

# Especies de plantas nativas de Bogotá, adecuadas para zonas de biorretención

## Species of Bogotá Native Plants for Bioretention Zones

Jaime Alberto Navarro López<sup>1</sup>, Ruth Alejandra Chaparro Perilla<sup>2</sup>, José Fernando Higuera<sup>3</sup>, Francisco Javier Lagos Bayona<sup>4</sup>, Florinda Sánchez Moreno<sup>5</sup> y Edna Patricia Gutiérrez<sup>6</sup>

### Resumen

Las aguas de escorrentía de la ciudad pueden contener una carga contaminante importante y son dispuestas en los sistemas de drenaje sin tratamiento. Para contrarrestar esta problemática se pueden emplear los sistemas de biorretención, una tipología de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). En estas tecnologías el uso de plantas es fundamental, sin embargo, no se conocen las especies que puedan ser empleadas para este fin. El objetivo de este trabajo es definir un grupo de especies nativas que puedan ser probadas en zonas de biorretención. Para lograr este objetivo, fueron consultados los registros de herbario de tres zonas de Bogotá con diferentes niveles de precipitación y se evaluaron 12 criterios de selección: presencia en los sitios evaluados, valor estético, seguridad, maleza, soporte a la biodiversidad, endemismo y función social. Como resultado se definieron 121 especies, 10 correspondieron a árboles, 41 a arbustos o subarbustos, 9 trepadoras y 61 a hierbas. Los resultados son un primer acercamiento para comenzar a emplear especies nativas en la infraestructura verde de la ciudad, muestran el gran potencial de la biodiversidad de la región para este propósito, para mejorar la resiliencia y la adaptabilidad de la ciudad al cambio climático.

**Palabras clave:** Infiltración, Resiliencia, Servicios ecosistémicos, Sostenibilidad, Urbanismo.

### Abstract

Runoff water from cities can contain a significant amount of pollutants that are disposed of in the drainage systems without treatment. To counteract this problem, sustainable urban drainage systems (SUDS) can be used, specifically the bioretention systems. Within these technologies, the use of plants is essential, but there is not a suitable list of native species for this purpose. The objective of this research is to define a group of native species that can be implemented in bioretention zones. To achieve this objective, we used herbarium records from three areas in the city of Bogotá with different precipitation levels and 12 criteria: species must be present in the evaluated sites, aesthetic value, safety, weeds, support to the biodiversity, endemic and social function. As a result, a list of 121 species was created, and such were sorted as 10 corresponding to trees, 41 to shrubs or subshrubs, 9 climbers, and 61 to herbs. The results depict the first approach to start using native species in Bogotá's green infrastructure, and reveal the potential of local biodiversity to improve the city's resilience and adaptability to climate change.

**Keywords:** Ecosystem services, Infiltration, Resilience, Sustainability, Urban planning.

**Recepción:** 31-may-2022

**Aceptación:** 23-sep-2022

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias-Biología, Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible (GADES), Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad ECCI. Correo electrónico: jnavarrol@ecc.edu.co

<sup>2</sup>Licenciada en Biología, Programa de Biología, Universidad INCCA.

<sup>3</sup>MSc Human Settlements, estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería de la universidad KU Leuven.

<sup>4</sup>Magíster en Diseño Sostenible, Grupo de investigación CYGA, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

<sup>5</sup>Doctora en Nuevos Recursos y Sustentabilidad en Turismo, Grupo de investigación Patrimonio Construido: Texto y Contexto, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

<sup>6</sup>Magíster en Ingeniería Ambiental, Grupo de investigación Automatización Industrial, Universidad Cooperativa de Colombia.

## 1 Introducción

Desde que Bogotá comenzó a convertirse en el polo de desarrollo del país y el destino de los migrantes, ha crecido de forma desordenada y caótica, especialmente en las zonas periféricas [1]. Como resultado de este crecimiento, se dio la desaparición de gran parte de los humedales [2], la afectación a las rondas de drenajes y la impermeabilización de grandes áreas. En otras partes del mundo, el crecimiento de las zonas urbanas también ha llevado a la fragmentación de ecosistemas estratégicos para el funcionamiento de las ciudades, generando problemáticas como la contaminación del agua, pérdida de resiliencia o pérdida de servicios ecosistémicos, entre otros [3]. Por lo anterior, es frecuente encontrar muchas zonas de la ciudad en donde se presentan fenómenos de encharcamiento o inundaciones [4, 5], sumado a la posible afectación de los procesos de recarga de acuíferos subterráneos [6, 7]. Adicionalmente, las aguas de escorrentía pueden llevar grandes cargas contaminantes orgánicas o de metales pesados que van a parar directamente a los sistemas de drenaje [7, 8, 9], especialmente en zonas industriales [10, 11]. A pesar de contar desde la década de los 90 con legislación que promueve la conservación de áreas naturales de la ciudad, como los humedales, cerros orientales, rondas de ríos y quebradas [12], es necesario recuperar la capacidad hidráulica de la misma para manejar los picos de lluvia y devolver estas aguas en mejores condiciones a los drenajes naturales. Como una forma de corregir estas deficiencias se comenzó a desarrollar desde 1990 en EEUU diferentes alternativas para mejorar el manejo de las aguas lluvias y la calidad de estas [13], este tipo de tecnologías se conocen como sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y está conformado por diferentes tipologías, una de estas conocidas como zonas de biorretención. Estas zonas están conformadas por un sustrato de infiltración y un elemento fundamental que es la cubierta vegetal, la cual facilita este proceso, además de ayudar a descontaminar el agua, a embellecer el entorno y a evapotranspirar parte del agua que recibe [13, 14, 15, 16]. Si bien los SUDS tienen un desarrollo técnico importante [13, 17] y en el caso de Colombia se cuenta con lineamientos para su diseño

[14, 18, 19, 20], es poco lo que se sabe acerca de las especies nativas aptas para estas tecnologías [21]. De acuerdo a los manuales existentes, se recomienda que las especies empleadas en los SUDS sean nativas [22], principalmente para mejorar la infiltración y evapotranspiración del agua [21]; pero además, para mejorar la estructura ecológica, la conectividad de los ecosistemas y la resiliencia. Adicionalmente, se debe tener en cuenta su hábito, follaje, resistencia a la sequía y a las inundaciones, deben tener sistemas radiculares profundos y deben ser capaces de retener y absorber contaminantes [23], además de tener en cuenta si puede afectar a los humanos o mascotas [22]. Es importante tener en cuenta que este tipo de tecnologías pueden mejorar la infraestructura verde de la ciudad al servir de corredores entre diferentes nodos verdes, por lo que emplear especies nativas es de vital importancia para este propósito.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo definir de manera preliminar un grupo de especies adecuadas para las zonas de biorretención de la ciudad de Bogotá.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio fue la ciudad de Bogotá, la cual se encuentra ubicada en el centro de Colombia, a 2600 msnm en un valle interandino flanqueado en el oriente y sur por una cadena de montañas y hacia el norte y occidente por la Sabana de Bogotá. En esta extensa región se pueden encontrar diferentes climas, desde húmedos hasta secos. Debido a esta variabilidad climática se seleccionaron tres sitios contrastantes en cuanto a su régimen de lluvias, se buscaron sitios con baja precipitación, media y alta para tener un mejor espectro de las especies potenciales de la región. Para definir las zonas se consultó la plataforma de Mapas Bogotá de IDECA [23] y en ésta el mapa de precipitaciones anuales acumuladas. Así, la zona con mayor precipitación correspondió a los cerros orientales (precipitación 850-900 mm), la zona intermedia correspondió al sector de Cantarrana (precipitación entre 750-850 mm), y la zona con menor precipitación, el humedal de la conejera y hacienda Las Mercedes (precipitación entre 495-595

mm). Para la selección de estos sitios también se tuvo en cuenta la presencia de áreas naturales con cobertura vegetal y colecciones biológicas.

Con los sitios seleccionados se procedió a revisar las colecciones en línea de los herbarios: Jardín Botánico José Celestino Mutis “JBB” [24], Herbario Forestal Gilberto Emilio Mahecha Vega “UDBC” [25] y el herbario Nacional Colombiano “COL” [26], donde se efectuaron búsquedas por localidad con las palabras clave “Conejera”, “Mercedes” “Cantarrana” y Cerros Orientales”. Se descargaron las bases de datos o se realizaron búsquedas por especímenes, cuya información fue organizada en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis.

## 2.2 Organización y análisis de la información

Con las búsquedas recopiladas por sitio, se construyó una base de datos de las especies registradas para las tres zonas, con las cuales se seleccionaron las especies que se encontraban en los tres sitios, y en el más seco y húmedo. Posteriormente se verificaron los nombres, el hábito, su origen y rango altitudinal en la página web del Catálogo de plantas y líquenes de Colombia [27]. Con esta información se depuró la base para excluir las especies introducidas, que se encontraran por encima de 2600 msnm o pertenecientes a musgos o hepáticas (tabla 1).

**Tabla 1.** Variables empleadas para filtrar las especies evaluadas en la región de Bogotá.

Origen	Hábito	Distribución	Altitud
Nativa	Árbol	Zona más seca	Altitud Máxima
Endémica	Arbusto	Zona intermedia	Altitud Máxima
	Trepadora	Zona más húmeda	
	Hierba		
	Epífita		

Teniendo en cuenta las recomendaciones de Payne *et al.*, Radhakrisnan *et al.* y Hunt *et al.*, [17, 22, 28] respecto a la selección de especies aptas para sistemas de biorretención o infraestructura verde, se recopiló información sobre rasgos morfológicos como presencia de espinas, flores, frutos, ser una maleza y usos (ver criterios en tabla 2). Considerando la calificación de criterios propuesta por Radhakrisnan *et al.* [22] se procedió a calificar

los criterios de selección como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Criterios de selección para definir especies aptas para zonas de biorretención.

	Criterio	Valor	Descripción del criterio
Presencia en los sitios	En los tres sitios	1 o 0	sí = 1, no = 0
	En el sitio más húmedo y más seco	1 o 0	sí = 1, no = 0
Valor estético	Poco atractiva	1	No tiene flores o tiene flores y frutos pequeños
	Atractiva	2	Presenta flores llamativas, follaje llamativo o frutos llamativos.
	Muy atractiva	3	Presenta follaje, floración o fructificación muy llamativos
Seguridad	Espinas	0 o -1	sí = -1, no = 0
Maleza	Adventicia	0 o -1	sí = -1, no = 0
Soporte a la biodiversidad	Poco soporte	0	No aporta a los polinizadores
	Soporte	1	Aporta los polinizadores
	Mucho soporte	2	Aporta a los polinizadores y da alimento a aves y mamíferos
Endemismos	Endémica	0 o 1	sí = 1, no = 0
Función social	Presenta usos	0 o 1	sí = 1, no = 0

Finalmente, se realizó un análisis discriminante para ver cuáles variables aportaron más a la clasificación de las especies. Para lo cual, se empleó el programa InfoStat.

## 3 Resultados y discusión

Dentro de los SUDS, las zonas de biorretención son muy versátiles debido a que se pueden emplear en diversos sitios de una ciudad [14] dependiendo del espacio con que se cuente, adicionalmente, la disponibilidad de espacio influye en que se disponga de una única área uniforme amplia o dos tipos de áreas, con lo cual las especies pueden variar en cuanto a sus requerimientos y tolerancia al agua, así unas especies deben ser más tolerantes a inundaciones periódicas [17, 28, 29] o a un nivel freático alto (figura 1). Teniendo en cuenta lo anterior, las especies arbóreas y las arbustivas de mayor porte son adecuadas para zonas de biorretención con dos tipos de áreas (específicamente para la zona de menos

humedad) o uniformes y amplias (ver figura 1 para tipos de zonas de biorretención). Los arbustos, hierbas y trepadoras son adecuados para zonas de

biorretención uniformes o para la zona baja de una zona de biorretención con dos áreas.



**Figura 1.** A. Zona de biorretención con dos zonas, una alta con baja influencia de las inundaciones y una baja con presencia de encharcamientos. B. Zona de biorretención con una sola zona.

En el presente estudio la indagación en el herbario virtual JBB arrojó una lista con 363 registros para la zona más seca (humedal la Conejera y hacienda las Mercedes), 299 registros para la zona de humedad intermedia (Cantarrana), y para la zona más húmeda (cerros orientales) se encontraron 1132 registros. Adicionalmente, se obtuvieron nuevas listas de búsquedas del herbario forestal UDBC y del Herbario Nacional Colombiano COL, donde se encontraron 123 registros de las mismas localidades, los cuales fueron contrastados con las bases de datos iniciales. De todos los registros se consolidó

un listado de 623 especies, de las cuales, 155 se encontraban en por lo menos dos sitios. Este listado fue el que se depuró para hacer la preselección de las especies (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Listado de las especies evaluadas para ser empleadas en sistemas de biorretención con sus respectivas calificaciones.

Nombre científico	Hábito	Zona Húmeda-Seca	Tres zonas de humedad	Valor estético	Riesgo para humanos	Adventicia	Apoyo a la biodiversidad	Endémica	Usos	Calificación
<i>Morella pubescens</i>	árbol	1	0	3	0	0	2	0	1	7
<i>Abatia parviflora</i>	árbol	1	1	3	0	0	1	0	0	6
<i>Ilex kumthiana</i>	árbol	1	0	2	0	0	2	0	1	6
<i>Smallanthus pyramidalis</i>	árbol	1	0	3	0	0	1	0	1	6
<i>Varronia cylindrostachya</i>	árbol	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Vallea stipularis</i>	árbol	0	0	3	0	0	1	0	1	5
<i>Phyllanthus salvifolius</i>	árbol	0	0	2	0	0	1	0	1	4
<i>Viburnum tinoides</i>	árbol	0	0	2	0	0	2	0	0	4
<i>Viburnum triphyllum</i>	árbol	0	0	2	0	0	2	0	0	4
<i>Solanum oblongifolium</i>	árbol	0	0	1	0	0	1	0	0	2
<i>Brachyotum strigosum</i>	arbusto	1	1	3	0	0	2	1	0	8
<i>Bucquetia glutinosa</i>	arbusto	1	0	3	0	0	2	1	1	8
<i>Lycianthes lycioides</i>	arbusto	1	1	3	0	0	2	0	1	8
<i>Morella parvifolia</i>	arbusto	1	1	3	0	0	2	0	1	8
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	arbusto	1	1	3	0	0	2	0	1	8
<i>Baccharis bogotensis</i>	arbusto	1	1	3	0	0	1	1	0	7
<i>Bejaria resinosa</i>	arbusto	1	0	3	0	0	2	0	1	7
<i>Bocconia frutescens</i>	arbusto	1	0	3	0	0	2	0	1	7
<i>Hesperomeles goudotiana</i>	arbusto	0	0	3	0	0	2	1	1	7
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	arbusto	1	1	3	-1	0	2	0	1	7
<i>Lepechinia salvifolia</i>	arbusto	1	1	3	0	0	1	0	1	7
<i>Miconia squamulosa</i>	arbusto	1	0	3	0	0	2	0	1	7
<i>Solanum stellatiglandulosum</i>	arbusto	1	1	3	0	0	2	0	0	7
<i>Ageratina asclepiadea</i>	arbusto	1	0	3	0	0	1	1	0	6

Nombre científico	Hábito	Zona Húmeda-Seca	Tres zonas de humedad	Valor estético	Riesgo para humanos	Adventicia	Apoyo a la biodiversidad	Endémica	Usos	Calificación
<i>Passiflora mixta</i>	trepadora	1	0	2	0	0	2	0	1	6
<i>Passiflora tarminiana</i>	trepadora	1	0	2	0	0	2	0	1	6
<i>Passiflora tripartita</i>	trepadora	1	0	2	0	0	2	0	1	6
<i>Cyclanthera brachybotrys</i>	trepadora	1	1	1	0	0	1	0	1	5
<i>Valeriana clematitidis</i>	trepadora	1	1	1	0	0	1	0	1	5
<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i>	trepadora	1	1	1	0	-1	1	0	1	4
<i>Passiflora bogotensis</i>	trepadora	0	0	2	0	0	2	0	0	4
<i>Tripogandra multiflora</i>	trepadora	1	0	1	0	0	1	0	1	4
<i>Iresine diffusa</i>	trepadora	0	0	2	0	-1	0	0	0	3
<i>Achyrocline satureioides</i>	hierba	1	1	3	0	0	1	0	1	7
<i>Physalis peruviana</i>	hierba	1	1	2	0	0	2	0	1	7
<i>Phytolacca bogotensis</i>	hierba	1	0	3	0	0	2	0	1	7
<i>Bidens rubifolia</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Castilleja arvensis</i>	hierba	1	0	3	0	0	1	0	1	6
<i>Desmodium molliculum</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Euphorbia orbiculata</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Gaylussacia buxifolia</i>	hierba	0	0	3	0	0	2	0	1	6
<i>Gnaphalium polycephalum</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Hypochoeris sessiliflora</i>	hierba	1	1	3	0	0	1	0	0	6
<i>Peperomia galioides</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Polygonum segetum</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	1	6
<i>Ageratina gracilis</i>	hierba	1	0	2	0	0	1	1	0	5
<i>Alonsoa meridionalis</i>	hierba	1	0	3	0	0	1	0	0	5
<i>Castilleja fissifolia</i>	hierba	1	0	3	0	0	1	0	0	5
<i>Conyza bonariensis</i>	hierba	1	1	2	0	-1	1	0	1	5
<i>Cuphea ciliata</i>	hierba	1	1	2	0	0	1	0	0	5
<i>Galium hypocarpium</i>	hierba	1	0	2	0	0	1	0	1	5

Nombre científico	Hábito	Zona Húmeda-Seca	Tres zonas de humedad	Valor estético	Riesgo para humanos	Adventicia	Apoyo a la biodiversidad	Endémica	Usos	Calificación
<i>Rhynchospora nervosa</i>	hierba	0	0	2	0	0	0	0	1	3
<i>Salpichroa tristic</i>	hierba	0	0	1	0	0	2	0	0	3
<i>Sigesbeckia jorullensis</i>	hierba	0	0	2	0	-1	1	0	1	3
<i>Stelis cassidis</i>	hierba	0	0	2	0	0	1	0	0	3
<i>Arenaria lanuginosa</i>	hierba	0	0	2	0	-1	1	0	0	2
<i>Campyloneurum densifolium</i>	hierba	0	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Dymaria cordata</i>	hierba	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Pombalia parviflora</i>	hierba	0	0	1	0	0	1	0	0	2
<i>Hydrocotyle bonplandii</i>	hierba	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Sporobolus indicus</i>	hierba	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Agrostis perennans</i>	hierba	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Bromus catharticus</i>	hierba	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Cyperus aggregatus</i>	hierba	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Danthonia secundiflora</i>	hierba	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Vulpia bromoides</i>	hierba	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Poa annua</i>	hierba	0	0	1	-1	0	0	0	0	0

Después de eliminar las especies introducidas y por fuera del rango altitudinal quedaron 121 especies, 10 correspondieron a árboles, 41 a arbustos o subarbustos, 9 trepadoras y 61 a hierbas. Sólo 34 de las especies se encontraron en los tres sitios, mostrando que estas especies están adaptadas a un amplio rango de humedad. 54 especies fueron compartidas entre la zona más húmeda y la intermedia y 77 especies fueron compartidas entre la zona más seca y la más húmeda, mostrando un potencial de especies mucho más amplio que si sólo se considerara la presencia en los tres sitios. Debido a que Cantarrana (humedad intermedia) es un sitio que lleva un proceso de recuperación relativamente reciente, es probable que muchas especies no se hayan establecido aún, por lo tanto, se realizó la valoración de las especies teniendo en cuenta dos criterios, primero que se encontraran en los tres sitios y segundo que se encontraran en el sitio menos húmedo y más húmedo.

Con la calificación, el mayor puntaje que se podría obtener era 9, sin embargo, se debe tener en cuenta que el criterio de endemismo es raro y por lo tanto el mayor puntaje que se obtuvo fue 8. Se consideraron como potenciales aquellas especies que obtuvieron un puntaje igual o superior a 6, correspondiente al tercer cuartil. Estas especies presentan las siguientes características, en general no son adventicias (98 % de las especies), no presentan riesgo para los humanos o animales (100 %), se encuentran en los tres sitios o en la zona más húmeda y seca, son estéticamente atractivas (puntaje 2), prestan soporte a la diversidad (puntaje 1) y pueden ser útiles (puntaje 1). El procedimiento de calificación permitió evidenciar que algunas especies no se encuentran en todo el rango de humedad evaluado y por lo tanto se excluyeron.

Por otro lado, el análisis discriminante mostró que la mayor cantidad de criterios que sirvieron para descartar especies que no cumplen con el puntaje se encuentran hacia el centro de los ejes (como se puede ver en la figura 2). Además, se puede apreciar que las especies descartadas se ubican principalmente hacia la izquierda del eje 1, aquí tuvieron mayor peso variables como poco soporte a la biodiversidad, adventicias, poco atractivas y que

no se encontraban en los tres sitios. En cuanto a las especies con calificaciones superiores a 6, se encuentran distribuidas del centro hacia la derecha donde las variables que más aportan a la selección son: no ser adventicia, prestar mucho soporte a la biodiversidad, ser endémica, estar en los tres sitios, ser útil para los humanos y ser muy atractiva. Finalmente, se puede observar un grupo claramente definido con las especies de calificación 8 que se encuentran asociadas al eje 1 en el extremo derecho.

Entre el grupo de árboles la especie con mayor puntaje fue *Morella pubescens*, seguida de *Abatia parvifolia*, *Ilex kunthiana*, *Smalanthus pyramidalis* y *Varronia cylindrostachya*, todas con flores, frutos o follaje llamativo, mucho soporte a la diversidad y útiles para las personas. Las especies restantes no se encontraron en los tres sitios, por lo que se esperaba que fueran menos resistentes a los cambios en los niveles de humedad. Este grupo de especies se pueden emplear en zonas de biorretención que presenten poca influencia de los encharcamientos o que permitan el desarrollo de la raíz y no interfieran con el mobiliario.

Dentro del grupo de los arbustos y subarbustos, 22 especies tuvieron los mayores puntajes (tabla 3), pero una de estas no se tendrá en cuenta debido a que no se encontró en los tres sitios. Entre las especies que se deben resaltar tenemos a *Brachyotum strigosum*, *Bucquetia glutinosa*, *Lycianthes lycioides*, *Morella parvifolia* y *Myrcianthes leucoxylla* con los mayores puntajes. Estas especies al igual que los árboles se pueden emplear en zonas de biorretención A o B.

Para el grupo de las trepadoras, las especies pertenecientes al género *Passiflora* fueron las mejor calificadas, sin embargo, se debe tener precaución con *Passiflora tripartita* que ha sido catalogada como potencialmente invasora en humedales de Bogotá y puede llegar a matar árboles ya establecidos debido a que cubre las copas y los ahoga [30]. Por otro lado, las pasifloras pueden ser importantes en la infraestructura verde de la ciudad ya que benefician a diferentes grupos de fauna con sus flores, hojas y frutos [31], al tiempo que ofrecen flores llamativas y frutos aprovechables por los humanos. Se debe resaltar que una de las especies con menor puntaje



cambios globales, gracias a que pueden ayudar a mantener o mejorar la conectividad ecológica [3, 37, 38]. Con el listado que brindamos aquí se pueden empezar a probar experimentalmente la resistencia de estas especies, su comportamiento con los contaminantes y su eficiencia para infiltrar y evapotranspirar, aspectos muy importantes para el funcionamiento de los SUDS. Por otro lado, la variedad de especies presentadas aquí permitirá diseñar zonas de biorretención diversas y con variedad de estratos que pueden hacer más eficiente su funcionamiento [29].

Finalmente, si bien el presente listado de especies es un insumo importante para el diseño de los SUDS, es poco probable que muchas de estas se encuentren en vivero comerciales, por lo tanto, es de vital importancia que se definan fuentes semilleras y se comiencen a desarrollar estudios de propagación, ya que es muy poco lo que se sabe de la germinación. Como indican Acero-Nitola & Cortés-Pérez [39], las especies nativas son difíciles de propagar porque en general desconocemos los mecanismos naturales que permiten la germinación de sus semillas. Adicionalmente, las especies nativas también son susceptibles a sufrir ataque de insectos en sus frutos y las tasas de germinación pueden ser muy bajas [40]. Lo anterior es importante, ya que puede limitar el uso de especies nativas por la falta de material vegetal.

#### 4 Conclusiones

En ciudades como Bogotá, que en su mayoría fue desarrollada sobre una planicie de inundación, la disposición de la escorrentía de las lluvias puede ser un problema, ya que presenta altos volúmenes y cargas contaminantes que va a parar directamente a los sistemas de drenaje. Esta problemática se puede reducir con el uso de plantas que puedan atenuar los picos de agua y atrapar los contaminantes. Nuestro estudio muestra que Bogotá tiene un gran potencial de especies nativas (121) de diferentes hábitos y con diferentes cualidades dentro de las que cabe resaltar su valor estético, funcionalidad ecológica o aporte de bienes a la sociedad. Este grupo de especies debe ser ahora probado en experimentos controlados para verificar su eficacia en la reducción de la escorrentía

y la captura de contaminantes. El uso de especies nativas puede contribuir en el futuro a mejorar la conectividad ecológica y resiliencia de la ciudad, preparándola para el cambio climático.

#### Agradecimientos

Este artículo es derivado del proyecto de investigación Diseño y prototipo de piloto de sistema urbano de drenaje sostenible – SUDS del tipo zona de bioretención 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.

#### References

- [1] C. Guzmán, y I. Arteaga, “Bogotá del crecimiento a la transformación”, *Cuaderno Urbano*, vol. 6, no. 6, p. 151-166, sep. 2007, doi: 10.30972/crn.661034.
- [2] F. Ramírez, T. L. Davenport, y J. Kallarackal, “Bogotá’s Urban Wetlands: Environmental Issues”, in *Colombia: Social, Economic and Environmental Issues*, G. Lavigne, C. Cote, Ed. Nova Science Publishers, 2013, p. 1-80.
- [3] M. A. Benedict, y E.T. McMahon, “Green infrastructure: smart conservation for the 21st century”, *Renew. Resour. J.*, vol. 20, no. 3, p. 12-17, sep.-nov. 2002.
- [4] A. M. Montenegro, “Los humedales de Bogotá un reto para la gestión pública”, (tesis de maestría), Facultad de Derecho, Universidad de los Andes, Bogotá, Col., 2013.

- [5] D .M. Sandoval Rincón, “Protected Areas in the City, Urban Wetlands of Bogotá”, *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, vol. 6, no. 11, p. 80-103, ene.-jun. 2013, doi:10.11144/Javeriana.cvu6-11.apch.
- [6] S. T. Bolaños, y D. M. Díaz-Manzano, “Ciudad-Región de Bogotá: ecosistemas y flujos”, *Revista Pre-Til*, vol. 19, p. 28-49, nov. 2008.
- [7] J. E. Grebel, S .K. Mohanty, A. A. Torkelson, A. B. Boehm, C. P. Higgins, R. M. Maxwell, K. L. Nelson, y D. L. Sedlak. “Engineered infiltration systems for urban stormwater reclamation”, *Environ. Eng. Sci.*, vol. 30, no. 8, p. 437-454, ago. 2013, doi:10.1089/ees.2012.0312.
- [8] J. Förster, “Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration”, *Water sci. Technol.*, vol. 33, no. 6, p. 39-48, mar. 1996, doi:10.2166/wst.1996.0079.
- [9] C. A. Zafra, J. Temprano, y J. I. Tejero, “Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía”, *Ing. e Investig.*, vol. 27, no. 1, p. 4-10, ene. 2007, doi:10.15446/ing.investig.v27n1.14770.
- [10] A. R. McFarland, L. Larsen, K. Yeshitela, A. N. Engida, y N. G. Love, “Guide for using green infrastructure in urban environments for stormwater management”, *Environ. Sci. Water Res. Technol.*, vol. 5, no. 4, p. 643-659, abr. 2019, doi:10.1039/C8EW00498F.
- [11] J. Milik, y R. Pasela, “Analysis of concentration trends and origins of heavy metal loads in stormwater runoff in selected cities: A review”, *E3S Web of Conferences*, vol. 44, p. 00111, jul. 2018, doi:10.1051/e3sconf/20184400111.
- [12] Acuerdo 6 de 1990. Por medio del cual se adopta el Estatuto para el Ordenamiento Físico del Distrito Especial de Bogotá, y se dictan otras disposiciones de la Alcaldía de Bogotá, y se dictan otras disposiciones, Concejo de Bogotá D.C.
- [13] A. Roy-Poirier, P. Champagne, y Y. Filion, “Review of bioretention system research and design: past, present, and future”, *J. Environ. Eng.*, vol. 136, no. 9, p. 878-889, jun. 2010, doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000227.
- [14] Universidad De Los Andes (Uniandes), “Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adaptan a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Producto 5 – Cartilla técnica de SUDS”, Bogotá, Colombia, jun. 2017.
- [15] H. W. Goh, K. S. Lem, N. A. Azizan, C. K. Chang, A. Talei, Ch. S. Leow, y N. A. Zacaria, “A review of bioretention components and nutrient removal under different climates—future directions for tropics”, *Env. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, p. 14904-14919, abr. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-05041-0.
- [16] S. S. Chen, D. C. Tsang, M. He, Y. Sun, L. S. Lau, R.W. Leung, E. S. Lau, D. Hou, A. Liu, y S. Mohanty, “Designing sustainable drainage systems in subtropical cities: Challenges and opportunities”, *J. Clean. Produc.*, vol. 280, no. 2, p. 124418, jun. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124418.
- [17] E. Payne, B. Hatt, A. Deletic, M. Dobbie, D. McCarthy, y G. Chandrasena, *Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems*, Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. Australia, oct. 2015.
- [18] M. P. Molina, L. Gutiérrez, y J. Salazar, *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte POZN*, Subdirección de Ecurbanismo y Gestión Ambiental Empresarial, Secretaría Distrital De Ambiente, Documento técnico de soporte, Bogotá, Colombia, dic. 2011.

- [19] Decreto 528 de 2014. Por medio del cual se establece el sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital, se organizan sus instancias de dirección, coordinación y administración; se definen lineamientos para su funcionamiento y se dictan otras disposiciones, Alcaldía Mayor de Bogotá.
- [20] Departamento Nacional De Planeación (DNP), “Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS”, Bogotá, Colombia, 2018.
- [21] C. D. Houdeshel, y C. A. Pomeroy, “Plant selection for bioretention in the Arid West”, in *Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City*, S. Struck, y K. Lichten, Ed., ASCE Library, United States, 2010, p. 1475-1485.
- [22] M. Radhakrishnan, I. Kenzhegulova, M. G. Eloffy, W. A. Ibrahim, C. Zevenbergen, y A. Pathirana, “Development of context specific sustainability criteria for selection of plant species for green urban infrastructure: The case of Singapore”, *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 20, p. 316-325, oct. 2019, doi: 10.1016/j.spc.2019.08.004.
- [23] Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA), “Mapas Bogotá”, [Online]. Disponible en: <https://mapas.bogota.gov.co/>
- [24] Jardín Botánico José Celestino Mutis, “Herbario en Línea”, [Online Disponible en: <http://herbario.jbb.gov.co/especimen/avanzada>]
- [25] Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad Del Medio Ambiente, “Herbario Forestal UDBC”, [Online]. Disponible en: <http://herbario.udistrital.edu.co/herbario/>
- [26] Instituto De Ciencias Naturales, Facultad De Ciencias, Universidad Nacional De Colombia, “Colecciones Científicas en Línea, Herbario”, [Online]. Disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co>
- [27] R. Bernal, S. R. Gradstein, y M. Celis, Eds. 2019. “Catálogo de plantas y líquenes de Colombia”, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, [Online]. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- [28] W. F. Hunt, B. Lord, B. Loh, y A. Sia, *Plant selection for bioretention systems and stormwater treatment practices*. Springer, Singapore, 2015.
- [29] L. Weerasundara, C. N. Nupearachchi, P. Kumarathilaka, B. Seshadri, N. Bolan, y M. Vithanage. “Bio-retention systems for storm water treatment and management in urban systems”, in *Phytoremediation*, A. Ansari, S. Gill, R. Gill, G. Lanza, y L. Newman, Ed. Springer, Cham, 2016.
- [30] A. M. Díaz-Espinosa, J. E. Díaz-Triana, y O. Vargas, Eds. *Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá*, Bogotá, D. C., Colombia, Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente, 2012.
- [31] W. S. Judd, C. S. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens, y M.J. Donoghue, *Plant systematics: a phylogenetic approach*. Sinauer Associates. Sunderland, U.S.A, 1999.
- [32] E. Calderón, *Plantas invasoras en Colombia, una visión preliminar*, Programa de Biología de la conservación, línea de especies Focales. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 2003.
- [33] C. D. Houdeshel, C. A. Pomeroy, y K. R. Hultine, “Bioretention design for xeric climates based on ecological principles” *J. Am. Water Resour.*, vol. 4, no. 6, p. 1178–1190, ago. 2012, doi: 10.1111/j.1752-1688.2012.00678.x.
- [34] E. Passeport, W. F. Hunt, D. E. Line, R. A. Smith, y R. A. Brown, “Field study of the ability of two grassed bioretention cells to reduce storm-water runoff pollution”, *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 135, no. 4, p. 505-510, ago. 2009.

- 
- [35] J. Read, T. D. Fletcher, T. Wevill, y A. Deletic, “Plant traits that enhance pollutant removal from stormwater in biofiltration systems”, *Int. J. Phytoremediation*, vol. 12, no. 1, p. 34-53, nov. 2009, doi: 10.1080/15226510902767114
- [36] E. G. Payne, T. Pham, A. Deletic, B. E. Hatt, P. L. Cook, y T. D. Fletcher, “Which species? A decision-support tool to guide plant selection in stormwater biofilters”, *Adv. Water Resour.*, vol. 113, p. 86-99, mar. 2018, doi: 10.1016/j.advwatres.2017.12.022.
- [37] T. J. Tran, M.R. Helmus, y J. E. Behm, “Green infrastructure space and traits (GIST) model: Integrating green infrastructure spatial placement and plant traits to maximize multifunctionality”, *Urban For. Urban Green.*, vol. 49, p. 126635, mar. 2020, doi: 10.1016/j.ufug.2020.126635.
- [38] K. H. Liao, S. Deng, y P. Y. Tan, “Blue-green infrastructure: new frontier for sustainable urban stormwater management”, in *Greening Cities*, P.Y. Tan, y Ch.Y. Jim, Eds., Springer, Singapore, 2017.
- [39] A. M. Acero-Nitola, y F. Cortés-Pérez, “Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica”, *Rev. Acad. Colomb. Ciencias*, vol. 38, no. 147, p. 195-205, jun. 2014, doi: 10.18257/raccefyn.76.
- [40] O. Vargas, y L. V. Pérez-Martínez, Eds., *Semillas de plantas de páramo: ecología y métodos de germinación aplicados a la restauración ecológica*, Bogotá, Colombia, Grupo de Restauración Ecológica, Universidad Nacional de Colombia, 2014.