

## Diseño de sistema zona de bio-retención en el campus de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá<sup>1</sup>

José Fernando Higuera Osorio<sup>2</sup>, Edna Patricia Gutiérrez Lozano<sup>3</sup>, Jaime Alberto Navarro López<sup>4</sup>,  
Florinda Sánchez Moreno<sup>5</sup>, Francisco Javier Lagos Bayona<sup>6</sup>

### Resumen

**Introducción:** las ciudades requieren adaptar sus sistemas de drenaje ante los desafíos que plantean los cada vez más recurrentes eventos de inundación derivados de factores como el cambio climático, el fenómeno de urbanización, la subsidencia y los cambios en los usos del territorio. Una respuesta de adaptación consiste en estructuras complementarias (SUDS) al sistema existente que recolectan pequeñas

zonas de drenaje y del que se puedan derivar beneficios para el control de la cantidad de escorrentía, el mejoramiento de la calidad y que brinden amenidad a los espacios urbanos. Las zonas de bio-retención son un tipo de SUDS que se adapta a la ciudad de Bogotá y cumple con dichas metas. **Objetivo:** realizar el diseño geométrico de un SUDS del tipo zona de bio-retención involucrando flora nativa de la sabana de Bogotá. **Materiales y Métodos:** se

<sup>1</sup> Artículo original derivado del proyecto de investigación Diseño y prototipo de piloto de sistema urbano de drenaje sostenible – SUDS del tipo zona de bio-retención mediante el uso de especies menores de flora nativa para la implementación de la resolución conjunta 01 de abril 23 de 2019 en Bogotá DC, de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Universidad Cooperativa de Colombia y Universidad ECCI, ejecutado entre el 17 de diciembre de 2019 y el 5 de agosto 2021; Grupos de investigación: Construcción y gestión en arquitectura-CYGA (Unicolmayor), Patrimonio construido: Texto y Contexto (Unicolmayor), Grupo de investigación en gestión ambiental y desarrollo sostenible – GADES (U ECCI), Automatización industrial (UCC) ; Financiado por la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Universidad Cooperativa de Colombia y Universidad ECCI.

<sup>2</sup> MSc Human Settlements, Universidad KU Leuven, estudiante de doctorado en ciencias de la ingeniería de la Universidad Ku Leuven de Bélgica, Correo: jfhiguerao@yahoo.com / ORCID: 0000-0003-2007-1896

<sup>3</sup> Magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad de los Andes, docente-investigador y miembro del grupo Automatización industrial de la Universidad Cooperativa de Colombia, Correo: edna.gutierrezl@campusucc.edu.co  
ORCID: 0000-0001-7939-5604

<sup>4</sup> PhD en Ciencias-Biología, Universidad Nacional de Colombia, docente-investigador y miembro del grupo GADES de la Universidad ECCI, Correo: jnavarrol@ecc.edu.co / ORCID: 0000-0002-5727-9626

<sup>5</sup> Doctora en Nuevos recursos y sustentabilidad en turismo, Universidad de Salamanca, docente-investigador y miembro del grupo Patrimonio construido: Texto y Contexto de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.  
Correo: florinda.sanchez@unicolmayor.edu.co / ORCID: 0000-0001-5813-6929

<sup>6</sup> Magíster en Diseño sostenible, Universidad Católica de Colombia, docente-investigador y miembro del grupo CYGA de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Correo: flagos@unicolmayor.edu.co / ORCID: 0000-0001-8764-1510

**Autor para Correspondencia:** José Higuera: jfhiguerao@yahoo.com

Recibido: 27/05/2021      Aceptado: 10/06/2022

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

utilizó la metodología del Urban Drainage and Flood Control District -UDFCD de la ciudad de Denver, EUA en concordancia los lineamientos de la Norma Técnica Criterios para diseño y construcción de SUDS de la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. Para la selección de plantas se tuvieron en cuenta una serie de condiciones que estas deben cumplir. **Resultados:** un diseño geométrico que se adapta al espacio

disponible para el prototipo que cumple con las recomendaciones para la ciudad de Bogotá. **Conclusiones:** se propone utilizar la especie *Peperomia galioides*, la cual es una especie nativa muy común en los cerros circundantes a Bogotá que cumple con las condiciones requeridas.

**Palabras clave:** recursos hídricos, drenaje, desarrollo urbano, espacios públicos, medio ambiente.

---

### Design of the Bio-Retention Zone System in The Campus of the University Colegio Mayor of Cundinamarca, Bogotá

#### Abstract

**Introduction:** cities need to adapt their drainage systems to the challenges posed by the increasingly recurrent flood events derived from factors such as climate change, the phenomenon of urbanization, subsidence, and changes in land use. An adaptation response consists of complementary structures (SUDS) to the existing system that collect small drainage areas to control the amount of runoff, improve quality and provide amenity to urban spaces. Bio-retention zones are a type of SUDS that adapts to the city of Bogotá and meets these goals. **Objective:** make the basic design of a SUDS of the bio-retention zone type involving

native flora of the Bogotá savanna. **Materials and Methodology:** the methodology of the Urban Drainage and Flood Control District -UDFCD of the city of Denver, USA was used in accordance with the guidelines of the Technical Standard Criteria for design and construction of SUDS of the Aqueduct and Sewerage Company of Bogotá. For the selection of plants, a series of conditions that they must meet were considered. **Results:** a geometric design which adapts to the space available for the prototype that meets the recommendations for the city of Bogotá. **Conclusions:** It is proposed to use the *Peperomia galioides* species, a very common native species in the hills surrounding Bogotá that meets the required conditions.

**Keywords:** water resources, drainage, urban development, public spaces, environment.

## Desenho do Sistema Zona de Bio-Retenção no Campus da Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá

### Resumo

**Introdução:** as cidades precisam adaptar seus sistemas de drenagem aos desafios provocados pelas inundações cada vez mais recorrentes resultantes de fatores como a mudança climática, a urbanização, a subsidência e as mudanças no uso do solo. Uma resposta adaptativa consiste em estruturas suplementares (SUDS) ao já existente sistema que recolhe pequenas áreas de drenagem e das quais podem ser obtidos benefícios para o controle da quantidade de escoamento, melhoria da qualidade e amenidade dos espaços urbanos. As áreas de bio-retenção são um tipo de SUDS que se adapta à cidade de Bogotá e atende a estes objetivos. **Objetivo:** realizar o desenho

geométrico de um SUDS do tipo zona de bio-retenção envolvendo a flora nativa da savana de Bogotá. **Materiais e metodologia:** a metodologia do Urban Drainage and Flood Control District -UDFCD da cidade de Denver, EUA, foi utilizada de acordo com as diretrizes da Norma Técnica Critérios para o desenho e construção de SUDS da Empresa de Aqueduto e Esgoto de Bogotá. Para a seleção das plantas, foi levada em conta uma série de condições. **Resultados:** um desenho geométrico que se adapta ao espaço disponível para o protótipo que atende às recomendações para a cidade de Bogotá. **Conclusões:** é proposta a utilização da espécie *Peperomia galioides*, que é uma espécie nativa muito comum nas colinas vizinhas de Bogotá que preenche as condições exigidas.

**Palavras-chave:** recursos hídricos, drenagem, desenvolvimento urbano, espaços públicos, meio ambiente.

---

### Introducción

De acuerdo con la ONU (2018), en el año 2018 el 55 % de la población humana vivía en ciudades. Continuando con esta tendencia, para el año 2030 este porcentaje se estima será del 60% de la población. Como consecuencia de este rápido desarrollo urbano que han experimentado las ciudades, se ha disminuido la capacidad de absorción natural de escorrentía al haberse impermeabilizado la gran mayoría del área urbana, lo que puede provocar una alteración en los ciclos naturales de gestión de agua lluvia (Suriya & Mudgal, 2012). Dicha

condición conlleva a que la precipitación se transforme principalmente en escorrentía superficial, la cual se acumula de manera rápida, originando grandes caudales que han hecho necesaria la construcción de costosas obras de infraestructura para poder gestionar los picos de agua. Debido a las fluctuaciones asociadas al cambio climático, los picos de escorrentía han sobrepasado cualquier previsión inicial y superado la capacidad de los sistemas de drenaje existentes, lo cual según se evidencia en el aumento de la frecuencia de eventos de desbordamiento e inundación en áreas urbanas (Sañudo, 2014). Estos fenómenos provocan que

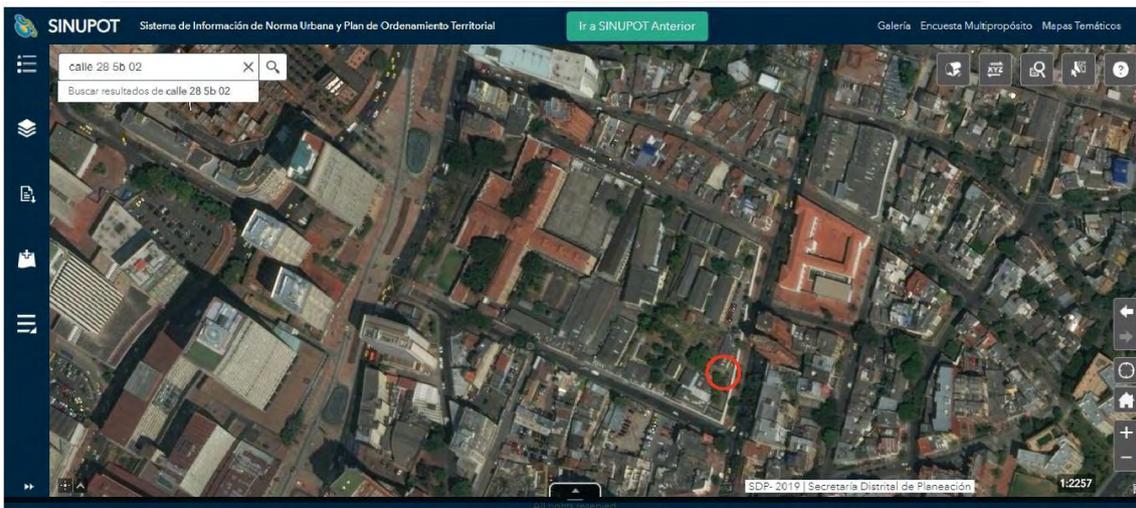
grandes inversiones en los sistemas de drenaje urbano se vuelvan insostenibles en tanto que dejan de dar respuesta a las necesidades del entorno (Stokman, 2008). En términos de calidad, la escorrentía superficial y particularmente el denominado primer lavado, pueden aportar al detrimento de la calidad de cuerpos de aguas superficiales en zonas urbanas como es el caso del río Bogotá y sus afluentes dentro de la ciudad. Para dar respuesta a esta problemática, se han desarrollado distintas tecnologías denominadas Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible- SUDS, los cuales son sistemas de drenaje complementarios para la gestión de aguas pluviales urbanas. Estas estrategias se basan en la mimetización de los ciclos hidrológicos naturales previos a los procesos de urbanización y tienen como objetivo mitigar y/o evitar inundaciones por medio de la reducción de velocidad y retención del agua de escorrentía (van Leeuwen, Awad, Myers, & Pezzaniti, 2019). Adicionalmente, pueden mejorar la calidad de agua que llega a los cuerpos hídricos urbanos, incentivar el reciclaje del agua y generar nuevos elementos paisajísticos urbanos (Boogaard, 2015), en especial cuando incluyen material vegetal. Las plantas en SUDS vegetados, como zonas de bio-retención, cunetas verdes y alcorques, son un componente muy importante ya que permiten remover contaminantes del agua y el suelo, mejorar las condiciones del suelo y protegerlo de la erosión, mantener la infiltración y en general reducir los picos de agua de las tormentas (Hunt, W. F., Lord, B., Loh, B., & Sia, A., 2015; Goh, H. W., Lem, K. S., Azizan, N. A., Chang, C. K., Talei, A., Leow, C. S., & Zakaria, N. A., 2019).

La ciudad de Bogotá cuenta con un sistema de alcantarillado que, si bien mantiene su capacidad de drenaje, también tiene zonas con alta probabilidad de inundación y encharcamiento (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental- CIIA, 2017). La necesidad de reducir las probabilidades de inundación y de sus consecuencias, así como la búsqueda de estrategias para adaptarse al cambio climático han permitido avances en la implementación de SUDS. Actualmente se han identificado 7 tipologías que son las que más se adaptan al espacio público de la ciudad y se han brindado incentivos a nivel local para la implementación en obras de infraestructura (Resolución conjunta 01, 2019, Artículo 4). El presente artículo presenta un diseño de SUDS tipo zona de bio-retención propuesto para el manejo de la escorrentía superficial de un área de captación de 88 m<sup>2</sup> en el campus de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, ubicado la zona occidental de la localidad de Santa Fe.

La caracterización de la zona de aplicación se aborda desde la escala macro en la localidad de Santa Fe (Figura 1). Esta localidad se encuentra ubicada sobre un límite de la ciudad en las estribaciones de los cerros orientales, con un área total de 4517 hectáreas de las cuales el área rural ocupa el 85 % (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017) y cuenta con la mayor densidad arbórea de la ciudad con 89 árboles por hectárea (Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2017). Dentro del área rural, veredas como Monserrate, Guadalupe y El Verjón cuentan con usos del suelo específicos para cobertura de páramo, bosque alto andino y matorrales, plantaciones forestales, pastos y cultivos

como hortalizas y papa. Debido a lo anterior, es importante destacar la función de la cobertura vegetal en Bogotá para la mejora de la calidad urbana ambiental; ya que favorece la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), producción de oxígeno, regulación natural de la temperatura, y hábitat a especies tanto animales como vegetales.

Sin embargo, la arborización se encuentra compuesta en su gran mayoría por especies foráneas, distribuidos inadecuadamente y con un estado físico y sanitario frágil (Tovar, 2006) por lo que sus servicios ecosistémicos podrían no ser los adecuados para nuestro territorio.



**Figura 1.** Ubicación del predio.

Fuente: <http://sinupot.sdp.gov.co/visor/>

En términos hidrológicos, el predio de la zona de estudio se encuentra localizado en la Unidad de Gestión de Alcantarillado (UGA) 108, entre las cuencas del río Fucha y Salitre en la subcuenca del río Arzobispo. Tiene un área aproximada de 151 hectáreas con usos residencial (50 %), comercial (37 %) y oficial (12 %) (Rojas, 2011). Por su ubicación y pendiente presenta bajo riesgo de inundación por desbordamiento (IDIGER, 2018), no obstante es altamente vulnerable a la inundación por encharcamiento con una densidad mayor a 15 eventos por Km<sup>2</sup>

(IDIGER, 2020). Cabe resaltar que el predio a intervenir se encuentra en la zona de la ciudad que conserva alcantarillado combinado (IDECA, 2020).

La zona designada para la ubicación del piloto se encuentra en la parte posterior de la oficina del programa de Construcción y Gestión de Arquitectura de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca (Figura 2). Esta fue elegida debido a la fácil recolección de la escorrentía proveniente de una cubierta adyacente y al control que se puede tener al piloto una vez construido para su monitoreo.



**Figura 2.** Localización del edificio del Programa de Construcción y Gestión en Arquitectura.

**Fuente:** Google Earth. Modificada por los autores

## Materiales y Métodos

Hunt et al. (2015) sugieren que las zonas de bio-retención deben simular las condiciones naturales de la vegetación, en donde los hábitos de arbustos y hierbas son primordiales. Estos mismos autores presentan una serie de condiciones que deben cumplir las plantas adecuadas para estos sistemas, como: buen sistema radicular, follaje denso, resistencia a la sequía (debido a que el suelo es principalmente arena) y a la inundación (durante los picos de lluvia) y soportar altas densidades de siembra. Adicionalmente, el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA, 2017) indica que las especies seleccionadas deben mejorar el aspecto estético del área a intervenir y generar un

ecosistema. Por último, es importante la selección de especies nativas que permitan la llegada de fauna y contribuyan a la conectividad de las coberturas.

Las zonas de bio-retención, al igual que otras tipologías de SUDS como los alcorques, las cuencas de drenaje y los pavimentos porosos, se dimensionan basados en un análisis hidrológico del que se deriva el denominado volumen de calidad ( $V_c$ ). (CIIA, 2017b).

El volumen de calidad  $V_c$  conlleva un balance entre el número de eventos que la estructura pueda retener y la capacidad de tratamiento de la escorrentía capturada. Esto implica que la zona de bio-retención cumpla con su función durante su vida útil,

con unos costos de construcción y operación acordes a sus beneficios. Para áreas de drenaje pequeñas, el método racional resulta conveniente para el cálculo del volumen de calidad teniendo en cuenta los coeficientes de escorrentía de la superficie de drenaje. De tal manera que el volumen de calidad se halla a través de la ecuación 1.

$$V_c = Ch_p A$$

(Ecuación 1)

Donde  $V_c$  [m<sup>3</sup>], volumen de tratamiento o de calidad;  $C$  es un coeficiente adimensional que representa la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía de acuerdo con el tipo de superficie tomados de la Norma Técnica NS 085 de la EAAB (2009);  $h_p$  [mm] es la profundidad de lluvia de diseño y  $A$  [m<sup>2</sup>] es el área de drenaje.

El valor de profundidad de lluvia de diseño  $h_p$  se obtiene del mapa de profundidad de lluvia que hace parte de los productos de la Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá (CIIA, 2017). Estos datos son el resultado del análisis de la información pluviográfica horaria y diaria de un alto número de estaciones en la ciudad de Bogotá.

Alternativamente, la Norma Técnica Criterios para diseño y construcción de SUDS (Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, 2018) propone hallar la profundidad de lluvia de diseño  $h_p$  con base en las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación más cercana. A partir de la ecuación 2 se obtiene la profundidad de

lluvia  $h_{1,2;360}$  correspondiente a un evento con periodo de retorno de 1,2 años y duración de 6 horas, este resultado se aproxima al valor de  $h_p$  por medio de la ecuación 3. De acuerdo con la Guía técnica de diseño y construcción de SUDS (CIIA, 2017), los resultados de este método tienen un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,692$  respecto a los resultados del mapa de profundidades.

$$h_{1,2;360} = \left( \frac{c(1,2)^m}{(360)^{e+f}} \right) \left( \frac{360}{60} \right)$$

(Ecuación 2)

Donde,  $c$ ,  $m$ ,  $e$ ,  $f$  son parámetros de la estación asociados al cálculo de las IDF.

$$h_p = 10,19 * \ln \ln (h_{1,2;360}) - 16,785$$

(Ecuación 3)

Una vez se obtiene el valor de volumen de calidad  $V_c$ , se procede a determinar la geometría de la estructura. De acuerdo con el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial de la ciudad de Denver, EUA (Urban Drainage and Flood Control District -UDFCD, 2015), la geometría de la zona de bio-retención se obtiene iterando el área superficial hasta cumplir con las restricciones dadas por una lámina inundable de 0,3 m de altura máxima situada en la parte superior de la estructura y una profundidad mínima del sustrato o zona filtrante de 0,46 m. El área superficial se establece de modo que tanto la zona inundable como el sustrato sean capaces de contener el  $V_c$ , teniendo en cuenta las restricciones propias del sitio.

En la parte inferior de la estructura, de no haber infiltración, se añade una zona de drenaje de mínimo 0,23 m con tuberías de 4" o 6" de diámetro perforadas con orificios

de mínimo 3/8" (0,95 cm) para evitar colmatación. De acuerdo con la Guía Técnica de Diseño y Construcción (CIIA, 2017) entre la capa de drenaje y el sustrato se recomienda una capa de agregado fino que sirva como interfase y prevenga el traspaso del sustrato al drenaje de al menos 5 cm.

### Resultados

Teniendo en cuenta las características mencionadas en la metodología, se buscó una especie nativa que cumpliera con la mayor cantidad de características deseables en sistemas de bio-retención. La especie seleccionada fue *Peperomia galioides* (Figura 3), esta es una hierba que puede alcanzar hasta 50 cm de altura y puede crecer sobre rocas y suelo (Pino 2006), (Melo, A., Guimarães, E. F., & Alves, M., 2016). Es una especie nativa, de amplia distribución en América, desde México hasta Argentina y Brasil; en Colombia se puede encontrar en la región andina desde 1300 hasta 3700 m (Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis, 2019). Es común en los cerros circundantes a Bogotá, desde ambientes con alta deficiencia de agua a sitios húmedos. Por lo anterior, puede soportar diferentes condiciones de humedad, desde sequía hasta encharcamiento. En cuanto a la parte estética, tiene tallos rojizos llamativos y en época reproductiva presenta inflorescencias de color blanco, estos dos aspectos contrastan muy bien con el color verde del follaje. Finalmente, al ser una especie nativa se espera que atraiga insectos y aves, mejorando las condiciones ambientales del entorno donde se establezca.



**Figura 3.** Ejemplar de *Peperomia galioides*

**Fuente:** Elaborado por los autores.

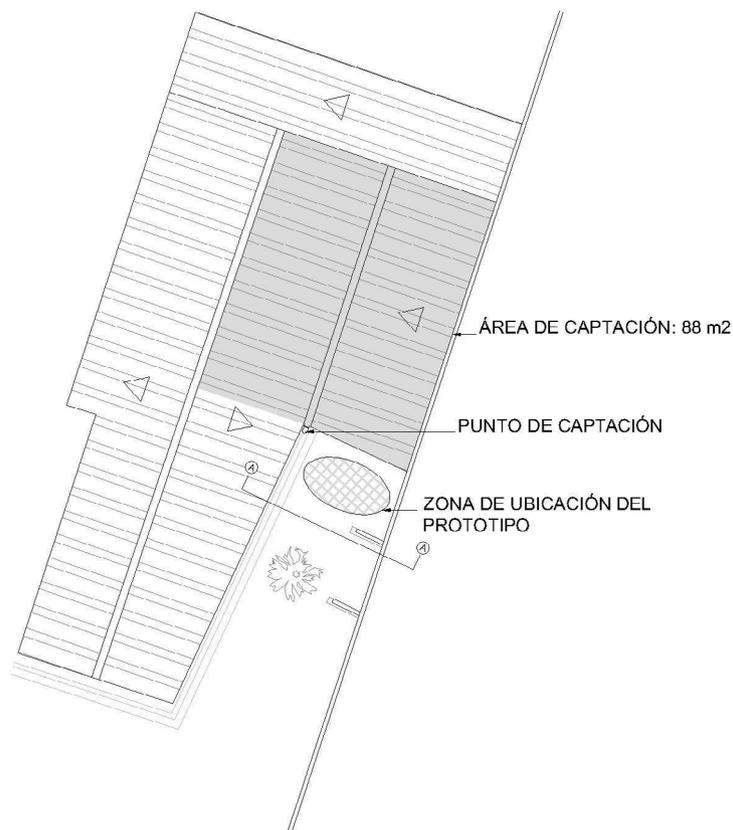
En la zona de estudio, para obtener el volumen de calidad  $V_c$  se obtuvo en primer lugar la profundidad de lluvia de diseño  $h_p$ . De acuerdo con el mapa de profundidad de lluvia que hace parte de los productos de la Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible-SUDS que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá (CIIA, 2017), el valor de  $h_p$  es de 21,533 mm, utilizando las coordenadas  $X=1001173,26$  y  $Y=1002039,58$  en el sistema MAGNA Colombia Bogotá.

Por otro lado, se obtiene la profundidad de lluvia  $h_p$  por el método de las curvas IDF de la estación pluviométrica de San Diego [21200230], ubicada a aproximadamente 210 m del punto de construcción del piloto. El resultado es una profundidad de lluvia de diseño  $h_p=21,906$  mm, con una variación del 1.73 % (0.37 mm) respecto al valor hallado por medio del mapa. Dicha similitud

es atribuible a la cercanía del punto de intervención con la estación.

Dado que es un área de drenaje pequeña de 88 m<sup>2</sup> de un único material de asbesto cemento (Figura 4), se adopta un valor de coeficiente de escorrentía **C** de 0,85 correspondiente a cubiertas (Empresa de

acueducto y alcantarillado de Bogotá, 2009) para la aplicación del método racional. De esta manera, el valor del volumen de tratamiento **V<sub>c</sub>** para la zona de bio-retención es de 1,61 m<sup>3</sup> para el valor de profundidad de lluvia obtenido del mapa y de 1,64 m<sup>3</sup> para el método de las curvas IDF.



**Figura 4.** Ubicación de la cuenca de drenaje. Cubierta de la oficina del programa de Construcción y Gestión de Arquitectura de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Fuente: Elaborada por los autores

Para mayor facilidad se estableció la zona de captación inundable con paredes verticales, de tal manera que tanto el área superficial de toda la estructura como el área del sustrato sean iguales. Para definir

el área de la base de esta zona inundable, que a su vez corresponde al área superficial del sustrato, se debe superar un área mínima recomendada para disminuir la probabilidad de colmatación que en este caso es de 1,5 m<sup>2</sup>.

Dependiendo de la altura de inundación (**d**) que se determine, se obtiene un área superficial, la cual a su vez establece la profundidad del sustrato mínima para que tanto la zona inundable como el sustrato puedan contener el volumen de calidad. En la Tabla 1 se evidencia la variabilidad de resultados de área superficial y profundidad del sustrato con distintas alturas máximas inundables. Para el sustrato se asumió una porosidad de 0,4 acorde con la composición recomendada por el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial de la ciudad de Denver, EUA (UDFCD, 2015).

**Tabla 1.** Área superficial y profundidad del sustrato de acuerdo con la profundidad máxima inundable disponible

d (m)	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Prof. Sustrato (m)
0,30	5,37	0,75
0,25	6,44	0,63
0,20	8,05	0,50

Fuente: Elaborada por los autores

En el caso de estudio, la combinación de variables de un empozamiento de 0,2 m, un área superficial de 8,05 m<sup>2</sup> y una profundidad del sustrato de 0,5m, cumple con el área mínima de 1,5 m<sup>2</sup> y produce la menor altura de la estructura. Un resumen de la propuesta general se encuentra en la Tabla 2 y en la Figura 5.

**Tabla 2.** Resumen de características de la zona de bio-retención.

Característica	Valor	Detalles
Área tributaria (A)	88 m <sup>2</sup>	Área correspondiente a una cubierta de asbesto cemento
Profundidad de lluvia de diseño (hp)	21,53 mm	Obtenida de los resultados de la Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá (CIIA, 2017)
Volumen de tratamiento (Vc)	1,61 m <sup>3</sup>	De acuerdo con el área tributaria, el coeficiente de escorrentía y la profundidad de lluvia de diseño basada en el estudio hidrológico (CIIA, 2017)
Coficiente de escorrentía (C)	0,85	De acuerdo con la Norma Técnica NS 085 de la EAAB
Área mínima sup (A <sub>min</sub> )	1,5 m <sup>2</sup>	De acuerdo con el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial (UDFCD, 2015)
Área superficial de la zona de bio-retención (As = Af)	8,05 m <sup>2</sup>	Asumiendo que las paredes son verticales para el piloto del sistema de drenaje

Característica	Valor	Detalles
Lámina inundable (d)	0,2 m	Máximo 0,3 m de acuerdo con el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial (UDFCD, 2015)
Profundidad del sustrato	0,5 m	Mínimo 0,46 m. Se utiliza 0,5 para contener el volumen de calidad
Sustrato	Suelo y materia orgánica (3-5% del peso)	Suelo: 80%-90 %: Arena 3%-17 %: Limo 3%-17 %: Arcilla
Capa de separación	0,05 m de espesor	Gravilla fina
Tubería de drenaje	4" – 6" de diámetro	Orificio de tubería de 3/8"
Capa de drenaje	0,20 m	De acuerdo con las recomendaciones de la Norma Técnica – Criterios para diseño y construcción de SUDS

Fuente: Elaborada por los autores

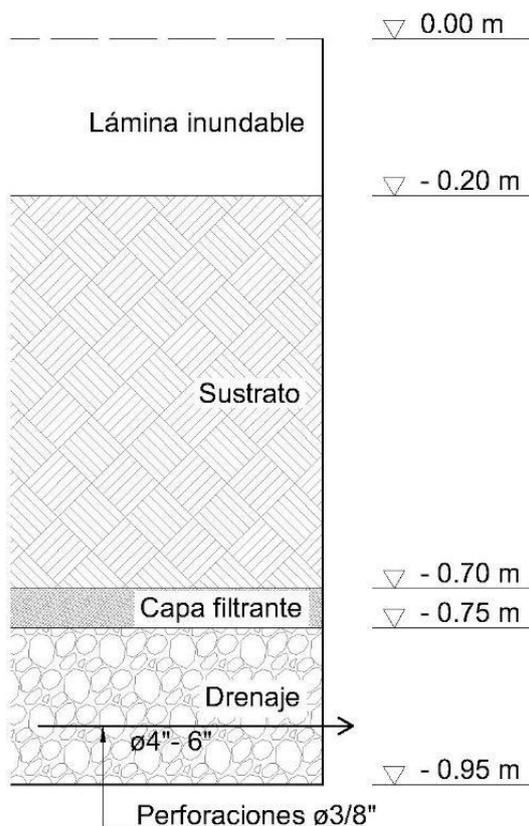


Figura 5. Corte de la zona de bio-retención

Fuente: Elaborado por los autores

## Discusión

La utilización de la especie *Peperomia galioides* en los sistemas urbanos de drenaje sostenible puede traer múltiples beneficios. En primer lugar, brinda unos servicios ecosistémicos adecuados para Bogotá, lo que facilita la transferencia y uso masivo de la tecnología en la ciudad. Así mismo, al ser una especie menor, es de fácil manejo y sus características físicas hacen que tenga un valor paisajístico. Por otro lado, encontrar nuevos usos de flora nativa puede constituir una estrategia efectiva para su conservación (Chaves, Santamaría, & Sánchez, 2007).

Respecto al dimensionamiento de la estructura, la metodología implementada pertenece a la Norma Técnica Criterios para diseño y construcción de SUDS de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que a su vez se basa en el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial de la ciudad de Denver, EUA. Esta metodología consiste en

un proceso en el cual se iteran valores de área superficial mientras que se mantienen constantes las profundidades dentro de los rangos de la Norma. El área seleccionada debe proveer un volumen suficiente en la estructura para almacenar el volumen de calidad  $V_c$  que se determinó para el área de drenaje. En comparación con otros métodos de dimensionamiento como los adoptados por las ciudades de Riverside y Charlotte en Estados Unidos, con la metodología adaptada para Bogotá se tienden a obtener áreas más pequeñas, bien sea por cambios en los rangos de profundidades recomendadas, cambios en las suposiciones de porosidad del sustrato o metas más ambiciosas en la remoción de contaminantes. Adicionalmente, cabe resaltar que debido a las diferencias entre los regímenes hidrológicos de una ciudad tropical y las ciudades de Estados Unidos para las cuáles los métodos fueron diseñados, los volúmenes y áreas de las estructuras diseñadas para Bogotá van a tender a ser más grandes.

En el presente diseño las dimensiones resultantes son adecuadas para el espacio disponible, el cual es limitado por ser un predio desarrollado con anterioridad. Dado que la metodología de diseño supone una porosidad de sustrato del 40%, es importante implementar una estructura de entrada al sistema para disipar energía y sedimentar las partículas suspendidas de mayor tamaño; lo que evita la rápida colmatación del sustrato y pérdida de capacidad de almacenamiento. Para los eventos de precipitación que superen la capacidad del diseño, se debe instalar una estructura de desbordamiento la cual permite drenar el exceso de agua escorrentía.

La utilidad de implementar este piloto de zona de bio-retención es evaluar el desempeño de la estructura con el uso de flora nativa. Por un lado, se pueden cuantificar la retención temporal de la escorrentía y los cambios en la calidad del agua mediante la comparación de los caudales e indicadores de calidad a la entrada y salida de la zona de bio-retención. Por otro lado, se deberá monitorear *in situ* el desarrollo dentro del sistema de la *Peperomia galioides* para evaluar su crecimiento, mortalidad, sanidad y reproducción.

## Conclusiones

Se presenta el diseño de un piloto de zona de bio-retención que recolecta la escorrentía de la cubierta de la oficina del programa de Construcción y Gestión de Arquitectura de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Este diseño utiliza las directrices de las Norma Técnica Criterios para diseño y construcción de Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (SUDS) de la EAAB y de su referente el Manual técnico de diseño de drenaje pluvial de la ciudad de Denver, EUA. Los resultados indican que, para el área tributaria escogida, el SUDS tipo zona de bio-retención debe tener un área de 8,05 m<sup>2</sup> con las siguientes características (Figura 5): la capa de sustrato debe tener 0,5 m de profundidad, en donde se sembrarán los individuos de *Peperomia galioides*. Entre el sustrato y el drenaje debe existir una capa separadora de 0,05 m de arena que evita la pérdida de sustrato y mantiene la capacidad del drenaje. En la parte inferior se ubica la capa de drenaje que ha de tener una altura de 0,2 m y en donde se dispone la tubería de drenaje.

El uso de la flora nativa provee servicios ecosistémicos apropiados para el contexto y aporta valor paisajístico, adicionalmente, es una oportunidad de masificar y facilitar la implantación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en Bogotá. De acuerdo con la metodología de dimensionamiento utilizada, el volumen de la estructura es suficiente para mejorar la calidad de la escorrentía sin ocupar un área considerable. En comparación con otras metodologías de dimensionamiento se obtienen volúmenes más compactos, lo cual es importante teniendo en cuenta que las altas precipitaciones requieren SUDS de mayor tamaño convirtiendo el área disponible en una restricción relevante. Para mantener la capacidad de tratamiento del volumen de diseño se requiere de estructuras anexas de entrada de sedimentación y de rebosamiento a la salida.

Con la implementación del piloto se busca evaluar los beneficios esperados de las zonas de bio-retención como la reducción de caudales pico y el mejoramiento de la calidad del agua utilizando la especie *Peperomia galioides*. Se espera que estas evidencias aporten a la aplicación de estos sistemas a gran escala y se repliquen en diferentes zonas del campus de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, en donde actualmente predominan altas velocidades y se presenta rebosamiento de los canales superficiales de drenaje que entregan a la red de alcantarillado mixto de la ciudad.

Se hacen necesarias futuras investigaciones para la optimización de este diseño mediante el uso de estructuras prefabricadas para la construcción de este piloto. Esto puede llegar

a permitir ahorrar costos de construcción y facilitar la réplica del piloto en otras condiciones de experimentación. Del mismo modo, es necesario examinar más adelante la relación de la flora utilizada con otras especies, principalmente insectos y aves.

## Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017). *Monografía De Localidades –No.3 Santa Fe*. Secretaría de Planeación. <http://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/informacion-cartografia-y-estadistica/repositorio-estadistico/monografia-localidad-de-santafe-2017%5D>
- Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.) (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Boogaard, F. (2015). *Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands*. [Tesis]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ad4cd80a8-41e2-49a5-8f41-f1efc1a0ef5d>
- Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental- CIIA. (2017). *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C.* Secretaría Distrital de

- Ambiente, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>
- Chaves, M. E., Santamaría, M., & Sánchez, E. (2007). *Alternativas para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad en los Andes de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32966>
- Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. (2009). *Norma Técnica de Servicio NS-085*. EAAB.
- Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. (2018). *Norma Técnica 166–Criterios Para Diseño Y Construcción De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible (SUDS)*. EAAB.
- Goh, H. W., Lem, K. S., Azizan, N. A., Chang, C. K., Talei, A., Leow, C. S., & Zakaria, N. A. (2019). A review of bioretention components and nutrient removal under different climates—future directions for tropics. *Environmental Science and Pollution Research*, 26. Doi: 10.1007/s11356-019-05041-0.
- Hunt, W. F., Lord, B., Loh, B., & Sia, A. (2015). *Plant selection for bioretention systems and stormwater treatment practices*. Springer.
- IDECA. (08 de junio de 2020). *Mapa de Bogotá*. <https://mapas.bogota.gov.co/#>
- IDECA. (03 de diciembre de 2020). *Mapa: Unidad de Gestión del Sistema de Alcantarillado Sanitario. Bogotá D.C. Año 2019*. <https://mapas.bogota.gov.co/?l=770#>
- IDIGER. (2018). *Amenaza por inundación en perspectiva de cambio climático* (Vol. 2). Instituto Distrital De Gestión De Riesgos Y Cambio Climático. <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/4-DOCUMENTO-TECNICO-DE-SOPORTE/Gestion%20del%20Riesgo.%20Amenazas%20inundacion%20Urbano.pdf>
- IDIGER. (03 de diciembre de 2020). *Caraterización General del Escenario de Riesgo por Inundación*. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. (2017). *Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano (SIGAU)*. <http://www.jbb.gov.co/index.php/sigau>
- Melo, A., Guimarães, E. F., & Alves, M. (2016). Synopsis of the genus *Peperomia* Ruiz & Pav. (Piperaceae) in Roraima state, Brazil. *Hoehnea*, 43 (1), 119-134. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-75/2015>
- ONU. (25 de noviembre de 2020). *2018 Revision of World Urbanization Prospects*. <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- Pino, G. (2006). Estado actual de las Suculentas en el Perú. *Zonas Áridas*, 10 (1), 155-173. <http://dx.doi.org/10.21704/za.v10i1.560>

- Resolución Conjunta 01. [Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Distrital de Planeación]. Por medio de la cual se establecen los lineamientos y procedimientos para la Compensación por endurecimiento de zonas verdes por desarrollo de obras de infraestructura, en cumplimiento del Acuerdo Distrital 327 de 2008. 23 de abril de 2019.
- Rojas, J. (2011). *Análisis de incertidumbre y esquemas de calibración de un modelo conceptual de drenaje urbano en un ambiente de escasez de recursos* [Tesis]. <http://hdl.handle.net/1992/11559>
- Sañudo, L. (2014). *Análisis de la infiltración de agua lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones*. [Tesis]. [http://observatoriagua.uib.es/repositori/suds\\_sa%C3%B1udo\\_2014.pdf](http://observatoriagua.uib.es/repositori/suds_sa%C3%B1udo_2014.pdf)
- Stokman, A. (2008). Water purificatives landscapes- Constructed ecologies and contemporary urbanisms. *Transforming with water. Proceedings of the 45th World Congress of the International Federation of Landscape Urbanism*, 51- 61. [https://www.researchgate.net/publication/228620266\\_Water\\_purificative\\_landscapes-constructed\\_ecologies\\_and\\_contemporary\\_urbanism](https://www.researchgate.net/publication/228620266_Water_purificative_landscapes-constructed_ecologies_and_contemporary_urbanism)
- Suriya, S., & Mudgal, B. (2012). Impact of the urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed- A case study. *Journal of Hydrology*, 412-413, 210- 219. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.008>
- Tovar, G. (2006). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Revista Colombia Forestal*, 187-205. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/download/3357/4867/0>
- Urban Drainage and Flood Control District -UDFCD. (2015). *Stormwater Best Management Practices en Autoedición Urban Storm Drainage Criteria Manual (Vol.3)*. Water Resources Publications, LLC. <https://mhfd.org/resources/criteria-manual-volume-3>
- Van Leeuwen, J., Awad, J., Myers, B., & Pezzaniti, D. (2019). Introduction to Urban Stormwater: A Global Perspective. En V. Jegatheesan, A. Goonetilleke, & J. van Leeuwen, *Urban Stormwater and Flood Management: Enhancing the Liveability of Cities*. Springer Nature