



Boletín Ambiental

Fotografía aérea de la cuenca
Palogrande-Ruta 30
Sánchez y Zambrano 2017

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

164

Febrero de
2020

Propuesta de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para ciudades de montaña

Propuesta de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para ciudades de montaña

Diana Marcela Rey Valencia, Ingeniera Civil, Magíster en Recursos Hidráulicos. Investigadora del Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. dimreyva@unal.edu.co

Jeannette Zambrano Nájera, Ingeniera Civil, PhD. Profesora asociada Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. jdzambrano@unal.edu.co

Para descargar el boletín en color:

 [Http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html](http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html)

1. Introducción

El proceso de urbanización ha producido cambios en el ciclo hidrológico, como: el aumento del volumen de escorrentía, un mayor caudal pico y una respuesta hidrológica mucho más rápida; todo lo anterior produce las inundaciones pluviales, una problemática urbana mundial. Se han realizado numerosos estudios enfocados en zonas planas (Leopold, 1968), pero existe poca literatura para zonas de montaña, donde también se presentan.

En las cuencas de montaña por las altas pendientes se generan flujos muy veloces, en algunos casos impiden la entrada de la escorrentía en los sumideros a la red de alcantarillado; así mismo, las altas pendientes como reporta (Fox et al., 1997) generan la disminución en la infiltración y, por ende, el aumento de la escorrentía.

En la ciudad de Manizales ocurren inundaciones pluviales desde hace mucho tiempo, como se observa en la Figura 1. Vale aclarar que, aunque se tiene poca información registrada sobre inundaciones pluviales, la percepción de los ciudadanos indica que es una problemática que se ha venido agravando (La Patria, 2016a) (Figura 2).

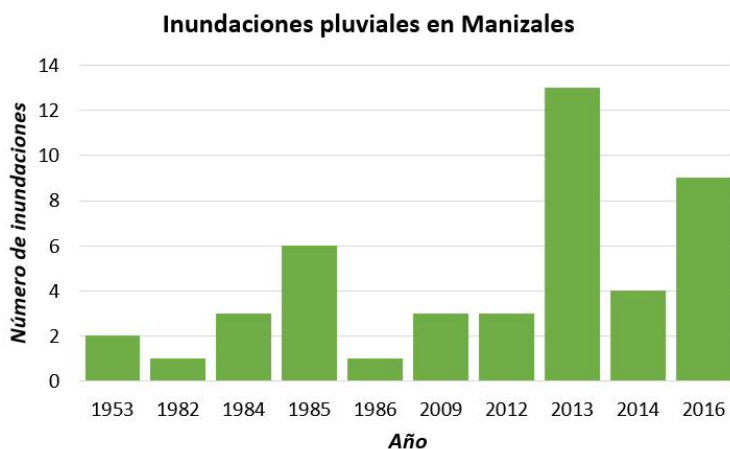


Figura 1: Inundaciones pluviales en Manizales

Fuente: Elaborado a partir de datos de La Patria, El Tiempo y Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) et al., 2016



Figura 2: Evidencia fotográfica inundación pluvial 11 abril de 2016. Izquierda: Avenida Kevin Ángel a la altura del barrio Villahermosa. Derecha: Avenida del centro, sector de las galerías
Fuente: (La Patria, 2016b)

Las inundaciones pluviales en la ciudad de Manizales se producen por el incremento de área impermeable (Aguilar Gómez, 2010); a esto se suma la alta pluviosidad en la ciudad, con una precipitación promedio anual de 2178 mm, 258 días de lluvia, 922 eventos de precipitación anuales y una marcada variabilidad espacial (Vélez et al., 2012). La problemática se agrava por las condiciones topográficas adversas, con una pendiente promedio de 21.9 y por el depósito de sedimentos y basuras en los sumideros, lo cual disminuye la capacidad hidráulica de la red. Con respecto a lo último, en Manizales, en la limpieza al año de 8600 sumideros se sacan 77 toneladas de lodo y basuras (La Patria, 2016a).

1.1. Sistemas urbanos de drenaje sostenible - SUDS-

Mundialmente, las inundaciones pluviales se han resuelto con la implementación de sistemas no convencionales o “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible” que se aplican en conjunto con la red de alcantarillado (Griffiths, 2017). Los SUDS son un conjunto de tecnologías y técnicas utilizadas para manejar la escorrentía superficial de una forma más sostenible que las soluciones convencionales (red alcantarillado), de manera que tienen como base replicar las condiciones hidrológicas anteriores al proceso de urbanización hasta donde sea posible (Fletcher et al., 2015).

El objetivo de esta investigación es evaluar los SUDS para que se adapten a las condiciones de las cuencas de montaña. El estudio se realizó como parte del desarrollo de la tesis de maestría “Propuesta de sistema de drenaje urbano sostenible para cuencas de montaña con alta pendiente”, en este artículo se presenta una parte de dicho trabajo.

Los SUDS tienen como ventajas del manejo de drenaje urbano las siguientes (Woods-Ballard et al., 2007):

- Reducen el volumen y el caudal de la escorrentía; disminuyendo así el riesgo asociado a las inundaciones pluviales.
- Favorecen la recarga natural de agua subterránea para menguar los impactos sobre los acuíferos y el caudal base de los ríos.
- Disminuyen las concentraciones de contaminantes de la escorrentía, protegiendo la calidad de agua del cuerpo receptor.
- Mejoran los servicios ecosistémicos y el valor estético de las áreas desarrolladas.

Entre las técnicas utilizadas se encuentran los siguientes tipos (Woods-Ballard et al., 2007):

- **Infiltración:** el objetivo es incrementar los volúmenes de infiltración en el suelo, por ende, se disminuye la escorrentía superficial, y restaura parte del ciclo hidrológico.
- **Atenuación:** consiste en aplicar estructuras que almacenen la escorrentía o controlen su entrada a la red, para lo cual se conserva el volumen total, se amplía la duración de la escorrentía y se disminuye el caudal pico.
- **Transporte:** se transita la escorrentía de un lugar a otro, previo al ingreso a la red por medio de canales abiertos, conductos o zanjas.

- **Captura de la escorrentía:** es la captación y uso de la escorrentía en el sitio donde se origina. El agua captada puede ser usada para fines domésticos o de irrigación y por tanto se retarda su ingreso a la red de alcantarillado.

2. Metodología

Para revisar la problemática de las inundaciones pluviales en Manizales se realizó una modelación hidrodinámica para una cuenca tipo de la ciudad con el software SWMM, por medio del cual se determinó el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado y se modelaron los SUDS. El software SWMM es un modelo numérico para la simulación del comportamiento hidrológico de la cuenca e hidráulico del drenaje urbano, se emplea tanto para diseño, rehabilitación de redes alcantarillado como para la implementación de los SUDS (Rossman, 2015).

2.1. Descripción de la zona de estudio

La cuenca piloto elegida fue la cuenca experimental Palogrande-Ruta 30 o también conocida como San Luis-Ruta 30, ubicada en el área urbana de Manizales en la parte oriental, en la región andina de Colombia (cordillera Central) (Figura 3). La cuenca tiene un área aproximada de 1 km² y una combinación de usos del suelo que en la parte alta es una zona urbana que corresponde al 70.9 % del área total y en la parte baja el 29.1 % corresponde a bosques. También presenta altas pendientes, principalmente, en la zona baja con rangos entre 1,2 % y 34,5 %. Cuenta con 4 estaciones pluviométricas y 1 estación hidrometeorológica a la salida de la cuenca, con mediciones cada 5 minutos (Suárez, 2008), y toda la red de alcantarillado vierte a la quebrada.

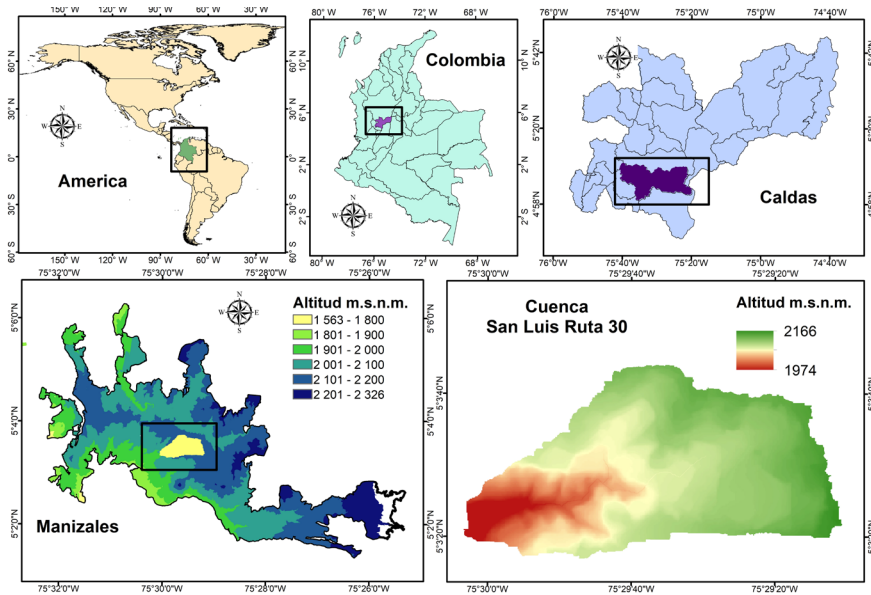


Figura 3: Localización de la zona de estudio
Fuente: adaptación de (Rey Valencia & Zambrano Nájera, 2017)

2.2. Selección de SUDS

Lo primero fue seleccionar qué SUDS se pueden aplicar para cuencas de montaña, teniendo en cuenta las limitantes:

- Falta de espacio en planta: por las altas pendientes y las zonas densamente urbanizadas no hay mucha disponibilidad de espacio.
- Infiltración no recomendable: en Manizales, otra problemática relevante es la gran cantidad de deslizamientos que se causan por los suelos finos, rellenos hidráulicos, las altas pendientes y la alta pluviosidad (Arango Gartner, 2000). No es recomendable implementar SUDS que usen mecanismos de infiltración, debido a que aumentan el riesgo de que ocurran deslizamientos.

- Altas pendientes superficiales.

En la Tabla 1 se muestran los diferentes tipos de SUDS para los que se evaluaron los tres criterios anteriores.

Los techos verdes y depósitos de lluvia se implementaron dentro del modelo validado, para evaluar la atenuación de la inundación con respecto al requisito de la normativa (disminución del caudal pico más del 25 %).

Tabla 1: Selección de SUDS

Fuentes: a (Woods-Ballard et al., 2007), b (Environmental Protection Agency-EPA-, 2014), c (Department of Environmental Protection, 2006)

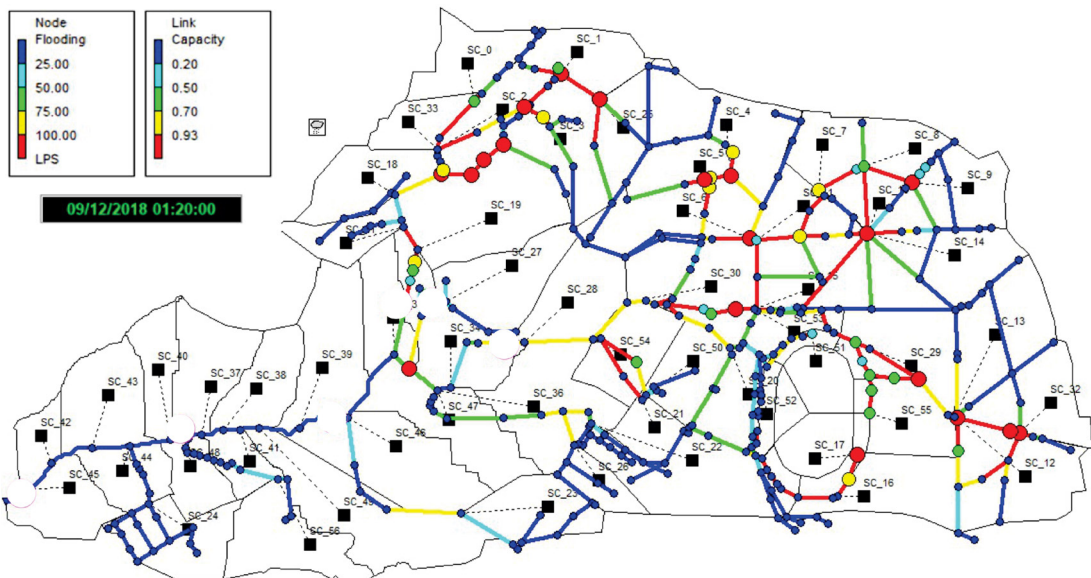
SUDS	Infiltración	Ocupación de espacio adicional	Restricción de pendiente	SUDS elegidos
Techos verdes	No	Ninguna	No	X
Cunetas verdes	Sí/No	Media	Máximo 4 % y 10 % con pequeños azudes ^a	
Depósitos de lluvia: cisternas y barril de lluvia	No	Bajo	No	X
Pavimentos porosos	Sí	Ninguna	Máximo 5 % ^b	
Sistemas de Biorretención y Jardines de Lluvia	Sí	Medio-Bajo	Máximo 6 % ^b	
Zanjas de infiltración	Sí	Medio-Bajo	Máximo 5 % ^b	
Áreas de inifiltración	Sí	Alto	Máximo 1 % para la base ^c	
Pozo seco o de infiltración	Sí	Bajo	Máximo 6 % ^b	
Estanques de retención	Sí	Alto	Aplicado en áreas planas	
Humedales de retención	Sí	Alto	Aplicado en áreas planas	
Terraplén de infiltración o desviación	Sí	Bajo	Máximo 25 % ^b	
Franja de vegetación	Sí	Medio-Alto	Máximo 33 % ^b	
Desconexión de bajantes de aguas lluvias	Sí/No	Medio	No	

3. Resultados

3.1. Análisis hidráulico

Una vez calibrado el modelo se le aplicó una precipitación tipo de duración 25 minutos y una precipitación total de 38.47 mm. A partir del análisis hidráulico se encontraron 7 zonas críticas, es decir, aquellas zonas donde ocurren inundaciones que se encuentran principalmente en la zona urbana de la cuenca. Se presentan inundaciones y conductos que entran en carga (los señalados en rojo) desde el minuto 15 hasta el minuto 35.

En el minuto 30 se presenta la condición más crítica con inundaciones en la mayor parte del área urbana de la cuenca y hacia los descoles que descargan a la quebrada San Luis-Palogrande (ver la Figura 4). La modelación mostró que las inundaciones suceden de manera rápida. Las inundaciones se presentan a partir del minuto 15 o 20 en 1 o 3 cámaras según la zona, pasando al siguiente intervalo de tiempo, minuto 25, a presentarse inundación en más de 10 cámaras (Figura 4). La falta de capacidad hidráulica de la red se agrava por las pendientes altas de los conductos y las cortas distancias de ingreso a la red del alcantarillado.



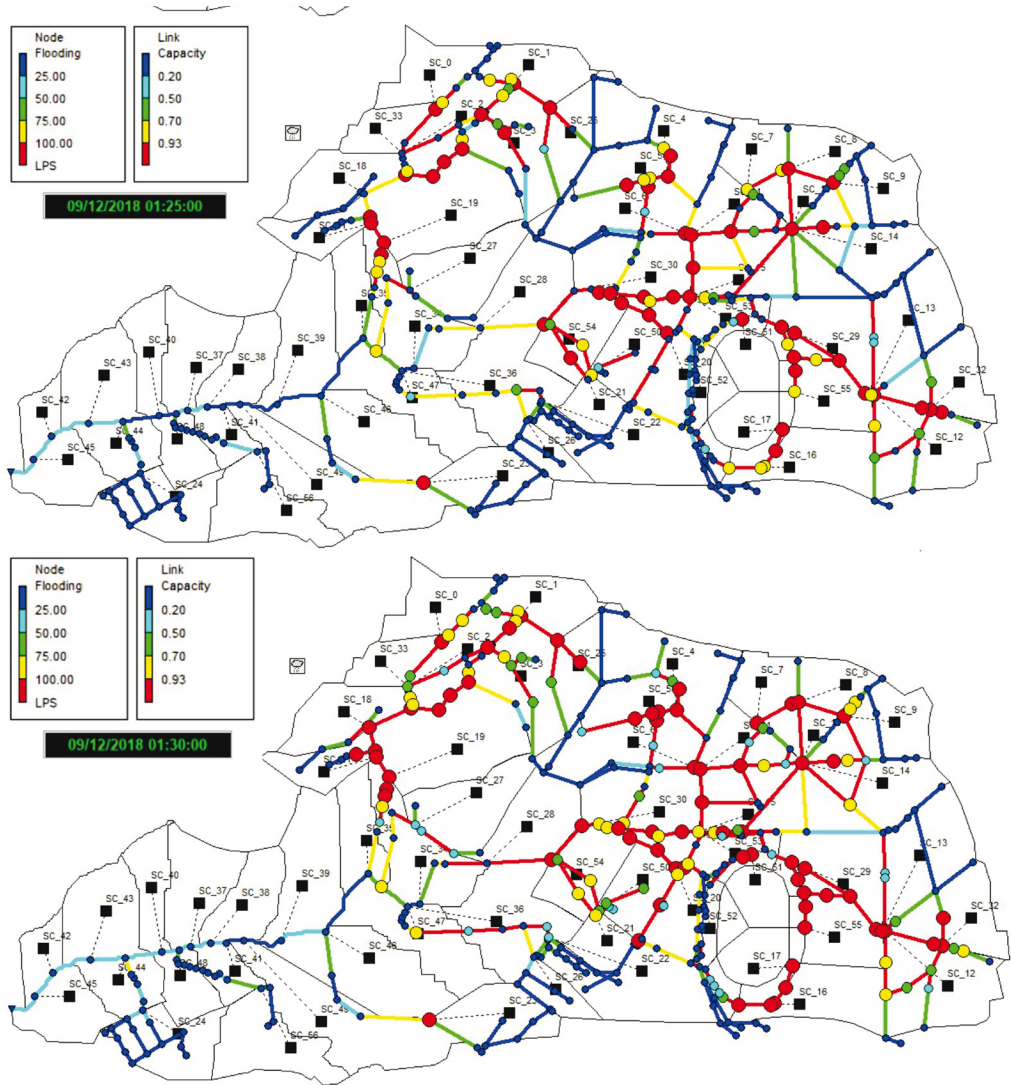


Figura 4: Comportamiento hidráulico para el minuto 20, 25 y 30 de la lluvia de diseño

3.2. Aplicación de los SUDS

Para aplicar los SUDS se seleccionó la zona más crítica de la cuenca según las velocidades de flujo, es decir, la zona con los conductos de mayor pendiente. En la zona seleccionada las inundaciones se presentan desde el minuto 20 hasta el 35, especialmente, en aquellos conductos con pendientes mayores o iguales al 10 %.

Para seleccionar los depósitos de lluvia se analizó la disponibilidad de espacio, y según esto, se eligieron dos tipos de depósitos: barriles de lluvia y cisternas (ver Figura 5), los que se determinaron según modelos comerciales disponibles en Manizales, por lo que se tomó una cisterna de volumen 10 000 l y un barril de lluvia de 1100 l.

Los barriles de lluvia se pueden aplicar en cualquier área por su diámetro pequeño, mientras que para las cisternas se necesita un área mayor en planta, de manera que se pudieron implementar en la zona estudiada 9 cisternas y 74 barriles.

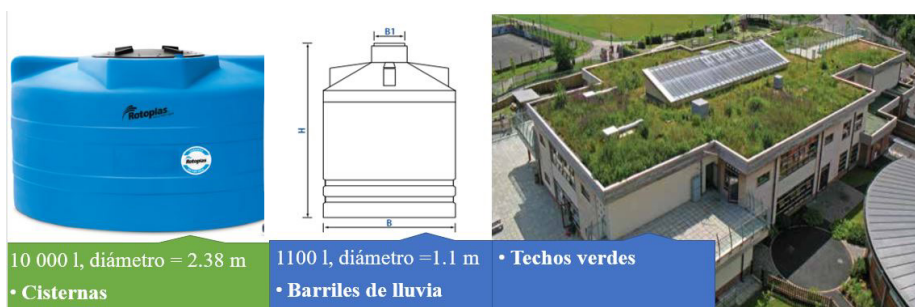


Figura 5: SUDS aplicados dentro del modelo

Fuente: adaptado de (Rotoplas, 2018) (PAVCO, 2014) (Woods Ballard et al., 2015)

En lo referente a los techos verdes se tienen dos tipos: los techos verdes extensivos que son aquellos con un sustrato superficial menor a 4 pulgadas; se utilizan para grandes áreas y en techos con pendientes de hasta 30° que soporten poca carga estructural; por otro lado, los techos verdes intensivos tienen un sustrato profundo (> 4 pulgadas), se aplican en techos planos que soporten la carga estructural requerida (Wyoming Department of Environmental Quality, 2013) (Department of Environmental Protection, 2006). Se eligieron los techos verdes extensivos ya que son los que mejor se acomodan a la zona de estudio, se modelaron con una pendiente de techos del 5 % y se aplicaron en todos los techos presentes en la zona estudiada con un área total de 25 910.3 m². Los datos para este fueron obtenidos de un techo verde construido (Carson et al., 2015).

En los resultados obtenidos se observa que el rendimiento de los barriles de lluvia y las cisternas tiene una diferencia notable. La principal es la capacidad de almacenamiento ya que los barriles de lluvia tienen poca capacidad (debido a su tamaño) que oscila

entre 7.5 % y 13.9 % del valor de escorrentía, mientras que, las cisternas pueden almacenar el 100 % de la escorrentía. Los techos verdes permiten almacenar toda la escorrentía correspondiente.

Las cisternas redujeron la descarga y el volumen de inundación máxima, logrando una disminución cercana al 25 % del caudal máximo. Cuando se utilizan los barriles de lluvia se aumenta el caudal de inundación entre un 1.2 % y un 23.3 % (para 6 de 10 cámaras), para el resto de las cámaras se logra una disminución muy baja (-0.4 % a -1.6 %), no cumpliendo con la disminución establecida por la normativa.

Los techos verdes generan disminuciones en el caudal de inundación entre 12.4 % y 100 %, superiores al 25 % (valor mínimo de la normativa), exceptuando 2 de 12 cámaras.

Conclusiones

Para reducir la respuesta hidrológica rápida que se presenta en las cuencas con altas pendientes, se proponen SUDS que permitan la retención de la escorrentía para mitigar la inundación por medio de la disminución de su volumen.

Los barriles de lluvia demostraron tener un mal rendimiento, ya que son pequeños y hay poco espacio para su implementación, por lo que no logran almacenar la escorrentía generada por los techos.

Las cisternas tienen la capacidad de almacenar casi al 100 % de la escorrentía correspondiente y logran reducir los caudales punta por debajo del 25 % aunque tampoco eliminan las inundaciones totalmente.

Los techos verdes almacenan toda la lluvia, y demuestran el mejor desempeño en mitigar la inundación, logrando disminuciones superiores al 25 % establecido por la normativa. Con estos tampoco se eliminan las inundaciones presentadas, pero son una muy buena opción para mitigar los efectos de las altas precipitaciones.

4. Referencias bibliográficas

Aguilar Gómez, M. Á. (2010, May). Transformación de la estructura verde en una ciudad intermedia tropical andina caso Ecoparques Manizales = [Transformation of green structure in an intermediate tropical andean city: case Ecoparks Manizales]. Manizales: Inédito. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/1466/>

Arango Gartner, J. D. (2000). Relaciones lluvias–deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Carson, T., Keeley, M., Marasco, D. E., McGillis, W., & Culligan, P. (2015). Assessing methods for predicting green roof rainfall capture: A comparison between full-scale observations and four hydrologic models. *Urban Water Journal*, 14(6), 589–603. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1056742>

Department of Environmental Protection. (2006). *The Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual*. Commonwealth of Pennsylvania. Environmental Protection Agency-EPA- (2014). *Addressing Green Infrastructure Design Challenges in the Pittsburgh Region Steep Slopes*. Pittsburgh, Pennsylvania. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.6726&rep=rep1&type=pdf>

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 1–18. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Fox, D. M., Bryan, R. B., & Price, A. G. (1997). The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*, 80(1), 181–194. [http://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00075-X](http://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00075-X)

Griffiths, J. A. (2017). Sustainable Urban Drainage. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 403–413. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10203-9>

La Patria. (2016a). En pañales para manejar aguas lluvias en Manizales. *Manizales*. Retrieved from <http://www.lapatria.com/manizales/en-panales-para-manejar-aguas-lluvias-en-manizales-273129>

La Patria. (2016b). Lluvias encendieron alarmas en Manizales. *Manizales*. Retrieved from <http://www.lapatria.com/node/222129>

Leopold, L. (1968). *Hydrology for- Urban Land Planning -A Guidebook on the Hydrologic*. Washington: USGS 18.

PAVCO. (2014). *Manual técnico de tanques*.

Rey Valencia, D., & Zambrano Nájera, J. (2017). Hydrodynamic assessment of sewage networks in medium/high mountain watersheds case study: San Luis watershed, Colombia. In 14th IWA/IARH International Conference on Urban Drainage ICUD. Prague, Czech Republic.

Rossman, L. a. (2015). Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.1. United States Environment Protection Agency. Cincinnati: EPA. Rotoplas. (2018). Catálogo de productos. Retrieved from https://rotoplas.com.mx/rtp_resources/catalogo/catalogo_productos_rotoplas.pdf

Sánchez Trujillo, E. J., & Zambrano Nájera, J. (2017). Cálculo de la infiltración mediante el método del número de curva modificado para cuencas urbanas de alta montaña, caso cuenca experimental San Luis-Manizales, Colombia. In 4th IWA Mexico Young Water Professionals Conference (p. 849).

Suárez, J. N. (2008). Propuesta metodológica para el estudio del proceso lluvia escorrentía en cuencas urbanas de ciudades de media montaña andina. Caso de estudio: cuenca experimental quebrada San Luis, Manizales - Caldas. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

UNISDR, OSSO, C., & RED, L. A. (2016). DesInventar Project - Official Website. Recuperado de <http://www.desinventar.org/es/>

Vélez, J. J., Duque, N. D., Fernández, F., & Orozco, M. (2012). Red de monitoreo climático para dar apoyo a la prevención y atención de desastres en Manizales, Colombia. In Convención Trópico (p. 12). La Habana.

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). The SUDS manual. Ciria. London: CIRIA. <http://doi.org/London C697>

Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). The SuDS Manual. London: CIRIA.

Wyoming Department of Environmental Quality. (2013). Urban Best Management Practice Manual: Conservation Practices to Protect Surface and Ground Water.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
<http://idea.manizales.unal.edu.co>
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales

Impresión: Sección de Publicaciones

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales