into account the dynamic responses of all the elements present in an urban drainage system for a rain event. This work shows a procedure for the design of SUDS elements. Additionally, by using EPA SWMM application software it is possible to model an urban drainage system under sustainable philosophies by implementing the designed elements, as a proposal to mitigate an urban flood problem.

Keywords: Urban drainage, sustainable urban drainage systems, hydraulic modeling, EPA SWMM, superficial running



JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los problemas medioambientales presentes en el mundo es el relacionado con el continuo y rápido crecimiento de las ciudades, lo que conlleva a una progresiva impermeabilización del suelo que, de forma natural, es capaz de gestionar el agua de lluvia que recibe mediante la infiltración. Al producirse una pérdida del suelo natural y de la vegetación dentro de una cuenca urbana, el ciclo hidrológico se ve significativamente afectado, debido al aumento de las tasas y los volúmenes de la escorrentía. (Rodríguez Bayon, Rodríguez Hernández, Gómez-Ullate, & Castro, 2005) (Perales & Andrés-Doménech, 2008).

Adicionalmente durante los eventos de precipitación se altera la calidad del agua, puesto que la contaminación acumulada en la superficie durante el período seco es lavada y arrastrada hacia la red de colectores. Por lo tanto, la problemática de la contaminación en la escorrentía urbana y de su vertido directo al medio natural es una cuestión grave, que merece la misma atención que en su momento requirió el tratamiento de las aguas residuales. (EPA, 1999) (Perales & Andrés-Doménech, 2008).

Debido a la continua implementación de los sistemas de drenaje urbano convencionales, cada vez se necesitan colectores más grandes, más largos y surge la necesidad de depurar el agua de lluvia que en su origen era limpia. Es así como surgen los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) con la finalidad de mejorar la calidad del agua escurrida, evitar las inundaciones, permitir la recarga de los acuíferos y asimismo pretende garantizar el desarrollo urbano de calidad en zonas donde el sistema de drenaje existente está a punto de saturarse. (EPA, 1999).

Las precipitaciones en los últimos años han causado el colapso de las principales calles y avenidas de importantes localidades del mundo. Venezuela siendo un país tropical, no está exenta de estas estadísticas, son numerosos los artículos de prensa que advierten de inundaciones en las diferentes ciudades y avenidas del país.

Actualmente, el diseño de sistemas urbanos de drenaje en Venezuela se rige bajo lo establecido en el Manual de Drenaje Urbano, publicado en 1979. Esta normativa establece como objetivo básico del drenaje urbano proteger la vida y las propiedades de las personas; y como objetivo complementario reducir las molestias ocasionadas por las precipitaciones al tráfico de personas y vehículos. Adicionalmente, dentro del plan rector básico como instrumento de planificación del drenaje urbano, se establecen las acciones que se deben tomar en el diseño del sistema, las cuales incluyen acciones preventivas y acciones correctivas. A efectos prácticos, las acciones correctivas están sujetas a la construcción de obras hidráulicas donde se priorizan colectores, sumideros, obras de almacenamiento, obras de control, entre otras.

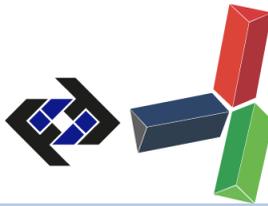
El SUDS se encuentra dentro de las nuevas estrategias complementarias al sistema urbano de drenaje convencional, empleadas para mejorar el funcionamiento y desarrollo urbano sostenible de las ciudades, permitiendo principalmente retribuirle al suelo su capacidad de infiltración, favoreciendo las acciones preventivas del plan rector y mitigando el impacto de las precipitaciones en los períodos de lluvia con el fin de cumplir los principios establecidos en el Manual de Drenaje Urbano venezolano. Este trabajo plantea diseñar una alternativa que permita implementar un sistema urbano de drenaje sostenible mediante software de aplicación, en un urbanismo existente que cuenta con elementos convencionales de drenaje.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



METODOLOGÍA

Se seleccionó como sitio de estudio la Urbanización Nueva Casarapa, Municipio Ambrosio Plaza del Estado Miranda, una zona urbana de la periferia de la ciudad de Caracas que presenta problemas de drenaje con riesgos de inundación durante los períodos de lluvia, debido a la insuficiencia del actual sistema de drenaje urbano convencional compuesto por brocales, cunetas y sumideros, los cuales se encuentran en estado de deterioro; asimismo la construcción de áreas impermeables en el área seleccionada ha incrementado a lo largo de los años los caudales picos a evacuar. El diagnóstico de dicha problemática implicó una serie de investigaciones documentales que permitieron caracterizar el sitio de estudio y los problemas que se han presentado en el mismo, con el fin de elaborar una propuesta de Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) para el sector, que contribuya a disminuir los riesgos de inundación en períodos húmedos.

Para la elaboración de una alternativa que permita implementar el SUDS, se realizó una investigación documental preliminar sobre los distintos elementos que componen dicho sistema, basándose principalmente en la guía de diseño del Ministerio de Vivienda y urbanismo de Chile (1996) denominada “Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvia en sectores urbanos”. El contenido de dicha guía es compatible con las medidas contempladas en el “Manual de Drenaje Urbano”, publicación oficial del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables en conjunto con el Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela (1979). Bajo los criterios tomados de la referida guía, se realizó una evaluación de factibilidad de los diferentes elementos SUDS para su aplicabilidad en el sitio de estudio y posterior dimensionamiento, siguiendo los mismos criterios para luego realizar la modelación digital del sistema, a fin de observar su comportamiento.

La modelación hidráulica se realiza con el fin de verificar la validez de la propuesta, simulando la operación de los elementos ante una determinada serie pluviométrica. Para el fin antes descrito, se utilizó el software EPA SWMM producido por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA). El programa permite analizar el comportamiento de los elementos del sistema, mediante un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, teniendo la posibilidad de incluir en el sistema elementos de SUDS.

Para poder comparar la aplicación de los diferentes elementos SUDS y su efecto en la reducción de los caudales picos se realizaron diferentes corridas en el software. El primer análisis corresponde al sistema de drenaje convencional actual del urbanismo. En las siguientes corridas se incorporan individual y conjuntamente los diferentes elementos SUDS previamente dimensionados por métodos manuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la investigación documental se realizó la caracterización de los sistemas urbanos de drenaje sostenible y caracterización de la zona de estudio correspondiente a la urbanización Nueva Casarapa.

Se evaluó la factibilidad de los elementos SUDS que se pueden implementar según las propiedades presentes en el área, concluyendo que los elementos potencialmente aplicables

corresponden a zanjas de infiltración y pavimento permeable. Con esta base se elaboró una propuesta de diseño aplicando estos elementos, siguiendo el procedimiento propuesto por la guía técnica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, a fin de cumplir con los objetivos establecidos en el “Manual de Drenaje” publicado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y el Instituto Nacional de Obras Públicas (INOS).

Se evaluó el comportamiento de los elementos en el sistema durante un evento de precipitación, mediante la modelación hidráulica utilizando el software EPA SWMM (Environmental Protection Agency Stormwater Management Model) el cual tiene la posibilidad de implementar herramientas de bajo impacto (LID) como lo son los elementos SUDS. A tal efecto, se siguió el procedimiento descrito a continuación:

1. Representación gráfica de los objetos físicos del sistema.
2. Definición de datos de precipitación.
3. Definición de parámetros de modelación hidráulica.
4. Asignación de propiedades de los objetos.
5. Definición de las herramientas SUDS.

En este sentido se realizaron 4 simulaciones al sistema. El primer análisis se realizó únicamente con el sistema de drenaje actual convencional, compuesto por sumideros y colectores. Posteriormente se incorporaron los elementos SUDS, aplicando en principio las zanjas de infiltración y luego el pavimento permeable. Por último, se realizó el análisis con ambos elementos a fin de observar el comportamiento en conjunto. Se realizaron diferentes análisis obteniendo los siguientes resultados:

Caudal en la tubería de descarga.

Al verificar el funcionamiento de la tubería de descarga del sistema, se obtuvieron los valores representados en el Gráfico 1:

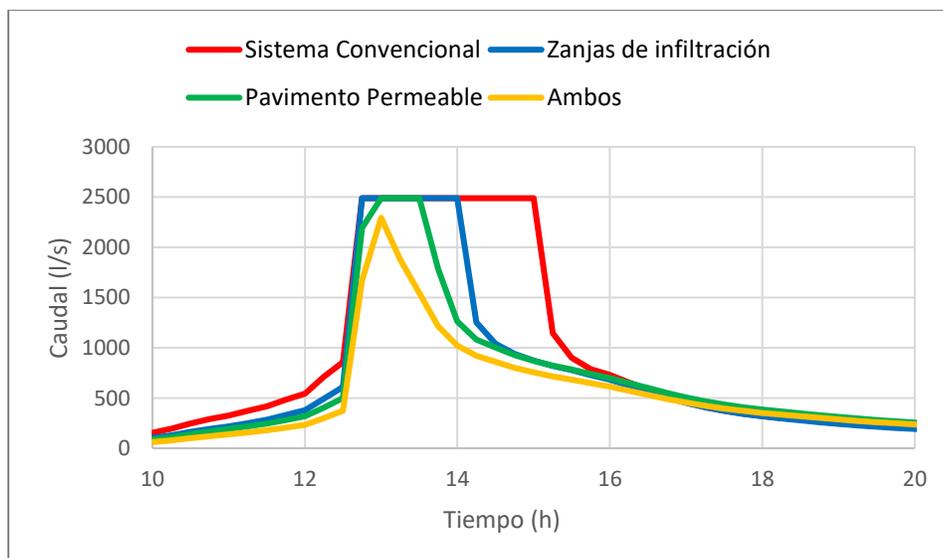
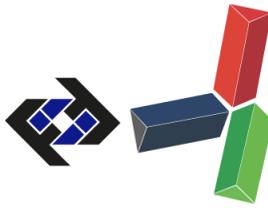


Gráfico 1 - Caudal de la tubería de descarga



- Sistema Convencional: Se tiene un caudal de 2.488 l/s correspondiente a la máxima capacidad del conducto, es decir el conducto funcionando a sección plena durante 2:15 horas.
- Aplicando zanja de infiltración: el conducto se mantiene durante 1:15 horas funcionando a sección plena, disminuyendo 1 hora con respecto al sistema convencional.
- Aplicando pavimento permeable: se tiene caudal pico durante 0:30 horas, disminuyendo 1:45 horas el tiempo en el que trabaja a sección llena la tubería de descarga con respecto al sistema convencional.
- Aplicando zanjas de infiltración y pavimento permeable: Al aplicar simultáneamente ambos elementos SUDS durante el tiempo de análisis, se obtuvo que a las 13 horas de la serie temporal el caudal pico en la tubería de descarga es de 2.293 l/s, lo que corresponde a una disminución del 7,8% aproximadamente del caudal que conduce la tubería con respecto al sistema convencional, es decir que nunca trabaja a sección plena.

Colapso del sistema

En este análisis se considera que el período de colapso corresponde al intervalo de tiempo cuando al menos uno de sus elementos se encuentre a sección llena. Se puede observar el comportamiento del sistema con respecto a este tópico en la *Ilustración 1*.



Ilustración 1 - Elementos en colapso del sistema

- Caso 1 - Sistema Convencional: Para esta primera simulación se tiene que el período de colapso dura 2:30 horas. El máximo de elementos a sección llena corresponden a que más del 88% del sistema se encuentra colapsado.
- Caso 2 - Aplicando zanja de infiltración: El período de colapso es de 1:30 horas. Se observa que disminuye 56% del colapso del sistema.
- Caso 3 - Aplicando pavimento permeable: El período de colapso oscila entre 0:45 horas. Disminuye 77% del colapso del sistema.
- Caso 4 - Aplicando simultáneamente zanjas de infiltración y pavimento permeable: Se observa que durante la serie temporal el sistema no presenta colapso.

Escorrentía e infiltración en la subcuenca El Fortín

Por último, se decidió comparar la escorrentía e infiltración en la subcuenca correspondiente al sector El Fortín durante el pico de precipitación. La selección de esta subcuenca obedece a que es una de las más afectadas durante los períodos de lluvia (*Gráfico 2 y Gráfico 3*).

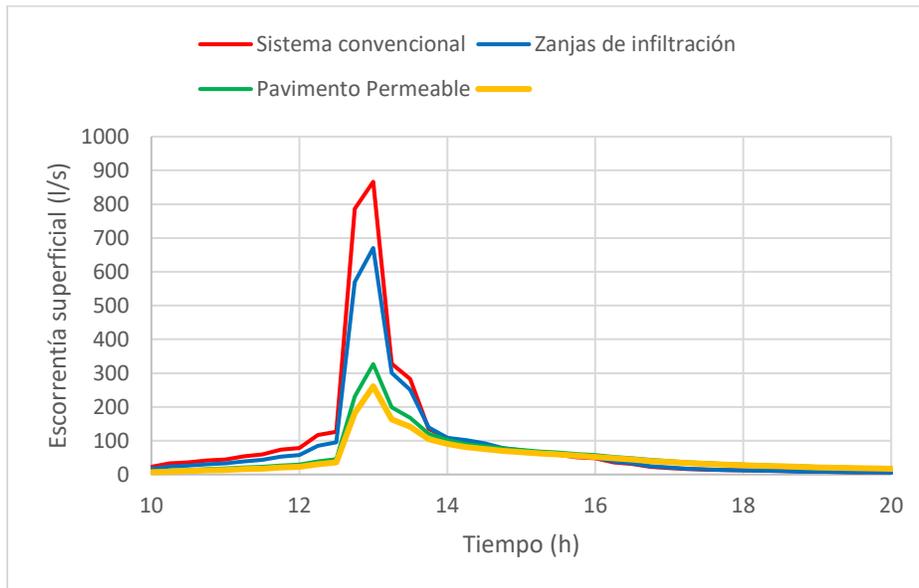


Gráfico 2 – Escorrentía superficial producida en la subcuenca El Fortín

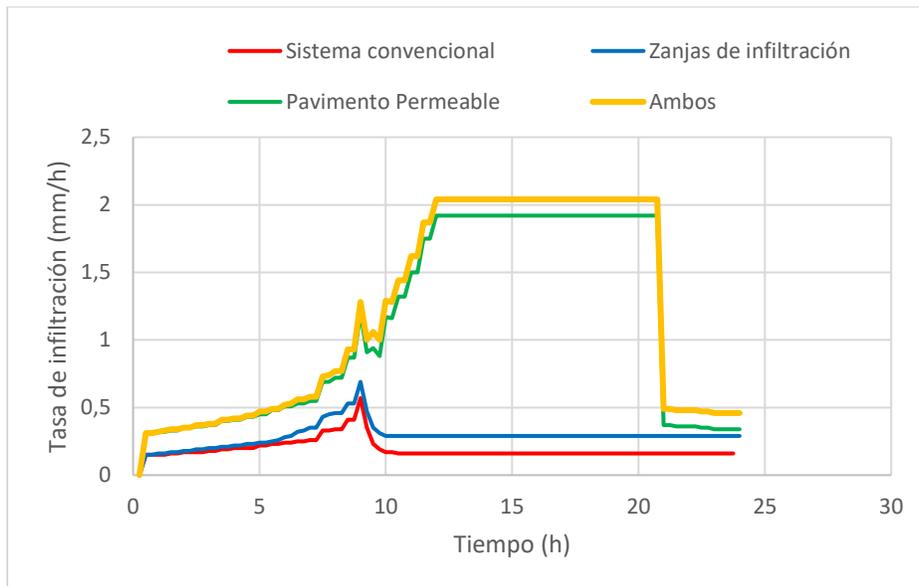


Gráfico 3 – Tasa de infiltración en la subcuenca El Fortín

- Aplicando zanjas de infiltración: La escorrentía disminuye aproximadamente un 20%, mientras que la tasa de infiltración aumenta en la misma proporción.

- Aplicando pavimento permeable: Se observó que el pico de escorrentía superficial disminuye aproximadamente un 62%, mientras que la tasa de infiltración aumenta considerablemente un 235%.
- Aplicando simultáneamente zanjas de infiltración y pavimento permeable: La escorrentía disminuye aproximadamente un 70%, mientras que la tasa de infiltración aumenta considerablemente un 258%.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió el diagnóstico de los problemas de inundación en la urbanización Nueva Casarapa y la posterior elaboración de una propuesta alternativa, que permite aplicar un sistema urbano de drenaje sostenible para la disminución de caudales picos y mitigar la fallas por inundación en el sistema actual.

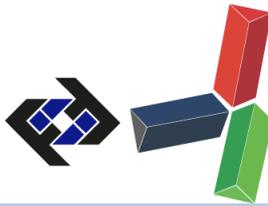
El análisis del comportamiento hidráulico mediante la modelación digital del sistema de drenaje actual ante las intensidades de lluvia para un período de retorno de 5 años, demostró que el 90% del sistema tiene una capacidad insuficiente para manejar la escorrentía superficial que se produce en las subcuencas, lo que se traduce como fallas por gastos excesivos que producen inundación en las calzadas.

Según las características de la zona de estudio, resulta factible la aplicación de zanjas de infiltración y pavimentos permeables como medidas estructurales de sistemas urbanos de drenaje sostenible, a fin de mitigar las fallas que se producen en el sistema de drenaje convencional debido al exceso de gastos de escorrentía.

Para el diseño de zanjas de infiltración y pavimento permeable resultó práctica la metodología propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, la cual presenta un procedimiento para el diseño de elementos de infiltración.

La incorporación de zanjas de infiltración o pavimentos permeables individualmente a la modelación digital del sistema de drenaje, genera disminución en la escorrentía superficial y aumento de la infiltración, mitigando hasta un 65% los niveles de inundación que se producen en el sistema de drenaje actual. Empero, se demostró que al modelar digitalmente la incorporación en conjunto de ambos elementos al sistema de drenaje actual optimiza su funcionamiento, disminuyendo en un 100% las fallas del sistema y los nodos inundados.

Los procedimientos empleados en este trabajo servirán como ejemplo de aplicación de la metodología de diseño de zanjas de infiltración y pavimentos permeables propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile e igualmente servirá como guía de procedimiento para la modelación digital de sistemas urbanos de drenaje convencional y aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) mediante el software EPA SWMM y su herramienta LID.



REFERENCIAS

- Abellán, A. (2014). *Representación de los TDUS en SWMM [En línea]*. Bogotá. [Citado: 04/05/2018]. Obtenido de <http://sudsostenible.com/representacion-de-las-tdus-en-swmm/>
- Arocha, S. (1983). *Cloacas y Drenaje*. Caracas: Ediciones Vega s.r.l.
- Dolz, J. (2007). Problemática general del drenaje de agua pluviales en zonas urbanas. En M. Gómez, *Hidrología Urbana* (págs. 5-16). Barcelona, España: Flumen.
- EPA. (1999). *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. Washington DC, EEUU: United States Environmental Protection Agency.
- Febles Domènech, M. D., Perales Momparler, S., & Soto Fernández, R. (2009). Innovación y Sostenibilidad en la Gestión de Drenaje Urbano: Primeras Experiencias de SUDS en la Ciudad de Barcelona. *Jornada de Ingeniería del Agua*. Madrid, España: CEDEX.
- Franceschi, L. (1984). *Drenaje Vial*. Caracas: Fundación Juan José Aguerrevere. Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- Hidrocasarapa. (2008). *Ubicación de pozos de agua para el nuevo desarrollo urbanístico "Camino Real"*. Guarenas.
- Instituto Nacional de Obras Sanitarias. (1975). *Normas e Instructivos para el Proyecto de Alcantarillados*. Caracas: Dirección General de Proyectos.
- Lemus, J., Sáez-Sáez, V., Oropeza, M., Siso, E., & Barrios, P. (s.f.). *Riesgos por desbordamientos e inundaciones en la cuenca del río Guarenas, estado Miranda, Venezuela*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de Terra Nueva Etapa [en línea] 2009: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72112047007>>
- Ministerio de Obras Publicas. (1967). *Manual de Drenaje*. Caracas, Venezuela: Dirección de Vialidad, División de Estudios y Proyectos.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1996). *Técnicas Alternativas para soluciones de aguas de lluvia en sectores urbanos. Guía de diseño*. Chile.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables e Instituto Nacional de Obras Sanitarias. (1979). *Manual de Drenaje Urbano*. Caracas.
- Perales, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia. *Revista Técnica del Medio Ambiente*, 92 - 104.
- Poleto, C., & Tassi, R. (2012). Sustainable Urban Drainage Systems. En P. M. Javaid, *Drainage Systems* (págs. 55-72). Rijeka, Croatia: InTech.
- Rodríguez Bayon, J., Rodríguez Hernández, J., Gómez-Ullate, E., & Castro, D. (2005). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. *Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO)*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. EPA/600/R-04/040.