

---

# CIUDADES SENSIBLES AL AGUA EN COLOMBIA

---

CARTILLA PARA ADAPTACIÓN  
DE ESPACIOS PÚBLICOS AL  
CAMBIO CLIMÁTICO

Marino, R., Kuller, M., Zurita, B.,  
Carrasco, L., Gosciniak, P., Kustosik,  
K., Riveros, A.



Urban  
Mapping  
Agency



Universidad del  
**Rosario**



Facultad de Estudios  
Internacionales,  
Políticos y Urbanos

Adaptar las ciudades y los espacios públicos al cambio climático es crucial, especialmente en contextos geográficos como Colombia, donde el fenómeno climático del Niño y La Niña alterará aún más los patrones de precipitaciones en las regiones de Colombia, haciendo que las poblaciones urbanas y rurales sean más vulnerables a inundaciones, deslizamientos de tierra y subida del nivel del mar, o a sequías, falta de acceso al agua e incendios forestales.

Las ciudades necesitan interactuar más armoniosamente con su entorno, especialmente en su relación con los sistemas hídricos y el ciclo urbano del agua. Actualmente, las normas de diseño de espacios públicos en Colombia no incluyen Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), como por ejemplo la captura y tratamiento del agua lluvia para su reutilización en edificaciones y en el riego de zonas verdes, desperdiciando valiosa agua potable en actividades que no lo requieren. El diseño integrado del espacio público con SBN también puede ayudar a reducir las temperaturas urbanas, especialmente en áreas densas y céntricas, y reducir los riesgos de inundación relacionados con lluvias.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de los espacios públicos para la adopción de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) y su funcionamiento en tres ciudades colombianas con diferentes altitudes, climas y morfologías urbanas: Bogotá, Bucaramanga y Cartagena. El potencial de las SBN en espacios públicos seleccionados se evaluó con modelamiento del Balance del Agua, modelamiento de idoneidad de localización de SBN usando la metodología GIS-MCDA y talleres de codiseño del espacio público con los actores del sistema del agua en las ciudades seleccionadas. Los resultados muestran que la adopción de SBN en espacios públicos y el desarrollo de lineamientos de diseño urbano para su implementación y evaluación, puede ser una estrategia valiosa para preparar nuestras ciudades al cambio climático y brindar un mejor soporte a los servicios ecosistémicos urbanos en Colombia.



Barrio Getsemani, Cartagena, 2023

## DEPÓSITO LEGAL

### Ciudades Sensibles al Agua en Colombia

Cartilla para adaptación de espacios públicos al cambio climático.

Derechos Reservados, 2024

Como citar esta publicación:

Marino, R., Kuller, M., Zurita, B., Carrasco, L., Gosciniak, P., Kustosik, P., Riveros, A. (2023) Cartilla para adaptación de espacios públicos al cambio climático. Reporte Proyecto: Ciudades Sensibles al Agua en Colombia. Proyecto ganador de la Beca de Investigación urbana de la Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos, Universidad del Rosario, Bogotá. Edición y diagramación por Urban Mapping Agency, Colombia y el apoyo del programa Erasmus+ 2023 de la Unión Europea.



### Créditos

Este libro es producto del proyecto investigativo Ciudades Sensibles al Agua en Colombia, Cartilla para adaptación de espacios públicos al cambio climático en Bogotá y Cartagena y Bucaramanga.



**Barrio Meissen, Bogotá, 2023**

# CONTENIDO

<b>1. Sistemas Hídricos y Cambio Climático en Colombia</b>	<b>07</b>
1.1 Casos de Estudio	
<b>2. El Ciclo Urbano del Agua y los Espacios Públicos</b>	<b>15</b>
<b>3. Objetivos y preguntas de investigación</b>	<b>21</b>
<b>4. Métodos para comprender el Territorio y los Actores</b>	<b>23</b>
<b>5. Resultados balance del agua y Resultado Analisis GIS-MCDA</b>	<b>29</b>
5.1 Resultados del modelo de Balance Hídrico	
5.2 Resultado Analisis GIS-MCDA	
5.3 Resultado Modelamiento Humedales Artificiales	
<b>6.Resultados encuesta online, talleres de actores, ponderación y matrices DOFA</b>	<b>39</b>
6.1 Resultados encuesta Online a actores del sistema del agua	
6.2 Taller diseño urbano sensible al agua	
6.3 Resultados Taller Matriz DOFA	
6.4 Resultados ponderación variables	
<b>7.Recomendaciones implementación de SBN en espacio públicos</b>	<b>49</b>
7.1 Potencial de captura y reutilización del agua	
7.2 Recomendaciones para la adaptación de espacios públicos al cambio climático.	
<b>8.Integración con manuales de diseño de espacio público en Colombia</b>	<b>63</b>
8.1 Manuales de Diseño de espacio público y SUDS en Colombia	
<b>9.Visualización readaptación de espacios públicos</b>	<b>71</b>
9.1 Bogotá-Plazoleta del Rosario	
9.2 Cartagena-Barrio Boston	
9.3 Cartagena-Parque Centenario	
9.3 Bucaramanga-Parque de los Sueños	
<b>10.Cooperación Internacional para la Adaptación Climática</b>	<b>79</b>
10.1 IWA International Water Association conference Burdeos 2023	
10.2 WSCC Conference 2023, Cuenca	
10.3 Cooperación Programa ERASMUS+ Unión Europea	
<b>11. Recomendaciones y Conclusiones</b>	<b>87</b>
11.1 Recomendaciones para implementación NBS	
11.2 Conclusiones	
<b>Agradecimientos</b>	<b>93</b>
<b>Autores de la investigación</b>	<b>94</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>96</b>
<b>Lista de imágenes</b>	<b>97</b>



Barrio el Laguito, Cartagena, 2023



# **SISTEMAS HÍDRICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA**

## Sistemas hídricos y cambio climático en Colombia

Las grandes ciudades de hoy están experimentando un crecimiento exponencial como nunca antes. Para 2050, según la ONU, el 68% de la población mundial vivirá en una zona urbana (alrededor de 6,68 mil millones de personas). Colombia en particular tendrá una población urbana de 47 millones de personas para 2050, un poco menos que la población total actual del país (DANE, 2018).

Este reto nos lleva a la necesidad de revisar nuestros sistemas urbanos, no sólo para encontrar los problemas existentes y sus posibles soluciones, sino también para poder adaptarse a los cambios que trae el cambio climático con el fin de generar resiliencia urbana. Teniendo esto en cuenta, el objetivo del proyecto es evaluar el potencial de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) para adaptar nuestras ciudades al cambio climático.

Una de estas tecnologías son los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) las cuales son soluciones diseñadas para controlar y reducir los efectos negativos del agua de lluvia y el manejo de aguas en zonas urbanas. El objetivo principal de SUDS es reducir el riesgo de inundaciones reteniendo, deteniendo y controlando el flujo de agua de lluvia. Además, los SUDS también pueden ayudar a proteger la calidad del agua, mejorar el entorno urbano y aumentar la biodiversidad al proporcionar condiciones favorables para la conservación de los servicios ecosistémicos de los cuales depende nuestra supervivencia y la de la flora y fauna que nos rodea.

En la práctica, los SUDS incluyen soluciones como cubiertas verdes, drenaje subterráneo, retención de parcelas, zonas verdes con cuencas de retención natural, humedales artificiales, drenajes pluviales o riego de zonas verdes urbanas con agua de lluvia. Esta investigación evalúa el potencial de los espacios públicos para adoptar SBN y de esta forma adaptarse a los retos del cambio climático, en tres ciudades colombianas: Bogotá, Bucaramanga y Cartagena.

## 1.1 Casos de Estudio

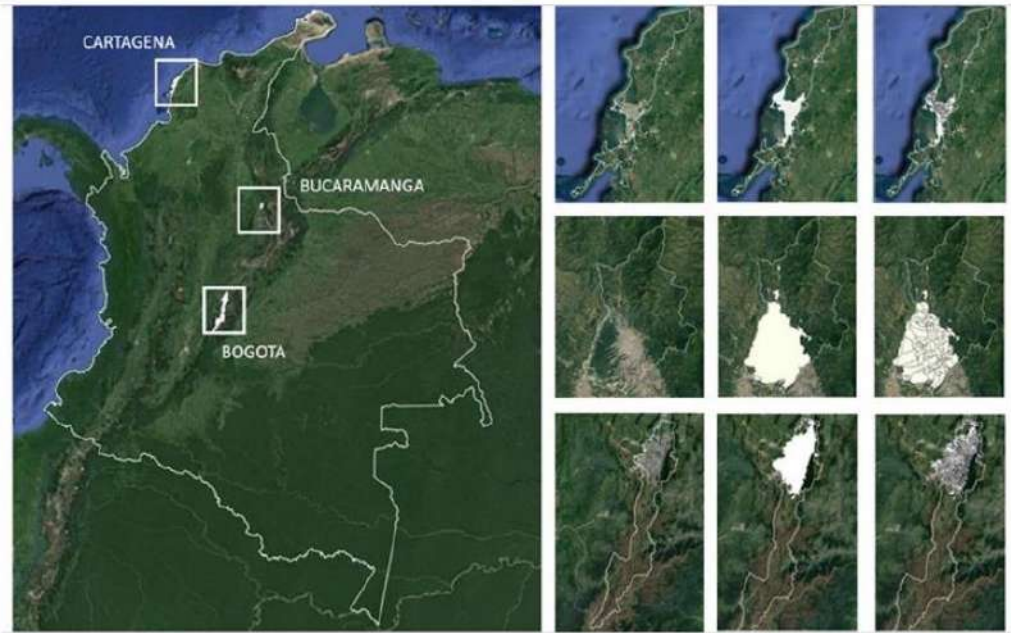


Imagen 1: Ubicación de las 3 ciudades de estudio de caso seleccionadas en Colombia (Bogotá, Bucaramanga y Cartagena)

Las ciudades de estudio fueron elegidas por ser representativas de diferentes contextos urbanos y sistemas hídricos y geográficos de Colombia, y con vulnerabilidades particulares relacionadas al cambio climático. Las ciudades seleccionadas están situadas en la costa caribe colombiana (Cartagena), el sistema montañoso de los Andes Orientales (Bucaramanga, 965 msnm.), y la sabana de Bogotá ubicada a 2600 msnm.

En cada ciudad de estudio se seleccionaron 3 espacios públicos que tuvieran potencial para la implementación de NBS. Los espacios también fueron seleccionados para representar diferentes condiciones de espacios urbanos, desde plazas centrales de la ciudad, espacios públicos en asentamientos informales y barrios con alto nivel de vulnerabilidad a riesgos asociados al cambio climático.

Los espacios seleccionados fueron

### Bogotá

- a. Plazoleta del Rosario, La Candelaria
- b. Parque Bicentario (Santa Fe)
- c. Barrio Meissen (Tunjuelito)

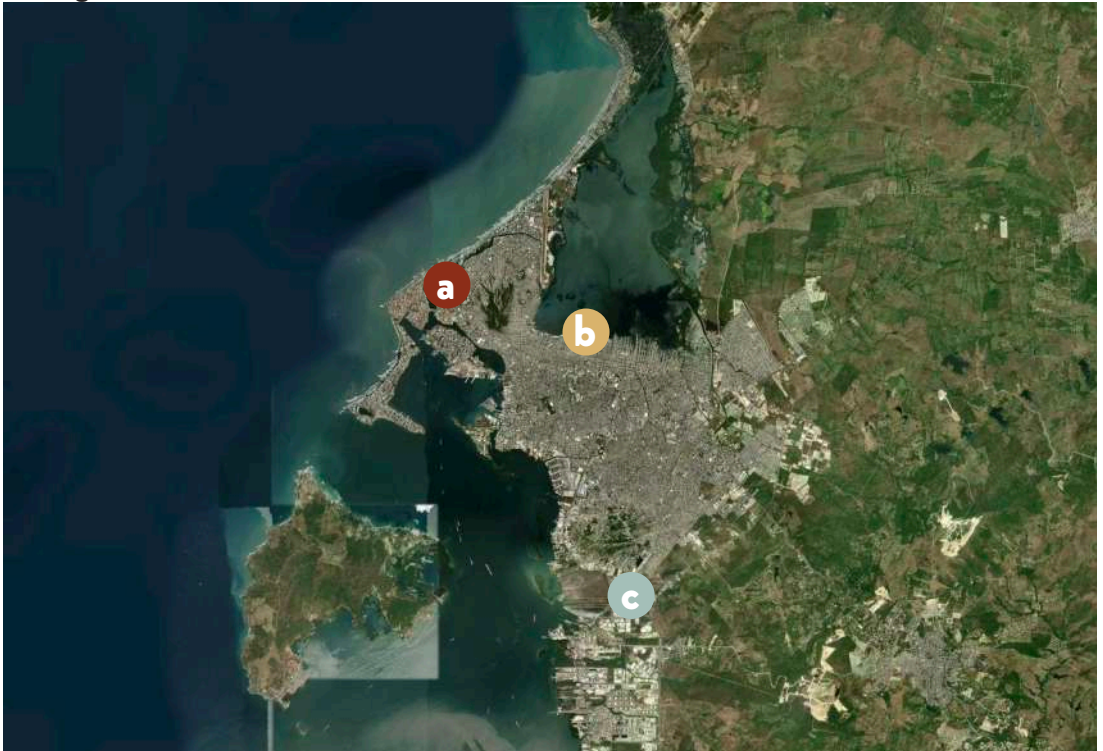
### Bucaramanga

- a. Parque de los Niños (Centro)
- b. Parque de los Sueños (Real de Minas)
- c. Parque del Río del Oro (Villas Sn. Ignacio)

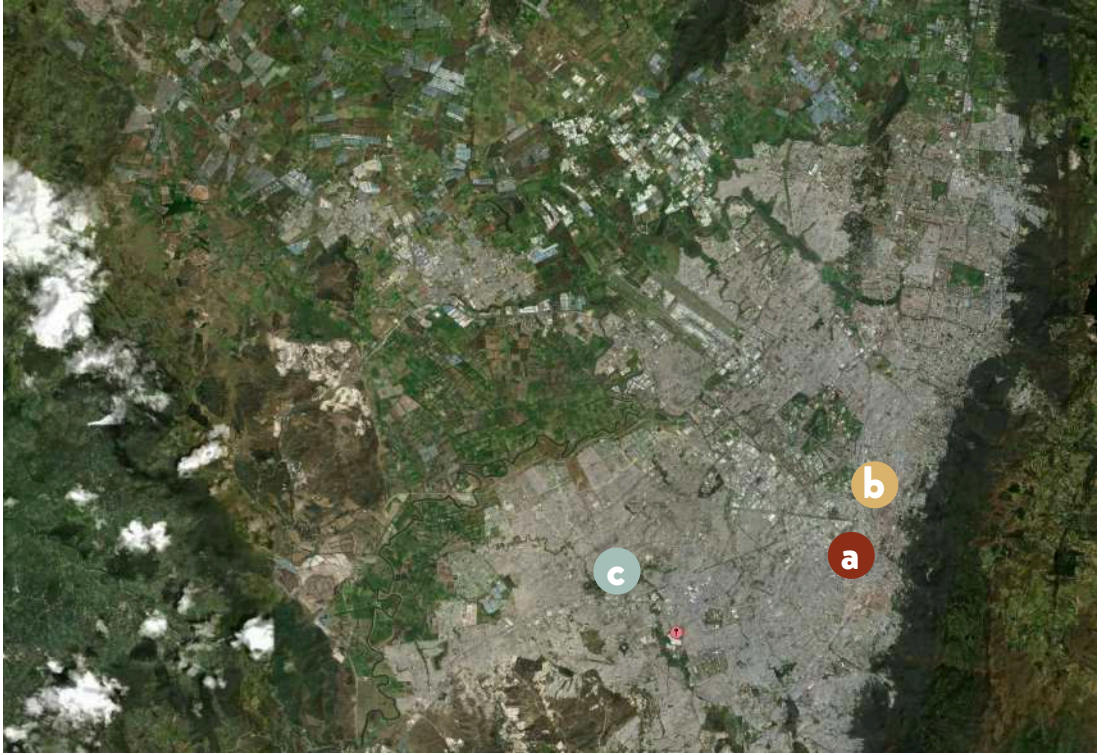
### Cartagena

- a. Parque Bicentario (Centro)
- b. Barrio Boston (Ciénaga de la Virgen)
- c. Barrio Policarpa (Zona Industrial)

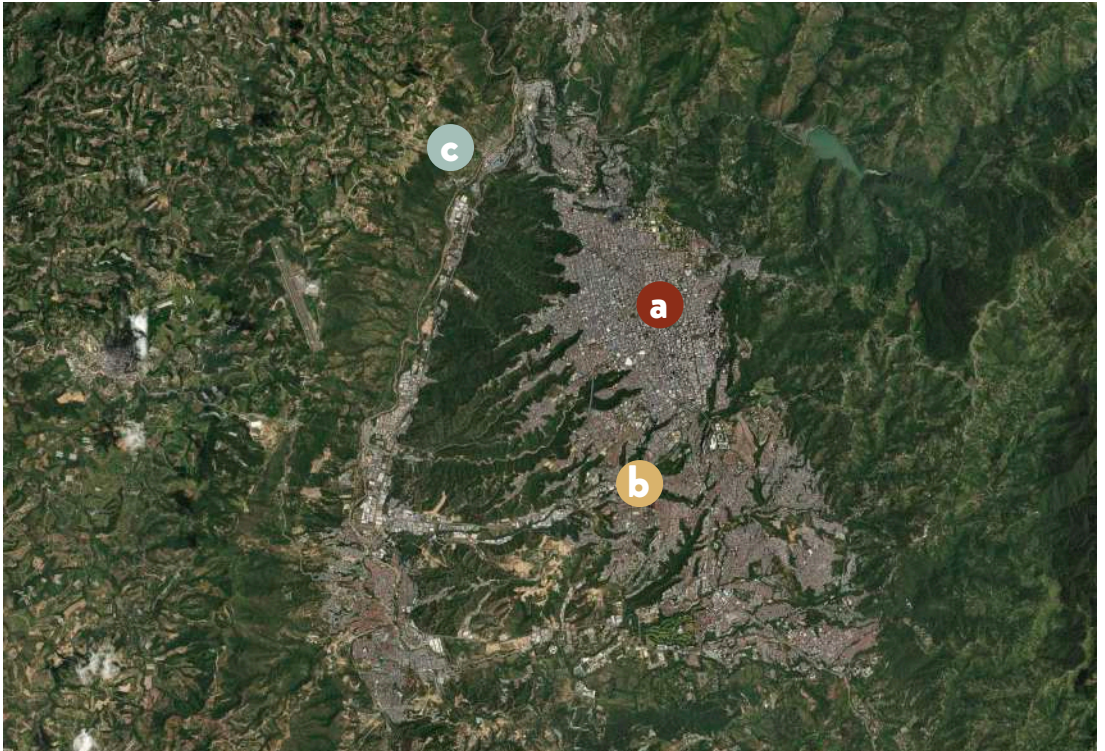
## Cartagena - Colombia



## Bogotá - Colombia



## Bucaramanga - Colombia



En la ciudad de Bogotá se han llevado a cabo proyectos pilotos de implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) de 4 tipos distintos: Bio-Zanjas, Lagunas de Captación Seca Extendida, Zanjas de Infiltración y Zanjas de Llanura de Inundación. La ciudad también cuenta con lineamientos metodológicos para la implementación del SUDS desarrollados por la academia y el sector público, artículos normativos y su implementación en el esquema de Obligaciones en los Convenios de Consulta emitidos por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). En el artículo 185 del POT 2021 “Bogotá Reverdece”, que caracteriza al SUDS, establece que *“los planes y/o proyectos parciales de desarrollo urbano que se ejecuten a través de un permiso de desarrollo deberán implementar sistemas de drenaje urbano sostenible – SUDS”*. Sin embargo, la implementación a gran escala de SUDS en la ciudad está aún pendiente, generando que el riesgo asociado a inundaciones y deslizamientos de tierra sea aún elevado.

En Bucaramanga y Cartagena, las SBN aún no han sido adaptadas en sus espacios públicos y no existen aún regulaciones acerca de su implementación. Por tal motivo, el presente estudio analiza la capacidad de los espacios públicos existentes para interactuar mejor con el ciclo urbano del agua mediante el uso de infraestructura verde orientada al agua (humedales artificiales, jardines de lluvia, recolección y tratamiento de agua de lluvia, tanques de riego). En el contexto colombiano, las tecnologías verdes antes mencionadas no se han implementado, a pesar de la alta vulnerabilidad de las ciudades aquí debido al aumento de precipitaciones provocado por el cambio climático como La Niña y el Niño, que afectará a todas las regiones de Colombia en 2023 y 2024.

La Niña es un fenómeno climático que implica un enfriamiento de la superficie del Océano Pacífico en la región ecuatorial. Suele ocurrir cada 5-6 años y dura entre 9 y 12 meses. Al igual que El Niño, La Niña afecta el tiempo y el clima en todo el mundo. En Colombia, La Niña suele estar asociada con precipitaciones inusualmente intensas, que provocan un aumento de los niveles de agua en ríos y embalses, lo que provoca inundaciones y deslizamientos de tierra, así como daños a la infraestructura, la agricultura y la pesca. En 2010, La Niña provocó inundaciones que afectaron a casi 2 millones de personas y provocaron daños por valor de unos 5.000 millones de dólares (Sánchez-Jabba, 2014). En Colombia, la ciudad de Cartagena de Indias cuenta actualmente con un Plan de Gestión Integrada del Cambio Climático (PIGCC - 4C), el cual es una hoja de ruta para lograr una Cartagena de Indias resiliente, competitiva y compatible con el clima (PIGCC, 2019). Cartagena fue la primera ciudad del país en crear una visión de largo plazo en la que el clima del futuro será una oportunidad para su desarrollo. En Colombia la mayoría de los municipios tienen zonas de riesgo con distintos grados de vulnerabilidad para las poblaciones. En estas zonas de riesgo se generan comúnmente en Colombia asentamientos informales, por lo que la gestión de riesgos juega un papel fundamental en la planeación municipal.

Las inundaciones son un fenómeno natural, de carácter histórico, y son causadas principalmente por el desbordamiento de ríos, mares, lagos, etc. También pueden generarse por lluvias, tormentas, ciclones tropicales, así como como resultado de actividades humanas como construcción en zonas

cercanas a ríos que no siguen reglas adecuadas, deforestación u otros factores (IDEAM, 2014), y el no adaptar estos espacios antropológicamente alterados nos muestra sus efectos negativos con cada vez más contundencia.

A continuación haremos una breve descripción general de los riesgos en las tres ciudades seleccionadas (Bogotá, Bucaramanga y Cartagena) haciendo énfasis en el riesgo de inundaciones, que es el más relevante para el enfoque de gestión del agua de este estudio.

Existen dos tipos de inundaciones en Bogotá: desbordamiento de embalses e inundación de zonas urbanas por agua de lluvia. El riesgo va de la mano con el aumento del caudal de los ríos por las precipitaciones anuales, y la ineficiencia e incertidumbre del sistema de drenaje natural es un factor de riesgo de inundaciones. En Bogotá la precipitación media anual es de 830,2 mm. Sin embargo, hay un aumento de unos 200 mm en 2021 respecto a 2020, un aumento exponencial y muy significativo para la gestión de riesgos en Bogotá. IDIGER sostiene que *“las principales causas asociadas a eventos de inundaciones en la ciudad están relacionadas en su mayoría con fallas funcionales del sistema de drenaje y fenómenos climáticos asociados a fuertes lluvias”*.

En el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) y su área de influencia, este es un problema importante, teniendo una área de 162 kilómetros cuadrados de terreno montañoso e irregular. El IDEAM (2015), en su documento *“Memoria descriptiva de inundaciones en Santander”* menciona que durante el período del fenómeno de La Niña, unos 1.300 kilómetros cuadrados se vieron afectados por inundaciones en Santander durante un período de 26 años. Esto muestra el alto nivel de daños causados por las inundaciones en el departamento de Santander. El área metropolitana de Bucaramanga ha experimentado repetidamente altos niveles de riesgo y pérdidas económicas y sociales. Dado lo anterior, son evidentes las graves consecuencias y desastres que este fenómeno puede seguir generando en el AMB,.

En Cartagena, las inundaciones por desbordamiento de desagües y elevación del nivel del mar son el fenómeno de mayor riesgo y recurrencia, así como las inundaciones relacionadas con el aumento del nivel del mar. El sistema de drenaje pluvial de la ciudad es obsoleto y se ve afectado por el exceso de basura y escombros, la sedimentación de la escorrentía superficial, la infiltración limitada debido a las mareas altas, la invasión de agua en las áreas de reserva y los bloqueos permanentes de residuos en secciones del sistema de drenaje donde no se realiza mantenimiento, como en el barrio de estudio Boston, en Cartagena. La ciudad *“ha convivido históricamente con fenómenos climáticos que han provocado importantes impactos en su población y actividad económica en las últimas décadas”*. (Alcaldía de Cartagena de Indias, 2020). El estudio INVEMAR-MADS (2012) 2012 se identificaron cinco impactos principales del cambio climático en el distrito: inundaciones, pérdida de playas y erosión costera, pérdida del patrimonio ecológico, disminución de la pesca y aumento de las enfermedades transmitidas por mosquitos.

Las ciudades deben interactuar más armoniosamente con su contexto ambiental, especialmente en relación con los sistemas hídricos y el ciclo urbano del agua (Wong y Brown, 2013).

Actualmente, los estándares normativos de diseño del espacio público en Colombia no incluyen la implementación de herramientas de Infraestructura Azul-Verde (BGI) para la adaptación climática como el manejo del agua de lluvia para su reutilización en edificaciones y el riego de áreas verdes, sino que el recurso se desperdicia en actividades que no requieren valiosa agua potable.

El diseño integral del espacio público con SBN también puede ayudar a reducir las temperaturas urbanas, especialmente en áreas centrales densas, disminuyendo el consumo de energía de refrigeración (efecto isla de calor). Por lo tanto, la adaptación de las ciudades y espacios públicos al cambio climático es de vital importancia, especialmente en contextos geográficos como Colombia, donde el fenómeno climático La Niña/o aumentará aún más las precipitaciones o sequías en las regiones colombianas (IDEAM, 2022), aumentando la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas y rurales a las inundaciones, la erosión, los deslizamientos de tierra y el aumento del nivel del mar.



# **EL CICLO URBANO DEL AGUA Y LOS ESPACIOS PÚBLICOS**



**Barrio Policarpa, Cartagena, 2023**

## El ciclo urbano del agua y los espacios públicos.

En comparación con otras partes del mundo, la región de América Latina tiene una gran riqueza en importantes recursos naturales, incluidos agua, materias primas agrícolas, minas y fuentes de energía.

Durante mucho tiempo, estos recursos y los servicios públicos relacionados, como el agua potable, el saneamiento y el acceso a la energía, han sido un factor clave en el desarrollo socioeconómico de la región. En muchos países de América Latina, estos sectores están en el centro del esfuerzo por mejorar la calidad de vida, el desarrollo económico, la industrialización y la lucha contra la pobreza, y están también presentes en los OSD de cada país. Sin embargo, desde que ingresó al mercado global, la región ha enfrentado desafíos en la gestión de sus recursos naturales, que afectan el medioambiente, el desarrollo económico, el alivio de la pobreza y el acceso a servicios públicos necesarios para tener una buena calidad de vida.

La gestión de estos recursos se ve obstaculizada por debilidades institucionales y problemas de implementación y cumplimiento. Todo esto sucede en un contexto de constante cambio económico, social y ambiental (Jouravlev A., Matus SS, Sevilla MG, 2021). Mientras tanto, la Agenda 2030 de las Naciones Unidas ha hecho un llamado global a la acción para 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con el agua como factor común que vincula a casi todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los espacios públicos urbanos pueden relacionarse directamente con hasta 4 ODS, a saber: ODS 6 Agua limpia y saneamiento, ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles, ODS 13 Acción climática o ODS 15 Vida en Ecosistemas Terrestres.

**Una ciudad sensible al agua representa un ambicioso estado futuro de la gestión del agua en el que las estrategias de servicio garantizan la sostenibilidad, la habitabilidad, la resiliencia y la prosperidad a largo plazo (Wong, T., Rogers, B, y Brown, R, 2020).**

En Colombia, la configuración del espacio público, teniendo en cuenta también las condiciones hídricas, para cada municipio está determinada por su propio Plan de Ordenamiento Territorial, es decir, cada unidad territorial es libre de decidir qué se hace en el espacio público y cómo se regula. En consecuencia, existen discrepancias en su trazado de un municipio a otro; en el caso de las aceras, y no existe uniformidad en las regulaciones del diseño del espacio público.

Según el documento CONPES 3718 de 2012, *"en Colombia, hasta finales del siglo XX, el tratamiento del espacio público a través de instrumentos de planificación y gestión era residual, fragmentado, sin parámetros de planificación claros y sin mobiliario y equipamiento adecuados y persiste la falta de instrumentos para la planificación, organización y diseño del espacio público en las entidades territoriales y autoridades ambientales"*.

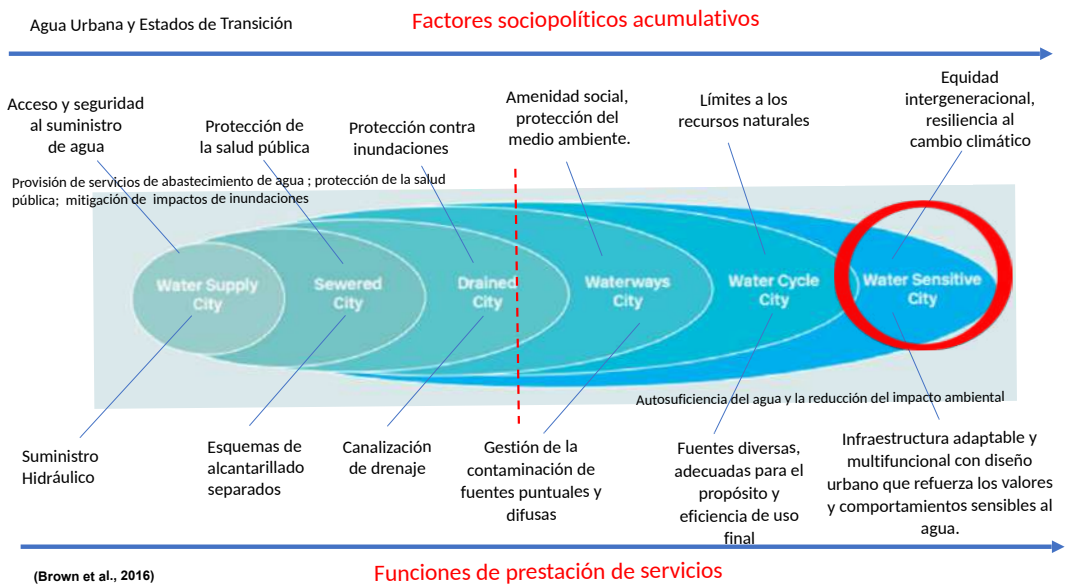
La investigación de Páramo y Burbano (2022) sobre el hábitat del espacio público en Bogotá, Colombia, aborda la satisfacción e importancia del espacio público para los residentes, encontrando que existe un bajo nivel de satisfacción con muchas de sus condiciones. Sin embargo, *"se evalúan positivamente y consideran importantes varias condiciones vividas en el espacio público, principalmente aquellas que tienen que ver con la dimensión cultural, con la posibilidad de recreación y movilización a través del uso de bicicletas en ciclorutas, aspectos en los que la administración municipal ha hecho importantes inversiones"* (Páramo & Burbano, 2022). De esta manera, el sistema del espacio público se caracteriza a partir de las experiencias de los ciudadanos y su uso de las zonas públicas.

---

Los manuales de diseño de espacios públicos existentes en algunas ciudades de Colombia no incluyen estas herramientas en sus especificaciones de diseño para espacios públicos como parques, plazas y aceras. Por lo tanto, la investigación pretende contribuir a:

- Apoyar la transición hacia ciudades más sensibles al agua
- Brindar apoyo técnico para la adopción activa de estas tecnologías en los estándares de diseño de espacios públicos en las ciudades colombianas,
- Reducir el impacto de las actividades urbanas en los servicios ecosistémicos
- Reducir la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas a los desastres naturales asociados con una mala gestión del ciclo del agua urbano.

Como base conceptual para el estudio se utilizaron los recursos de análisis de ubicación y capacidad de infraestructura verde desarrollados por el gobierno australiano en el CRC for Water Sensitive Cities, en asociación con varias universidades Australianas (Monash University, University of Melbourne, RMIT) los cuales también han sido probados en países con contextos geográficos similares a Colombia, como Indonesia (Ramírez-Lovering et al, 2018).



Gráficas Agua urbana y estados de transición (Brown et al, 2016)



**Río Tunjuelo Vereda Pasquilla, Bogotá 2023**



# **PREGUNTAS Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

El estudio se centró en evaluar el potencial de los espacios públicos existentes en ciudades de estudio de caso seleccionadas en Colombia para interactuar de mejor manera con el ciclo urbano del agua, brindando apoyo a servicios ecosistémicos vitales, que enfrentan grandes riesgos en muchas ciudades de Colombia. Por lo tanto, nuestras preguntas de investigación fueron:

**¿Cuáles son el potencial de los espacios públicos existentes para ser modernizados con Infraestructura Verde (SbN) para brindar adaptación al cambio climático en Colombia?**

**¿Cuáles son las condiciones y pasos necesarios para implementar los lineamientos de Diseño Urbano Sensible al Agua en los manuales de diseño de espacios públicos existentes en 3 ciudades colombianas seleccionadas?**

Este reporte presenta las respuestas a estas preguntas y proporciona una valiosa guía para aplicar las SbN en espacios urbanos existentes y futuros, como una manera de brindar un mejor apoyo a los servicios ecosistémicos vitales que están siendo amenazados en muchas ciudades colombianas por la urbanización y la contaminación de ríos y arroyos. en zonas urbanas.

## Objetivos

- Apoyar la transición hacia ciudades más sensibles con el agua.
- Proporcionar soporte técnico a la adopción de estas tecnologías de manera activa en las normas de diseño del espacio público de las ciudades en Colombia.
- Evaluar el potencial de las SbN para adoptar espacios públicos al cambio climático.
- Desarrollar propuestas preliminares de diseño de espacio público con NBS en las ciudades caso de estudio seleccionadas.



# **MÉTODOS PARA COMPRENDER EL TERRITORIO Y LOS ACTORES**

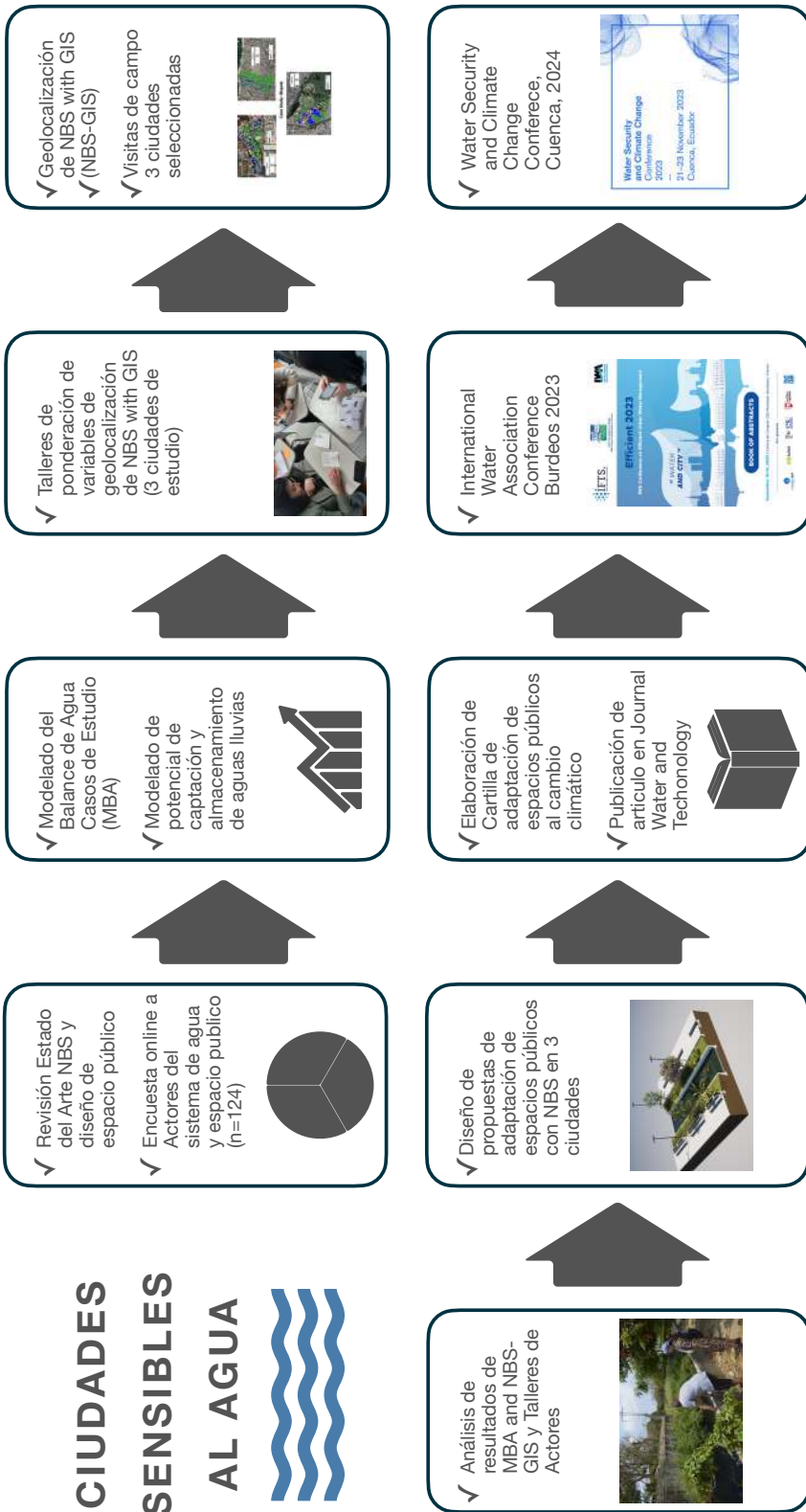
## Métodos para comprender el territorio y los actores

El proyecto siguió un enfoque de métodos mixtos (ver imagen 2):

1. Encuesta en línea a actores del sistema del agua (planificación urbana, compañías de agua y comunidades) para recopilar información sobre el estado de los sistemas de agua en sus ciudades y ponderar las variables utilizadas en el análisis GIS MCDA.
2. Un modelo de equilibrio hídrico de las áreas seleccionadas para el análisis realizado en Aquacycle,
3. Análisis de idoneidad de NBS utilizando GIS MCDA análisis para determinar la mejor localización para tipos seleccionados de NBS
4. Basado en los resultados del GIS MCDA, selección del espacio público o barrio en las 3 áreas de estudio de caso en cada ciudad
5. Visualización de la adecuación con NBS de los espacios públicos seleccionados en Bogotá, Bucaramanga y Cartagena.

Con base en la información disponible, se caracterizaron tres áreas urbanas como aptas para la ubicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en cada una de las ciudades de estudio (Bucaramanga, Cartagena y Bogotá). Para cada ciudad se seleccionó un asentamiento informal, una zona de uso mixto y un espacio público consolidado (parque) que forma parte de la estructura del espacio público.





( Proceso Metodológico investigación Ciudades Sensibles al Agua)

Los espacios públicos seleccionados fueron analizados evaluando su desempeño actual en relación con la protección de los servicios ecosistémicos y su potencial para incorporar infraestructura verde orientada al agua, y su caracterización general se llevó a cabo mediante usos urbanos y análisis geográficos derivados de datos abiertos y trabajo de campo en las zonas seleccionadas. Para el análisis del balance hídrico, se utilizó el software Aquacycle para las tres cuencas designadas (áreas urbanas). No se incluyeron la recolección de agua de lluvia ni el reciclaje de agua doméstica (fuentes descentralizadas o locales). El modelo utilizó tres conjuntos de datos: a) un perfil de uso diario del agua, basado en las prácticas de uso y consumo de los residentes de la ciudad; b) datos meteorológicos, incluidas las precipitaciones diarias y la evapotranspiración; y c) características físicas (áreas) del área urbana, correspondientes a la delimitación de áreas residenciales, viales y de espacios abiertos.

Posteriormente, se recolectó información a través de talleres de actores del sistema del agua y comunidades locales y una encuesta online semiestructuradas a actores claves en la gestión del ciclo urbano del agua (administración local, secretarías, institutos, comunidades). Esta fue la base para analizar el proceso de toma de decisiones y especificaciones de diseño de espacios públicos, y como plataforma para discutir la adopción de infraestructura verde orientada al agua en el diseño de espacios públicos en las ciudades de estudio de caso seleccionadas. Un total de 141 actores del sistema del agua en las ciudades seleccionadas respondieron la encuesta en línea y proporcionaron información valiosa para el proyecto y la ponderación de variables para el análisis GIS MCDA. (ver imagen 3).



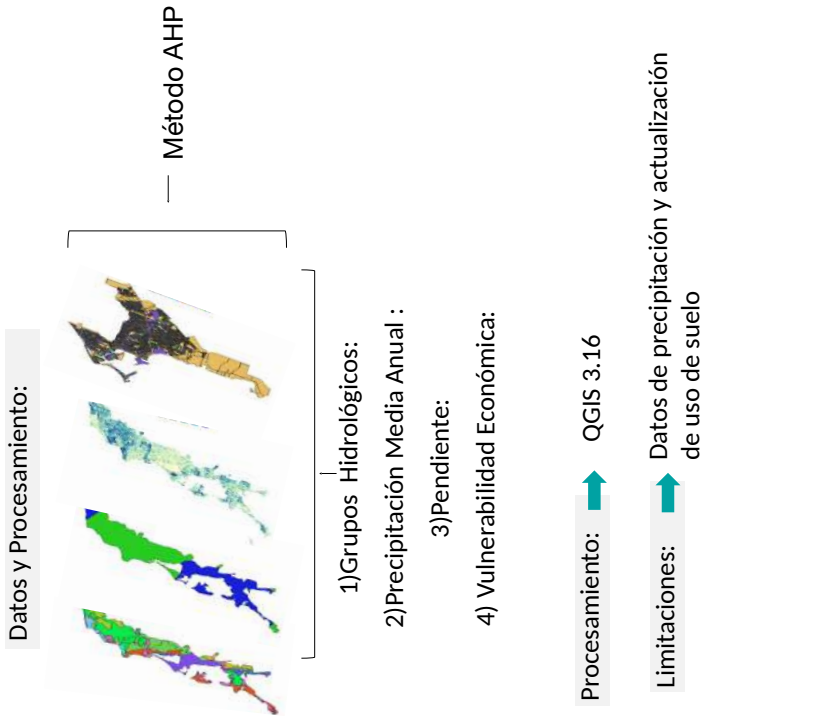
( Proceso de recolección, análisis y procesamiento de datos para el análisis GIS MCDA)

Durante los talleres del proyecto se realizaron grupos focales integrados por representantes de la administración local, representantes de las comunidades de los estudios de caso seleccionados (3 Parques en Bogotá, Bucaramanga y Cartagena), y miembros de la academia y fundaciones locales relacionados con la sostenibilidad y el agua. En este taller se realizó una ponderación de las variables para el análisis GIS MCDA, para ajustar la herramienta a las condiciones de cada caso de estudio. También se realizó una visita in situ a cada una de las zonas analizadas, a partir de la cual se generó documentación fotográfica. Se realizaron encuestas de campo en áreas residenciales, junto con entrevistas con representantes de la comunidad local.

Se utilizaron dos herramientas para identificar áreas y sitios potenciales: Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) basado en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y el uso de herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG). Ver imagen (*Identificar áreas y sitios potenciales para la implementación de SUDS*) al lado. La aplicación del AHP consistió en seleccionar criterios, evaluar el nivel de idoneidad de los criterios estimados, asignar pesos a los criterios establecidos y recopilar datos espaciales y temporales para generar mapas de idoneidad. Los pesos se asignaron en el rango de 1 a 9 según la escala de Saaty, mientras que la recolección de datos consistió en recolectar información espacio temporal mediante el procesamiento de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y el apoyo del portal de estadísticas del gobierno colombiano (DANE, 2022).

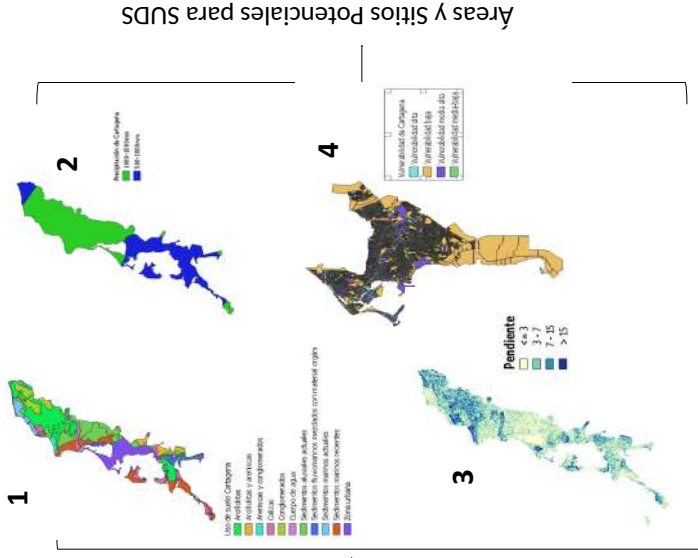
Las propuestas de diseño urbano desarrolladas en los talleres con los actores de cada ciudad permitieron explorar visualmente la implementación en espacio público de las NBS seleccionadas y el potencial de recolección, tratamiento y reutilización de agua de lluvia y aguas residuales en contextos urbanos, incluida la infraestructura azul-verde adecuada para su propósito (Ramírez et al., 2019).

# Identificar áreas y sitios potenciales para la implementación de SUDS



Evaluación de Idoneidad de Implementación de SUDS:

Elaboración de Criterios para Capas Temáticas





# **RESULTADOS BALANCE DEL AGUA Y ANALISIS GIS-MCDA**

# 5.1 Resultados del modelo de Balance Hídrico

## Balance hídrico

El balance hídrico muestra los diferentes flujos hidrológicos de entrada (P y C) y salida (ET, W y R) en las tres cuencas de estudio. También un cambio de almacenamiento ( $\Delta S$ ), que podría representar la infiltración de agua subterránea, aunque no se consideró por falta de datos. El flujo de entrada principal en la cuenca es la precipitación (86%-95%), y la mayor de este recurso se pierde como evapotranspiración (98%), siendo diferente solo para el caso de Cartagena (82%).

De acuerdo con los reportes de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) para Bogotá, se producen 265.7 GL/año, el modelo simuló 244 GL/año (91% del caudal) [7]. En Cartagena se producen 79.8 GL/año, en contraste con los 46.3 GL/año simulado (58%) [8]. Y en Bucaramanga, cuatro plantas producen 71.8 GL/año, y el modelo simuló 29.7 GL/año (40% del caudal real).

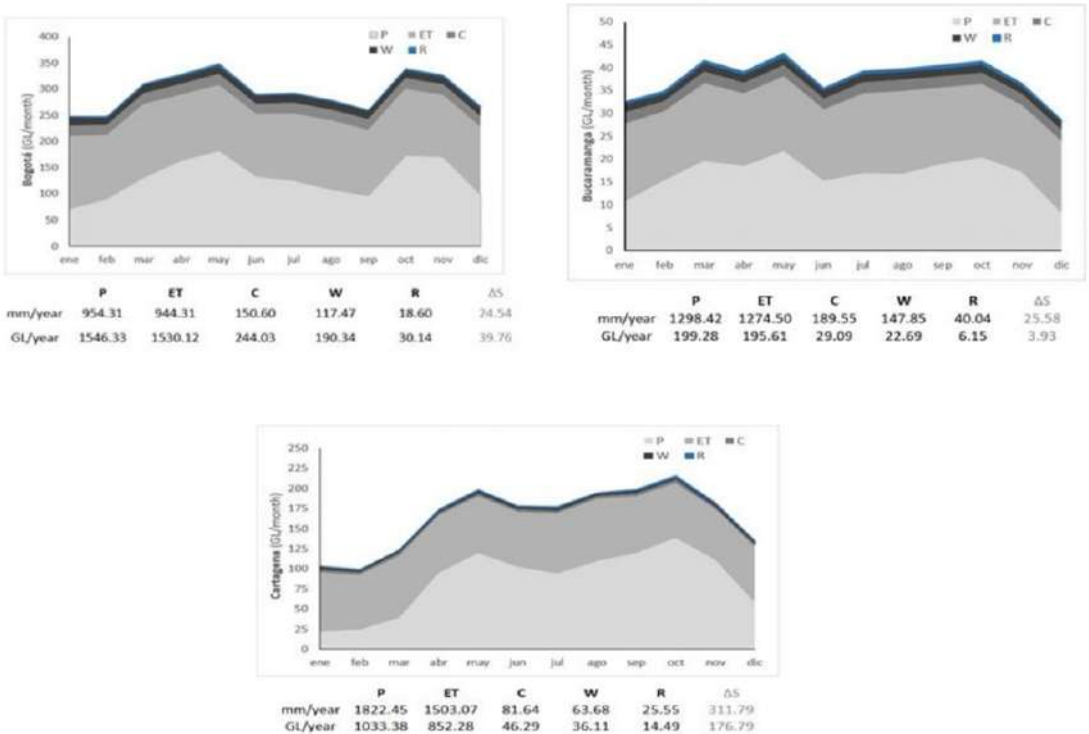


Figura 1 Bucaramanga Bogotá y Cartagena (GL/MONTH)

El balance hídrico muestra los diferentes aportes (P y C) y egresos (ET, W y R) hidrológicos en las tres cuencas de estudio (ver imagen 8). También un cambio de almacenamiento ( $\Delta S$ ), que podría representar una infiltración de agua subterránea, aunque no se consideró por falta de datos. El principal aporte a la cuenca es la precipitación (86%-95%), y la mayor parte de este recurso se pierde como evapotranspiración (98%), siendo diferente sólo para el caso de Cartagena (82%). Según reportes de las plantas de tratamiento de agua potable (ETAP) de Bogotá, se producen 265,7 GL/año; el modelo simuló 244 GL/año (91% del flujo). En Cartagena se producen 79,8 GL/año, frente a los 46,3 GL/año simulados (58%). Y en Bucaramanga, cuatro plantas producen 71,8 GL/año, y el modelo simuló 29,7 GL/1 año (40% del flujo real).



*(Inundación Parque Centenario y Centro de Convenciones, Cartagena 2023)*

El caso de Bogotá fue el más cercano en términos cuantitativos. Por lo tanto, se podría considerar que se utiliza una mayor asignación diaria de agua per cápita o pérdidas de agua potable en el sistema de distribución. En Bucaramanga, el índice estimado de pérdidas o agua no contabilizada (ANC) es del 22,18%; esto debe revisarse para cada contexto. Con respecto a las descargas de aguas residuales, se estima que en Colombia el porcentaje de agua que recibe algún tipo de tratamiento es del 42,2%. Según el modelo, los vertidos domésticos representan al menos el 78% del agua utilizada.

## Aquacycle

Modelo cuasi-distribuido que permite simular el ciclo del agua urbano integrando dentro del mismo marco las interacciones entre el suministro de agua potable, las descargas de aguas residuales, y el sistema lluvia [1]. El modelo permite a su vez explorar alternativas de agua generada localmente.

### Sistema urbano

El ciclo urbano del agua representa el movimiento continuo del agua entre distintos compartimentos en el área urbana [2]. El balance del agua en el sistema urbano considera los flujos hidrológicos naturales y antropogénicos: Precipitación (P), Agua potable importada o Centralizada (C), Fuentes de agua descentralizada, subterránea o pluvial (D), Descargas residuales (W), Escorrentía superficial (R), Infiltración subterránea (G), y Evapotranspiración (ET).

## Zona de estudio

Municipios: Bogotá (2582 msnm), Bucaramanga (959 msnm) & Cartagena (2 msnm)

## Metodología

### Primer escenario

Estimación del balance hídrico a partir de la modelación en Aquacycle para las tres cuencas delimitadas (áreas municipales urbanas). No se incluyen el aprovechamiento de agua pluvial o reciclado de agua doméstica (fuentes descentralizadas o locales).

### Datos para la simulación

El modelo emplea tres grupos de datos: a) el perfil de uso de agua diario, según las prácticas de uso y consumo de los habitantes de la ciudad; b) datos meteorológicos, que comprenden la precipitación y evapotranspiración diaria; y c) las características físicas (áreas) de la zona urbana, que corresponde a la delimitación de las zonas residenciales, carreteras y de espacios abiertos.

### Fuentes de datos y procesamiento

Las fuentes de datos disponibles están entre el año 2010-2018. El año utilizado para la simulación en este caso fue el 2018.

			Inputs (mm/year)		Outputs (mm/year)		
	Límite Urbano (km <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Población ('000) <sup>b</sup>	Importada o centralizada <sup>d</sup>	Precipitación <sup>c</sup>	Evapotranspiración <sup>c</sup>	Escurrentía superficial <sup>d</sup>	Descargas residuales <sup>d</sup>
<b>Cartagena</b>	567.0	973.0	81.64	1822.4	1503.1	25.5	63.7
<b>Bucaramanga</b>	150.0	581.1	189.5	1298.4	1274.5	40.0	147.8
<b>Bogotá</b>	1620.4	7412.6	150.6	954.3	944.3	18.6	117.5

Fuentes: Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (DANE)<sup>a</sup>, Geoportal Geoestadístico (DANE MGN)<sup>b</sup>, Promedios climatológicos 1981 – 2010 (DB)<sup>c</sup>, y Simulados en Aquacycle<sup>d</sup>.

(Figura 2)

## Resultados

### Perfil de uso de agua y descargas domésticas

El modelo calcula las descargas de aguas domésticas (grises y negras), a partir del perfil de uso de agua de interiores (IWUP) según el consumo promedio de agua en diferentes actividades domésticas y el consumo per cápita en las distintas ciudades colombianas [3, 4 y 5], (véase anexo 1). Para Bucaramanga se empleó el consumo promedio per cápita colombiano de 160 L, y para Bogotá y Cartagena, 98.8 L y 137.7 L respectivamente, según el reporte GRTB-ADERASA 2012 [6].

Household Water Usage	Bogotá	Bucaramanga	Cartagena
Ave kitchen GL/year	24.94	2.97	4.73
Ave bathroom GL/year	67.88	8.10	12.88
Ave laundry GL/year	47.74	5.69	9.06
<b>Greywater GL/year</b>	<b>140.56</b>	<b>16.76</b>	<b>26.67</b>
Ave toilet GL/year	49.79	5.93	9.44
<b>Blackwater GL/year</b>	<b>49.79</b>	<b>5.93</b>	<b>9.44</b>
<b>TOTAL</b>	<b>190.34</b>	<b>22.69</b>	<b>36.11</b>

(Figura 3)

### Características físicas

En la tabla se muestran las áreas por ciudad y escala espacial empleada en el modelo Aquacycle (figura 4 y 5), obtenidas a partir del procesamiento de shapefiles (mosaico urbano, Geoportal DANE).

	Unit blocks scale					Clusters scale		
	# Blocks	Area of blocks	Area of roof	Area of gardens	Area of pavement	Area of roads	Area of open space	Total area
<b>Cartagena</b>	227026	79.5	2.3	15.9	61.3	13.6	473.9	567.0
<b>Bucaramanga</b>	156630	47.3	0.3	9.5	37.6	7.9	98.3	153.5
<b>Bogotá</b>	2340398	315.9	1.6	63.2	251.1	97.6	1206.9	1620.4

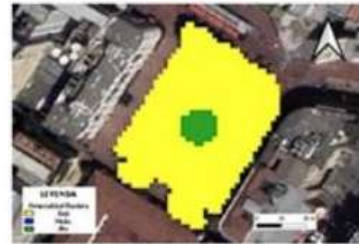
\* Características físicas de clústers (km<sup>2</sup>)

(Figura 4)

## 5.2 Resultados Analisis GIS-MCDA

Respecto al análisis de idoneidad con la herramienta GIS-MCDA, los resultados mostraron que los jardines de lluvia y los sistemas de biorretención tienen un grado de idoneidad medio- alto, en las 3 zonas urbanas seleccionadas para este estudio, debido a la disponibilidad de espacios abiertos y una alta capacidad de infiltración. (ver imagen 9). De igual forma, los techos verdes presentaron los mismos grados de idoneidad, sin embargo sólo son aplicables en áreas urbanas altamente pobladas y tomando en cuenta el tipo de infraestructura actual y los perfiles socioeconómicos de sus habitantes. Los resultados de la investigación se vieron limitados por los criterios de diseño de ciertos tipos de SUDS y la falta de información espacio-temporal necesaria para algunos de los sistemas analizados.

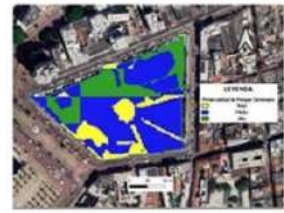
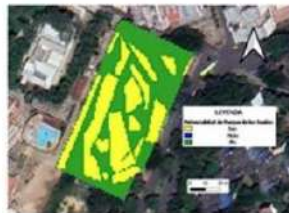
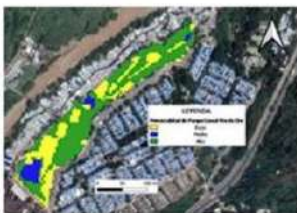
### Caso de Estudio de Bogotá



(resultados del análisis GIS MCDA, Barrio Meissen y Plazoleta del Rosario, Bogota)

*El caso de Bogotá fue el más cercano en términos de cantidad. Por lo que se podría considerar que se emplea una dotación mayor de agua diaria per cápita o pérdidas de agua potable en el sistema de distribución. En Bucaramanga se estima un índice de pérdidas o agua no contabilizada (ANC) de 22.18% [9], este mismo debería ser revisado para cada contexto.*

### Caso de Estudio de Bucaramanga y Cartagena



resultados del análisis GIS MCDA, Parque Lineal Rio del Oro, Bucaramanga y Parque Centenario, Cartagena.

Por lo tanto, la evaluación de idoneidad sólo fue aplicable a jardines de lluvia, sistemas de biorretención y techos verdes. Las propuestas de diseño codiseñadas con la comunidad mostraron un buen nivel de aceptación (escala de calificación 4,23/5,0) por parte del público y las partes interesadas de la comunidad, proporcionando información valiosa sobre aspectos clave a tener en cuenta para el diseño y mantenimiento de BGI en sus barrios.

El estudio demostró que el potencial de la infraestructura verde-azul en el espacio público de las 3 ciudades colombianas seleccionadas es medio-alto, lo que significa que es factible incluir este tipo de medidas de adaptación urbana en los manuales de diseño del espacio público existentes para las ciudades de Colombia, apoyando la transición hacia ciudades más sensibles al agua y brindando apoyo técnico para la adopción activa de estas tecnologías en los estándares de diseño del espacio público en las ciudades de Colombia. Asimismo, la adopción generalizada de BGI podría reducir la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas a los desastres naturales asociados con una mala gestión del ciclo del agua urbano y reducir el impacto de las actividades urbanas en los servicios ecosistémicos.

### Caso de Estudio de Cartagena

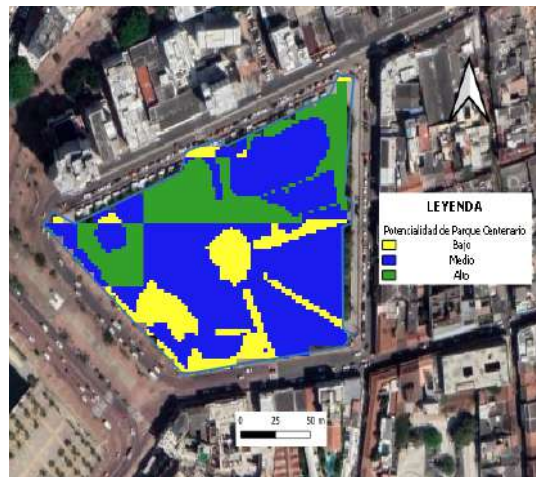
#### Caso 1: Parque Centenario

Precipitación: 500 a 1000 mm

#### Jardines de lluvia y sistemas de Biorretención

#### Resultados Esperados

Tipo de Superficie	Área (m <sup>2</sup> )
Áreas Verdes	14565.33
Cuerpos de Agua	546.61
Zonas Impermeables	6398.06



Aplicación de Ponderaciones y cálculos  
 $0.43 * (\text{Características de Grupos Hidrológicos}) + 0.32 * (\text{Características de Precipitación media anual}) + 0.24 * (\text{Características de Pendiente}) + 0.12 * (\text{Características de Vulnerabilidad})$

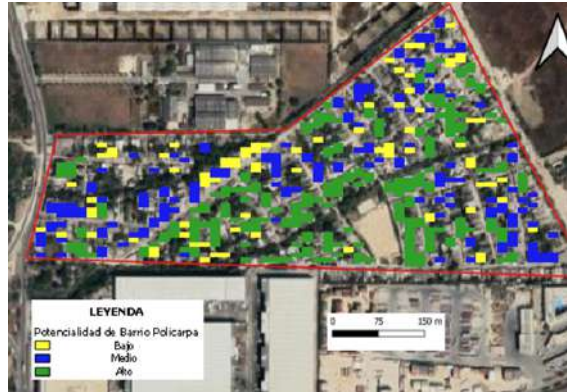
## Caso 2: Barrio Policarpa

Precipitación: 500 a 1000 mm

### Techos Verdes

#### Resultados Esperados

Aplicación de Ponderaciones y cálculos  
 $0.39 * ("Características de Área de techos")$   
 $+ 0.35 * ("Características de Precipitación Anual")$   
 $+ 0.26 * ("Características de Vulnerabilidad")$



## Caso 3: Barrio Boston

Precipitación: 500 a 1000 mm

### Techos Verdes

#### Resultados Esperados

Aplicación de Ponderaciones y cálculos  
 $0.39 * ("Características de Área de techos")$   
 $+ 0.35 * ("Características de Precipitación Anual")$   
 $+ 0.26 * ("Características de Vulnerabilidad")$



## 5.3 Resultado Modelamiento Humedales Artificiales

La evaluación de las dimensiones de la implementación de humedales en las zonas de estudio fue un proceso meticuloso que implicó la recopilación de datos a través de la aplicación de ecuaciones hidráulicas, las cuales se basaron en los rigurosos lineamientos de diseño de un humedal sub superficial de flujo horizontal. Este enfoque se seleccionó cuidadosamente para garantizar una implementación eficiente y efectiva de los humedales, centrándose en la remoción o reducción del parámetro contaminante, comúnmente medido como Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5).

En el marco de este proceso, se tuvo en cuenta una variedad de factores cruciales para el éxito del proyecto. En primer lugar, se incorporaron los caudales de entrada, expresados en metros cúbicos por día ( $m^3/día$ ), lo que permitió dimensionar adecuadamente los humedales para manejar la carga hídrica específica de cada área de estudio. Además, se prestó especial atención a las concentraciones de entrada y salida del contaminante objetivo, expresadas en miligramos por litro (mg/l). Estos parámetros son esenciales para determinar la eficacia del humedal en la remoción del contaminante y para asegurar que las salidas cumplan con los estándares ambientales requeridos. La consideración de parámetros hidráulicos también desempeñó un papel crucial en el diseño de los humedales.

La profundidad del humedal fue evaluada cuidadosamente, teniendo en cuenta tanto las recomendaciones de la literatura especializada como las condiciones específicas de cada ubicación. La porosidad del medio granular fue otro factor clave en la evaluación de las dimensiones del humedal. Esta propiedad influye directamente en la capacidad del humedal para retener y tratar el agua de manera efectiva.

La evaluación de la porosidad se realizó mediante la revisión exhaustiva de la bibliografía pertinente, adaptando los conocimientos existentes a las condiciones locales específicas de cada sitio de estudio. Este enfoque integral no solo aseguró una evaluación precisa de las dimensiones necesarias (largo y ancho) para la implementación de los humedales, sino que también sentó las bases para un diseño robusto y adaptado a las condiciones locales.

Humedales sub superficiales de flujo Horizontal	
Bucaramanga	
Considerando un rango de DBO5 entre 220 y 300 para todos los casos de estudio, tenemos lo siguiente	
<b>Parque 1</b>	
Wastewater discharge (ML/month)	5,54
Wastewater discharge (m3/month)	5540,00
Wastewater discharge (l/month)	5540000,00
Caudal de entrada (m3/día)	184,67
Concentración de reducción del 40 % del afluente	40,00
Concentración DBO 5 (mg/L)- Afluente (entrada sin tratamiento)	100,00
Concentración DBO 5 (mg/L)- Efluente (salida con tratamiento)	60,00
Temperatura °C	21,00
Constante de reacción de primer orden dependiente de la	1,17
<b>h = profundidad del humedal (m)</b>	<b>0,6</b>
Considerando el uso de grava fina con un tamaño efectivo menor a 30 mm el porcentaje utilizado será de un rango de 35-38 % que será convertido a manera de fracción (0,35-0,38)	
<b>n= porosidad del medio granular (porcentaje expresado)</b>	<b>0,36</b>
Cálculo de Área Superficial (utilizando la ecuación y los parámetros definidos anteriormente)	
<b>Área Superficial (m2)</b>	
Q	184,67
$L_n(\text{afluente/efluente})$	0,51
$Q^n(\text{afluente/efluente})$	94,33
$kt \cdot h^n$	0,25
<b>Área Superficial (m2)</b>	<b>373,19</b>
<b>Ancho del Humedal = Área Superficial = 4 w*w =</b>	<b>9,66</b>
Longitud del Humedal	38,64

Estos criterios fueron aplicados para las 3 zonas de estudio ubicadas en Bucaramanga, Cartagena y Bogotá.

En el caso de Bucaramanga, el caudal de entrada en la zona de estudio se situó en 184,7 m<sup>3</sup>/día, mientras que en Cartagena y Bogotá se registraron valores de 211,7 m<sup>3</sup>/día y 22,7 m<sup>3</sup>/día, respectivamente. En cuanto a las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) a remover, se observa una variación significativa. Para Bucaramanga, los valores oscilan entre 100 y 330 mg/l, mientras que, para Cartagena y Bogotá, se encuentran en el rango de 200 a 400 mg/l. En la evaluación de los parámetros hidráulicos, se tomó como referencia la bibliografía, estableciendo una profundidad del humedal de 0,6 m. Además, se optó por el uso de grava fina con un tamaño efectivo menor a

Humedales sub superficiales de flujo Horizontal	
Cartagena	
Considerando un rango de DBO5 entre 220 y 300 para todos los casos de estudio, tenemos lo siguiente	
<b>Parque 2</b>	
Wastewater discharge (ML/month)	6,35
Wastewater discharge (m3/month)	6350
Wastewater discharge (l/month)	6350000
<b>Caudal de entrada (m3/día)</b>	<b>211,7</b>
Concentración de reducción del 40 % del afluente	88
Concentración DBO 5 (mg/L)- Afluente (entrada sin tratamiento)	220
Concentración DBO 5 (mg/L)- Efluente (salida con tratamiento)	132
Temperatura °C	21
Constante de reacción de primer orden dependiente de la	1,17024
<b>h = profundidad del humedal (m)</b>	<b>0,6</b>
Considerando el uso de grava fina con un tamaño efectivo menor a 30 mm el porcentaje utilizado será de un rango de 35-38 % que será convertido a manera de fracción (0,35-0,38)	
<b>n= porosidad del medio granular (porcentaje expresado)</b>	<b>0,36</b>
Cálculo de Área Superficial (utilizando la ecuación y los parámetros definidos anteriormente)	
<b>Área Superficial (m2)</b>	
Q	211,7
Ln(afluente/efluente)	0,510825624
Q*ln(afluente/efluente)	108,1
kt * h*n	0,25277184
<b>Área Superficial (m2)</b>	<b>427,8</b>
<b>Ancho del Humedal = Área Superficial = 4 w*w =</b>	<b>10,3</b>
Longitud del Humedal	41,4

Humedales sub superficiales de flujo Horizontal	
Bogotá	
Considerando un rango de DBO5 entre 220 y 300 para todos los casos de estudio, tenemos lo siguiente	
<b>Parque 3</b>	
Wastewater discharge (ML/month)	0,68
Wastewater discharge (m3/month)	680
Wastewater discharge (l/month)	680000
<b>Caudal de entrada (m3/día)</b>	<b>22,7</b>
Concentración de reducción del 40 % del afluente	100
Concentración DBO 5 (mg/L)- Afluente (entrada sin tratamiento)	250
Concentración DBO 5 (mg/L)- Efluente (salida con tratamiento)	150
Temperatura °C	21
Constante de reacción de primer orden dependiente de la	1,17024
<b>h = profundidad del humedal (m)</b>	<b>0,6</b>
Considerando el uso de grava fina con un tamaño efectivo menor a 30 mm el porcentaje utilizado será de un rango de 35-38 % que será convertido a manera de fracción (0,35-0,38)	
<b>n= porosidad del medio granular (porcentaje expresado)</b>	<b>0,36</b>
Cálculo de Área Superficial (utilizando la ecuación y los parámetros definidos anteriormente)	
<b>Área Superficial (m2)</b>	
Q	22,7
Ln(afluente/efluente)	0,510825624
Q*ln(afluente/efluente)	11,57871414
kt * h*n	0,25277184
<b>Área Superficial (m2)</b>	<b>45,8069781</b>
<b>Ancho del Humedal = Área Superficial = 4 w*w =</b>	<b>3,4</b>
Longitud del Humedal	13,5

30 mm. Esta elección permitió determinar que el porcentaje de grava utilizado se situará en un rango de 35-38 %, el cual se expresará como una fracción (0,35-0,38). Este enfoque basado en la literatura y en las condiciones específicas de cada lugar garantiza una valoración precisa y adaptada de los parámetros hidráulicos para la implementación de humedales en las distintas ubicaciones mencionadas.

Los resultados mostraron que para la zona de estudio ubicada en Cartagena se necesita de un diseño de aproximadamente 430 m<sup>2</sup>, mientras que para Bucaramanga y Bogotá se requerirá un área aproximada de 375 m<sup>2</sup> y 47 m<sup>2</sup> respectivamente.



**RESULTADOS  
ENCUESTA  
ONLINE, TALLERES  
DE ACTORES,  
PONDERACIÓN Y  
MATRICES DOFA**

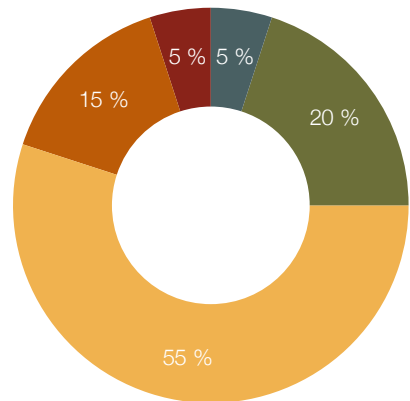
## 6.1 Resultados Encuesta Online a actores del Sistema del Agua

La encuesta contó con un total de 141 respuestas de actores relacionados con los sistemas hídricos y el medio ambiente en las 3 ciudades seleccionadas, con 35 preguntas relacionadas con la relación de la ciudad con el agua, sus principales problemáticas y su conocimiento sobre el impacto de la infraestructura verde para recuperar servicios ecosistémicos. Respecto a la relación de la ciudad con sus sistemas de agua, el 45% de las respuestas expresaron que las 3 ciudades seleccionadas tienen una relación mala (regular) con el agua, el 27% mala y el 10% muy mala, solo el 12% de las respuestas expresó que sus ciudades tengan una buena relación con sus sistemas de agua. Esto muestra que existe una gran necesidad de mejorar la forma en que las ciudades seleccionadas interactúan con el agua, y apoyar la implementación de estrategias orientadas a reducir el impacto ambiental de su población sobre estos recursos vitales.

### ¿Qué relación considera usted que tiene su ciudad con el agua?

¿Qué relación considera usted que tiene su Ciudad con el agua?

RELACIÓN	
MUY MALA	5
MALA	20
REGULAR	55
BUENA	15
MUY BUENA	5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



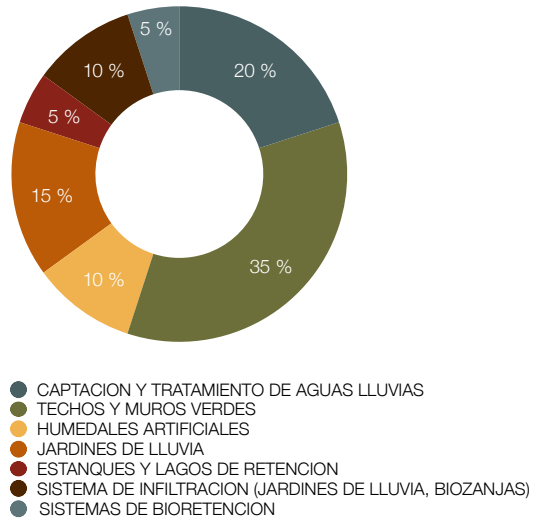
- MUY MALA
- MALA
- REGULAR
- BUENA
- MUY BUENA

Resultados encuesta online, relación de la ciudad con el agua.

## A continuación se presentarán algunos tipos de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS)

A continuación se presentarán algunos tipos de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS)

TIPOS DE (SUDS)	
CAPTACION Y TRATAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS	20
TECHOS Y MUROS VERDES	35
HUMEDALES ARTIFICIALES	10
JARDINES DE LLUVIA	15
ESTANQUES Y LAGOS DE RETENCION	5
SISTEMA DE INFILTRACION (JARDINES DE LLUVIA, BIOZANJAS)	10
SISTEMAS DE BIORETENCION	5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



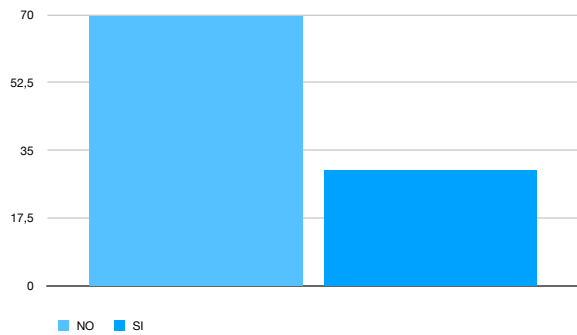
### Resultados encuesta online conocimientos SUDS

Una de las principales intenciones de la encuesta fue indagar sobre el conocimiento de la infraestructura verde (IG) entre las partes interesadas, como una forma de comprender cómo se están aplicando estas soluciones en las ciudades seleccionadas.

Las respuestas muestran que los Techos y paredes verdes son las herramientas más conocidas (35%) seguida por la captación y tratamiento de aguas lluvias (20%), Jardines de Lluvia (10%), Humedales artificiales (10%). Sin embargo, estas herramientas no están siendo ampliamente utilizadas en las ciudades seleccionadas, y es necesario ofrecer pautas para aplicar estas herramientas en entornos urbanos, especialmente en espacios públicos (Ver Gráfico 2).

Finalmente, la encuesta recopiló información sobre el conocimiento de las partes interesadas sobre el potencial de la IG para restaurar los servicios ecosistémicos y promover la resiliencia urbana, y el 42% de los encuestados expresó que conoce este potencial, pero aún no hubo apoyo para aplicarlos en proyectos urbanos. promover la adaptación de los espacios públicos al aumento de las lluvias y prevenir inundaciones. Respecto a la regulación relacionada con SUDS (Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible) en sus ciudades y su presencia en reglamentos o manuales de diseño de espacios públicos en sus ciudades, el 55% indica que aún no se han incluido estrategias de este tipo en las regulaciones de espacios públicos de sus ciudades, lo que señala la necesidad de brindar una mejor orientación a los gobiernos y comunidades locales para adoptar este tipo de estrategias en sus áreas urbanas.

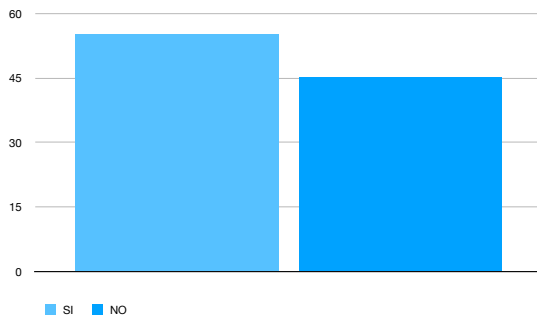
**Conoce usted si existen guías o manuales de diseño de proyectos de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), en su ciudad?**



RELACIÓN	
NO	70
SI	30
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

(Resultados encuesta, Conocimiento de guías o manuales de SUDS en su ciudad)

**Sabia usted el significado de Infraestructura verde (Componentes del paisaje urbano capaces de cumplir funciones hidrológicas y prestar servicios ecosistémicos relevantes para favorecer la resiliencia de centros urbanos)**



RELACIÓN	
SI	55
NO	45
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

(Resultados encuesta, significado de Infraestructura verde)



Plazoleta del Rosario, Barrio La Candelaria, Bogota 2023

## 6.2 Taller diseño Urbano Sensible al Agua

Los talleres de diseño urbano sensible al agua se realizaron en las ciudades de análisis con el objetivo de conocer las problemáticas de la ciudad y las comunidades sobre el agua, ponderar las variables del análisis MCDA y explorar posibles adaptaciones de los espacios públicos seleccionados con NBS.

Inicialmente, se realizó una presentación de la investigación, los beneficios de las NBS, y los resultados del balance del agua para los espacios seleccionados. Los grupos se dividieron en grupos focales (comunidad, gobierno, ONGs, academia) para cada una de las ciudades de estudio. Cada grupo realizó el análisis socioeconómico y ambiental de la zona a partir de reportes de huella hídrica y potencial de Infraestructura Verde. De igual manera se creó una matriz DOFA sobre la aplicación de Infraestructura verde en las zonas de análisis, para identificar las fortalezas y debilidades de la posible adopción de NBS en los espacios públicos seleccionados.

Los grupos propusieron como poder reacondicionar el barrio o parque con Infraestructura Azul Verde y NBS vista en la presentación inicial (humedales artificiales, jardines de lluvia, captación de agua lluvia, muros y techos verdes, etc ), según las necesidades de cada barrio y contexto. Las intervenciones fueron localizadas en mapas de cada zona de trabajo.

Finalmente, cada grupo presentó sus ideas de intervención para reducir la huella hídrica, contaminación, proveer fuentes alternativas de agua, y manejo de inundaciones en su zona de trabajo, las cuales fueron la base de la elaboración de las propuestas de intervención preliminares presentadas en el capítulo 9 de este Estudio.





Instalaciones Universidad del Rosario, Bogotá 2023

# 6.3 Resultados Taller Matriz DOFA

	AYUDA Factores de Ayuda	DAÑOS Factores de Daño
OPORTUNIDADES	<b>FORTALEZAS</b> - Darse un tiempo de reflexión con el grupo - Tener un tiempo para la reflexión - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>DEBILIDADES</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva
AMENAZAS	<b>OPORTUNIDADES</b> - Tener un tiempo de reflexión con el grupo - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>AMENAZAS</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva

Matriz DOFA - Taller Participativo

**DAÑOS PARTICIPATIVOS**

	AYUDA Factores de Ayuda	DAÑOS Factores de Daño
OPORTUNIDADES	<b>FORTALEZAS</b> - Experiencia de la Organización Municipal - Organización del Sistema - Infraestructura Existente	<b>DEBILIDADES</b> - Dificultad de interacción por el tamaño del Centro Histórico - Poca transversalidad del Entorno
AMENAZAS	<b>OPORTUNIDADES</b> - Clima - Capacidad con el medio ambiente - Abundancia de Espacios	<b>AMENAZAS</b> - Tráfico (Suelo) - Inundación (Suelo) - Exceso Tráfico

- Evon Arroyo  
- Sergio Carrasco  
- Wendy Parodi  
- John Trujillo  
- John Chala

**DAÑOS PARTICIPATIVOS**

	AYUDA Factores de Ayuda	DAÑOS Factores de Daño
OPORTUNIDADES	<b>FORTALEZAS</b> - Al estar cerca de la Comuna - Tener información de los barrios - La posibilidad de poder trabajar con la vía pública	<b>DEBILIDADES</b> - Tipo de material de construcción - Falta de información - Continuos del Agua - Cules son conchas para el agua
AMENAZAS	<b>OPORTUNIDADES</b> - Involucrar a la comunidad - Tener información de los barrios - Tener información de los barrios - Tener información de los barrios	<b>AMENAZAS</b> - Tipo de material de construcción - Falta de información - Continuos del Agua - Cules son conchas para el agua

Ximena Gaxón  
Camila Chala  
Diego Araya  
Emilio Martínez  
Boscana Sempere  
Eduardo Gaxón

**DAÑOS PARTICIPATIVOS**

	AYUDA Factores de Ayuda	DAÑOS Factores de Daño
OPORTUNIDADES	<b>FORTALEZAS</b> - Tener un tiempo de reflexión con el grupo - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>DEBILIDADES</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva
AMENAZAS	<b>OPORTUNIDADES</b> - Tener un tiempo de reflexión con el grupo - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>AMENAZAS</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva

Objetivo:  
- Tener un tiempo de reflexión con el grupo  
- Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller  
- Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller

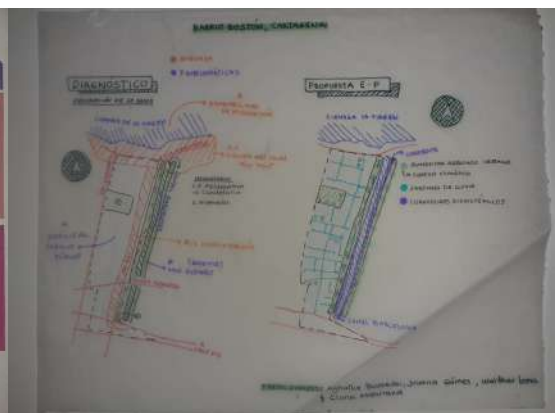
**DAÑOS PARTICIPATIVOS**

	AYUDA Factores de Ayuda	DAÑOS Factores de Daño
OPORTUNIDADES	<b>FORTALEZAS</b> - Posibilidad para la participación - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>DEBILIDADES</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva
AMENAZAS	<b>OPORTUNIDADES</b> - Tener un tiempo de reflexión con el grupo - Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller	<b>AMENAZAS</b> - Falta de tiempo para reflexionar con el grupo - Falta de información para poder de manera efectiva

Objetivo:  
- Tener un tiempo de reflexión con el grupo  
- Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller  
- Tener un tiempo para la reflexión del momento del taller

John Gaxón, Ximena Gaxón, Camila Chala, Diego Araya, Emilio Martínez, Boscana Sempere, Eduardo Gaxón

**DAÑOS PARTICIPATIVOS**



## 6.4 Resultados y ponderación variables

La ponderación de las variables seleccionadas para el análisis de idoneidad de NBS en las ciudades seleccionadas fue recopilada de los actores interesados, para jardines de lluvia y sistemas de biorretención y techos verdes (ver Tabla 1). Estos resultados luego se incorporaron al software de modelado SSANTO para brindar la opinión de las partes interesadas de cada ciudad sobre la importancia de cada variable seleccionada en sus ciudades, como una forma de incluir las condiciones de cada contexto local e información importante sobre sus entornos físicos. Los resultados de este estudio de idoneidad se mostrarán en la siguiente sección y se discutirán sus implicaciones

Theme Layer	Theme Layer Weight
Average Annual Precipitation	8
Economic Vulnerability	6
Hydrological Groups	9
Slope	7

Slope	Children's Park	Dream Park	Río de Oro Linear Park
Less than 3% considered low slope	6	7	6
3 to 7% considered a moderate slope	8	6	7
7 to 12% considered a high slope	4	6	5
Greater than 12% considered a very high slope	2	5	4

Average Annual Precipitation	Children's Park	Dream Park	Río de Oro Linear Park
1000 to 1500 mm considered high	7	6	8
500 a 1000 mm considered medium	8	8	7
500 mm considered	6	5	6
less than 500 mm considered very low	4	4	5

Economic Vulnerability	Children's Park	Dream Park	Río de Oro Linear Park
Low vulnerability	6	5	2
Low medium vulnerability	7	7	4
Medium vulnerability	5	6	5
High vulnerability	4	4	7

Hydrological Groups	Children's Park	Dream Park	Río de Oro Linear Park
Fast infiltration	7	9	8
Moderate infiltration	8	7	7
Slow infiltration	6	8	4
Very Slow Infiltration	5	6	2

(Análisis de idoneidad de NBS en las ciudades seleccionadas )

La recopilación de datos para evaluar la idoneidad de las ciudades seleccionadas se llevó a cabo mediante la ponderación de variables específicas. Este proceso implicó la participación de diversos sectores, como el público, privado, entidades gubernamentales y actores sociales, en el análisis de tres tipos de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible): jardines de lluvia, sistemas de bioretención y techos verdes. Los resultados obtenidos fueron integrados en una matriz de idoneidad, la cual clasificó cada variable de estudio en un rango ponderado. Este rango se estableció de acuerdo con las características de los atributos de cada subvariable identificada en el análisis. La ponderación se basó principalmente en la importancia de cada variable seleccionada en cada área de estudio, reflejando así las condiciones específicas de cada contexto local.

El análisis detallado se enfocó minuciosamente en la evaluación de tres tipos específicos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Para abordar este estudio, se implementó una estrategia integral que involucró la participación de diversos sectores, incluyendo el público, privado, entidades gubernamentales y actores sociales. El objetivo principal fue evaluar la

idoneidad de las ciudades seleccionadas para la implementación de jardines de lluvia, sistemas de bioretención y techos verdes. Una fase crucial de este análisis fue la organización de los resultados en una matriz de idoneidad. Esta matriz desempeñó un papel fundamental al asignar pesos a cada variable considerada en función de su relevancia específica en las diversas zonas de estudio. Este enfoque persiguió efectivamente la integración de las condiciones particulares de cada contexto local, así como la incorporación de información esencial relacionada con los entornos físicos de las ciudades objeto de estudio. Cabe destacar que la asignación de pesos a las variables se llevó a cabo utilizando la escala de Saaty, la cual abarca valores del 1 al 9.

La selección de esta escala se fundamentó en la necesidad de calibrar la influencia de cada variable en relación con el potencial que cada zona de estudio tenía para la implementación de los SUDS mencionados. Este proceso permitió diferenciar las variables según su impacto y significado en el contexto particular de cada ciudad. La complejidad del análisis se amplió aún más con la asignación de pesos a las características específicas de cada variable. Este enfoque detallado y pormenorizado garantizó que cada aspecto relevante de las variables fuera debidamente considerado en la evaluación global. Los diferentes pesos asignados a las capas temáticas clave y a sus características particulares dieron como resultado valores que se situaron por debajo del límite establecido ( $<0.10$ ).

Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que los pesos asignados a las variables y sus características son coherentes y consistentes. La consistencia de los valores obtenidos refuerza la confianza en la validez y fiabilidad del análisis realizado. Además, proporciona una base sólida para la toma de decisiones informada en cuanto a la implementación de los SUDS en las ciudades estudiadas.

Una vez validados los pesos asignados tanto a las capas temáticas como a sus variables, se implementó la herramienta GIS-MCDA, en la que cada zona de estudio fue analizada espacialmente de acuerdo a su idoneidad para la implementación de jardines de lluvia, sistemas de bioretención y techos verdes. Los resultados mostraron que los jardines de lluvia y los sistemas de biorretención tienen un grado de idoneidad medio-alto, en las 3 zonas urbanas seleccionadas para este estudio, debido a la disponibilidad de espacios abiertos y una alta capacidad de infiltración. De igual forma, los techos verdes presentaron los mismos grados de idoneidad, sin embargo, sólo son aplicables en áreas urbanas altamente pobladas y tomando en cuenta el tipo de infraestructura actual y los perfiles socioeconómicos de sus habitantes.



# RECOMENDACIONES IMPLEMENTACIÓN DE SBN EN ESPACIO PÚBLICOS

## 7.1 Potencial de captura y reutilización del agua

El balance hídrico estimado muestra los volúmenes de agua para los diferentes caudales a nivel anual en las cuencas estudiadas (ver Tabla 2). En particular, es posible utilizar los recursos de agua de lluvia disponibles (P) como fuente de agua local descentralizada. En la tabla n, este potencial se muestra como la variable (PS), que muestra la recolección de agua de lluvia utilizando el área efectiva total de techo de las manzanas unitarias en cada cuenca urbana (Mitchel, et al., 2001).

### Caso de Estudio de Bucaramanga

	P	P <sub>s</sub>	C	C <sub>N</sub>	W	W <sub>G</sub>
Bogotá	1546.3	2.18	244.0	125.0	190.3	140.6
Bucaramanga	199.3	0.35	29.1	14.2	22.7	16.8
Cartagena	1033.4	2.94	46.3	22.2	36.1	26.7

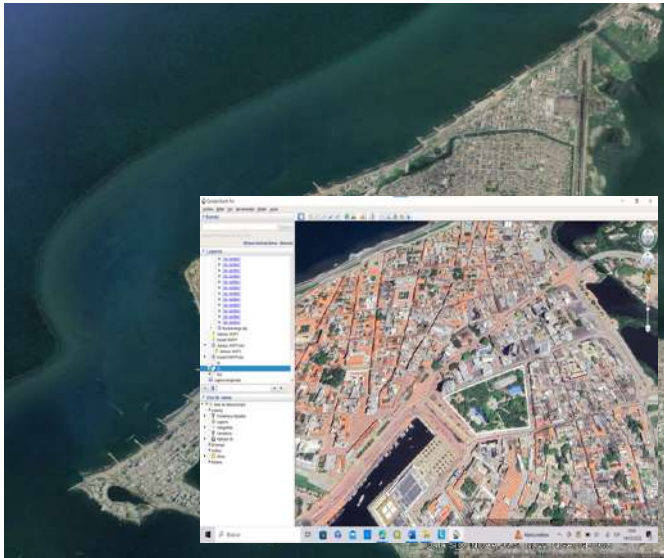
\* Water volumes (GL/year). Precipitation (P), Rainwater harvesting potential (P<sub>s</sub>), Imported drinking water (C), Potable water used for toilets and laundry (C<sub>N</sub>), Wastewater discharges (W), Grey sewage discharges (W<sub>G</sub>).

(Tabla 2 Resultado del modelo de balance Hidrico para las 3 ciudades seleccionadas)



A continuación se presentaran los resultados de modelado de captacion y almacenamiento para las 3 ciudades seleccionadas, Cartagena, Bogotá, Bucaramanga.

## Cartagena Area Permeable: 23 214 m<sup>2</sup>



### WATER BALANCE

#### CATCHMENT (Total basin)

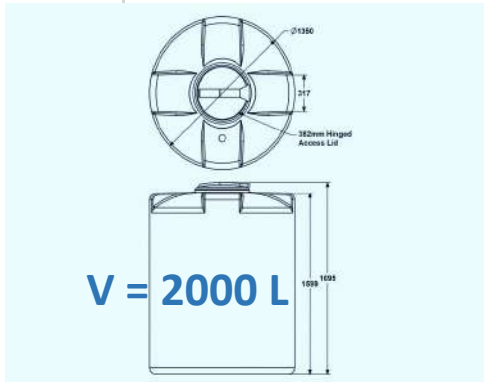
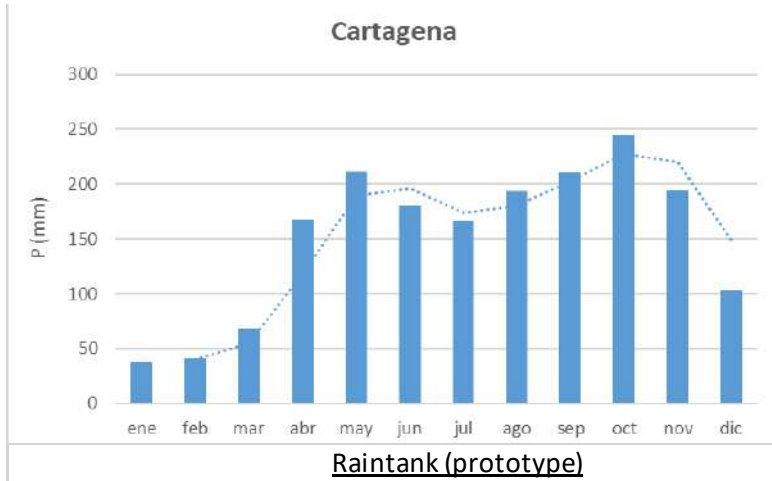
Area (m <sup>2</sup> )	567025940,4
# Viviendas (blocks)	227026
Precipitation (GL/year)	1033,37
Imported water (GL/year)	46,29
Evaporation (GL/year)	852,28
Runoff (GL/year)	14,48
Wastewater discharge (GL/year)	36,11

#### CLUSTER (Selected parks)

Area (m <sup>2</sup> )	23214
Prec (mm/month)	R off (mm/month)
37,85	0,53
41,93	0,59
68,76	0,96
167,92	2,35
211,48	2,96
180,96	2,54
166,44	2,33
193,89	2,72
210,90	2,96
244,63	3,43
195,02	2,73
102,68	1,44

#### RAINWATER HARVESTING POTENTIAL (L/month)

Jan	878653,30
Feb	973252,12
Mar	1596184,81
Apr	3898097,71
May	4909359,54
Jun	4200690,18
Jul	3863846,81
Aug	4500933,06
Sep	4895775,06
Oct	5678724,96
Nov	4527280,30
Dec	2383555,58
Average (L)	3525529,45
Average (ML)	3,526



Jan	439,33
Feb	486,63
Mar	798,09
Apr	1949,05
May	2454,68
Jun	2100,35
Jul	1931,92
Aug	2250,47
Sep	2447,89
Oct	2839,36
Nov	2263,64
Dec	1191,78
<b>Average</b>	<b>1762,76</b>

<u>DOMESTIC WATER USE (IWUP)</u>						<u>Reemplazabilidad potencial (# de hogares/month)</u>		
<u>Cartagena</u>						<u>Usos No potables</u>		
<u>Occupancy</u>	<u>Kitchen</u>	<u>Bathroom</u>	<u>Toilet</u>	<u>Laundry</u>		<u>Demanda total (+tratamiento)</u>		
1	18.1	49.2	36.1	34.6	138	Jan	186,6	95,1
2	28.6	78.0	57.1	54.8	218.5	Feb	228,8	116,7
3	39.1	106.3	77.9	74.7	297.9	Mar	339,0	172,8
4	47.4	128.9	94.5	90.6	361.4	Apr	855,4	436,2
5	53.7	146.1	107.1	102.7	409.6	May	1042,6	531,6
6	61.6	167.6	122.8	117.8	469.7	Jun	921,8	470,0
7	69.0	187.7	137.5	131.9	526.1	Jul	820,5	418,4
						Aug	955,8	487,4
						Sep	1074,3	547,8
						Oct	1206,0	614,9
						Nov	993,5	506,6
						Dec	506,2	258,1
						<b>Average</b>	<b>760,9</b>	<b>388,0</b>

[DANE](#)

Ocupacion promedio **3 hab/household**

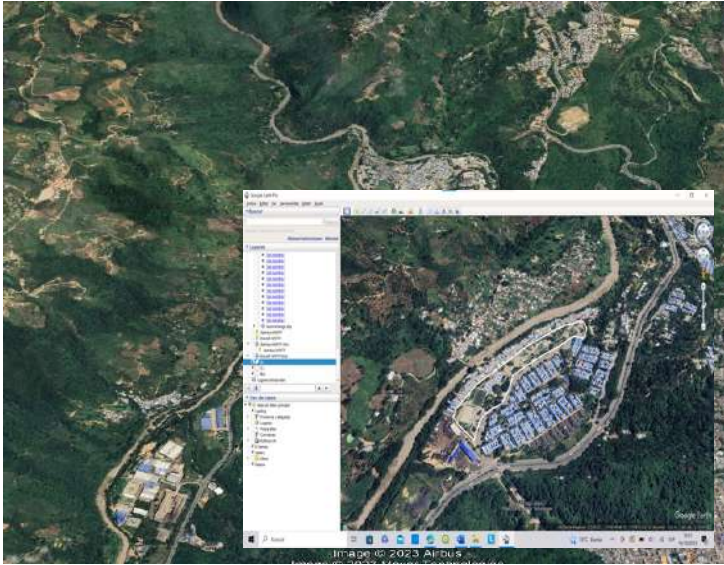
Demanda de agua diaria **297.9 L/hogar**

**51%** del agua importada para usos no potables (T + L)  
**151,9 L/hogar/d**

**Número de viviendas (hogares)**

8147008,2 imp (L/month)  
6354666,4 ww (L/month)

## Bucaramanga A: 32 854 m<sup>2</sup> (40% area permeable)



### WATER BALANCE

#### CATCHMENT (Total basin)

Area (m <sup>2</sup> )	153479684
# Viviendas (blocks)	156630
Precipitation (GL/year)	199,28
Imported water (GL/year)	29,09
Evaporation (GL/year)	195,61
Runoff (GL/year)	6,15
Wastewater discharge (GL/year)	22,69

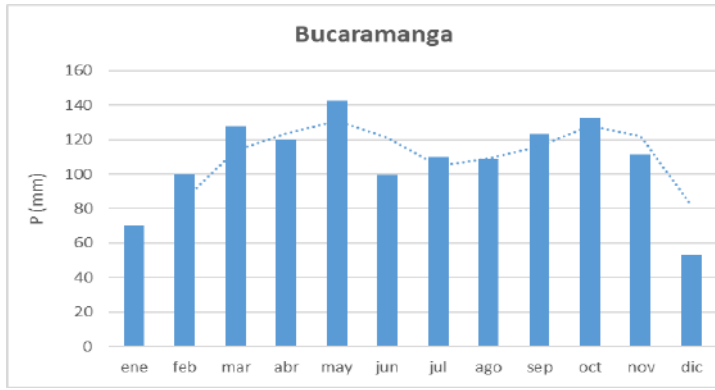
#### RAINWATER HARVESTING POTENTIAL (L/month)

Jan	2304651,46
Feb	3291313,72
Mar	4189104,03
Apr	3941494,38
May	4677314,47
Jun	3265797,11
Jul	3610545,09
Aug	3574405,69
Sep	4051336,25
Oct	4356768,94
Nov	3661030,73
Dec	1734691,20

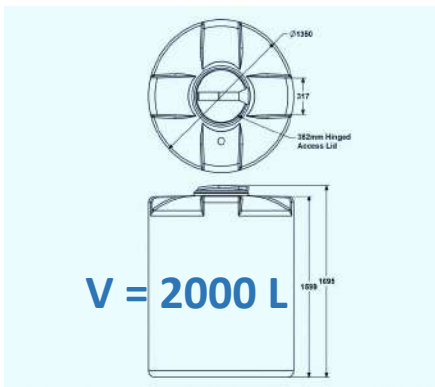
#### CLUSTER (Selected parks)

	Area (m <sup>2</sup> )	32854
Month	Prec (mm/month)	R off (mm/month)
1	70,15	2,16
2	100,18	3,09
3	127,51	3,93
4	119,97	3,70
5	142,37	4,39
6	99,40	3,07
7	109,90	3,39
8	108,80	3,36
9	123,31	3,80
10	132,61	4,09
11	111,43	3,44
12	52,80	1,63
Total	1298,42	40,04

Average (L)	3554871,09
Average (ML)	3,555



**Raintank (prototype)**



Jan	1152,33
Feb	1645,66
Mar	2094,55
Apr	1970,75
May	2338,66
Jun	1632,90
Jul	1805,27
Aug	1787,20
Sep	2025,67
Oct	2178,38
Nov	1830,52
Dec	867,35
<b>Average</b>	<b>1777,44</b>

**Reemplazabilidad potencial (# de hogares/month)**

<u>DOMESTIC WATER USE (IWUP)</u>					
<u>Bucaramanga</u>					
Occupancy	Kitchen	Bathroom	Toilet	Laundry	
1	21.0	57.1	41.8	40.1	160
2	33.2	90.4	66.2	63.5	253.3
3	45.3	123.2	90.3	86.6	345.4
4	54.9	149.5	109.5	105.1	419.1
5	62.3	169.4	124.1	119.1	474.9
6	71.4	194.3	142.3	136.6	544.6
7	80.0	217.6	159.4	153.0	609.9

	<u>Usos No potables</u>	<u>Demanda total (+tratamiento)</u>
Jan	421,9	215,2
Feb	667,1	340,3
Mar	766,9	391,2
Apr	745,6	380,4
May	856,3	436,8
Jun	617,8	315,2
Jul	661,0	337,2
Aug	654,4	333,8
Sep	766,4	391,0
Oct	797,6	406,9
Nov	692,6	353,3
Dec	317,6	162,0
<b>Average</b>	<b>663,78</b>	<b>338,6</b>

**DANE**

Ocupacion promedio **3 hab/household**

Demanda de agua diaria **345.4 L/hogar**

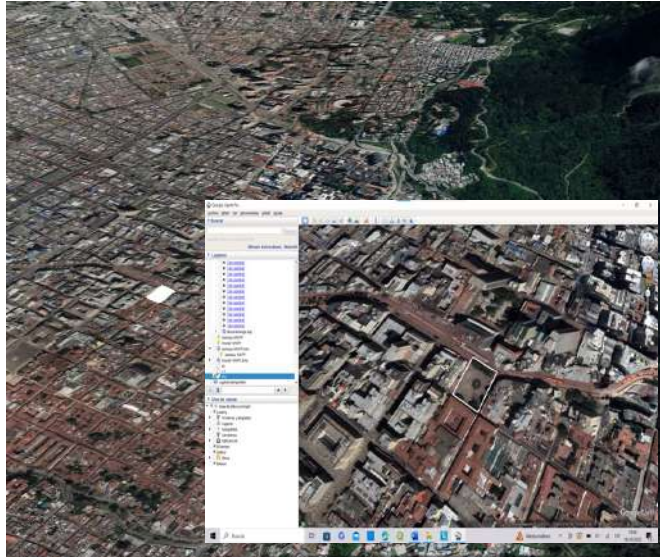
**51%** del agua importada para usos no potables (T + L)  
**176,2 L/hogar/d**

**Número de viviendas (hogares)**

7107362,3 imp (L/month)  
5543742,6 ww (L/month)

7,11 (ML)  
5,54 (ML)

## Bogotá Area Permeable: 3 374 m<sup>2</sup>



WATER BALANCE

CATCHMENT (Total basin)

Area (m <sup>2</sup> )	1620365786
# Viviendas (blocks)	2340398
Precipitation (GL/year)	1546,33
Imported water (GL/year)	244,03
Evaporation (GL/year)	1530,11
Runoff (GL/year)	30,14
Wastewater discharge (GL/year)	190,33

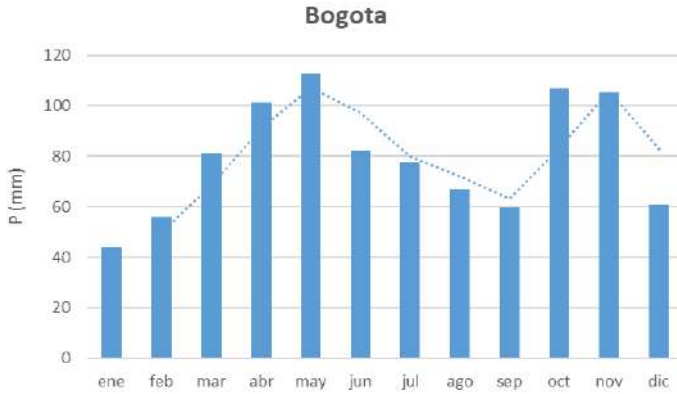
CLUSTER (Selected parks)

Area (m <sup>2</sup> )	3374
Prec (mm/month)	

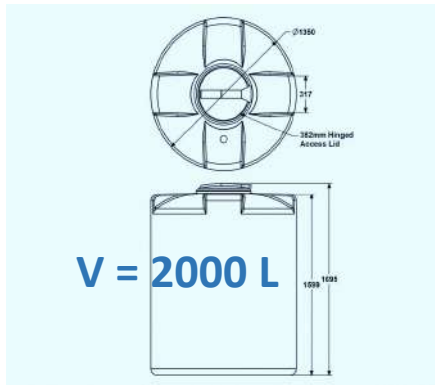
RAINWATER HARVESTING POTENTIAL (L/month)

Jan	148686,21
Feb	188600,19
Mar	273671,66
Apr	341954,29
May	380780,12
Jun	277575,48
Jul	261253,38
Aug	225337,89
Sep	201468,41
Oct	360817,29
Nov	355068,61
Dec	204634,59
Average (L)	268320,68
Average (ML)	0,268

44,07	0,86
55,90	1,09
81,11	1,58
101,35	1,98
112,86	2,20
82,27	1,60
77,43	1,51
66,79	1,30
59,71	1,16
106,94	2,08
105,24	2,05
60,65	1,18
954,31	18,60



Raintank (prototype)



Jan	74,34
Feb	94,30
Mar	136,84
Apr	170,98
May	190,39
Jun	138,79
Jul	130,63
Aug	112,67
Sep	100,73
Oct	180,41
Nov	177,53
Dec	102,32
<u>Average</u>	<u>134,16</u>

DOMESTIC WATER USE (IWUP)

<u>Bogotá</u>					
<u>Occupancy</u>	Kitchen	Bathroom	Toilet	Laundry	
1	13.0	35.3	25.9	24.8	99
2	20.6	55.9	41.0	39.3	156.8
3	28.0	76.2	55.9	53.6	213.7
4	34.0	92.5	67.8	65.0	259.3
5	38.5	104.8	76.8	73.7	293.9
6	44.2	120.2	88.1	84.5	337.0
7	49.5	134.6	98.6	94.6	377.4

Reemplazabilidad potencial (# de hogares/month)

	<u>Usos No potables</u>	<u>Demanda total (+tratamiento)</u>
Jan	44,0	22,4
Feb	61,8	31,5
Mar	81,0	41,3
Apr	104,6	53,3
May	112,7	57,5
Jun	84,9	43,3
Jul	77,3	39,4
Aug	66,7	34,0
Sep	61,6	31,4
Oct	106,8	54,5
Nov	108,6	55,4
Dec	60,6	30,9
<u>Average</u>	<u>80,9</u>	<u>41,3</u>

DANE

Ocupacion promedio **3 hab/household**

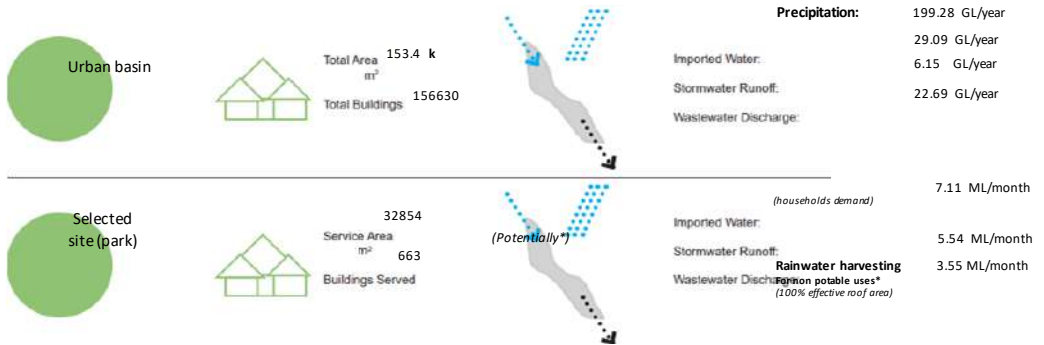
Demanda de agua diaria **213.7 L/hogar**

**51%** del agua importada para usos no potables (T + L)  
**109,0 L/hogar/d**

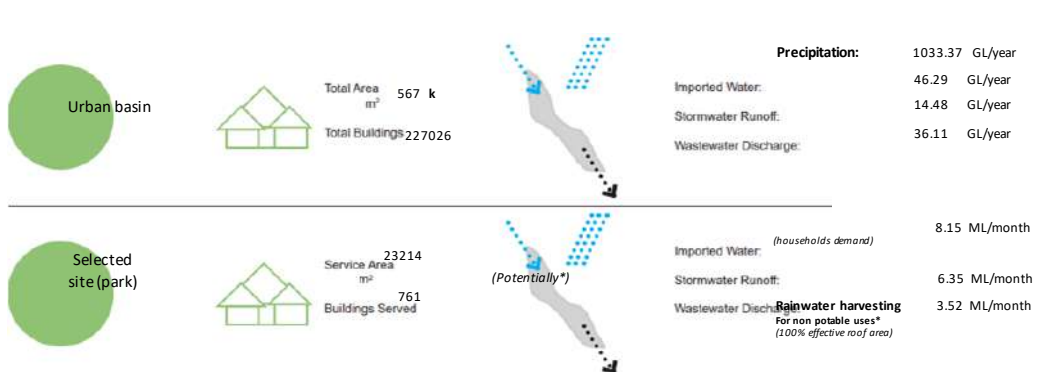
**Número de viviendas (hogares)**

865944,6 imp (L/month)  
675436,8 ww (L/month)

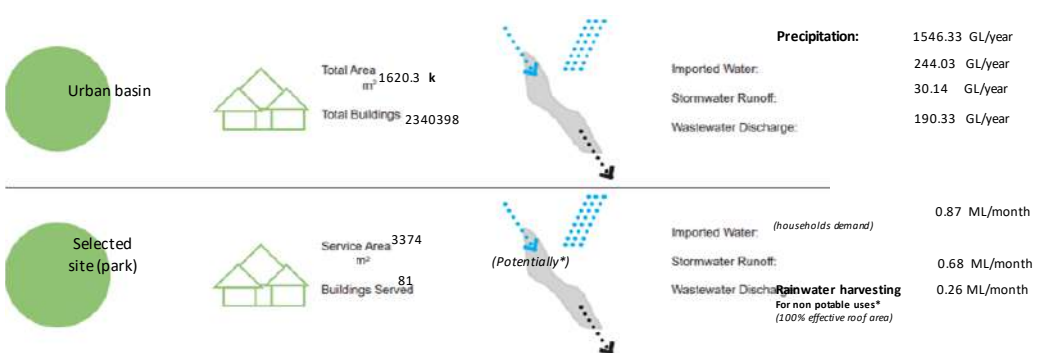
**BUCARAMANGA**



**CARTAGENA**



**BOGOTA**



Resultados del modelamiento de captación de agua ciudades de estudio

Durante este estudio también se estimó el perfil de uso del agua en cada contexto. Al menos el 52% del agua potable utilizada por los hogares se utiliza para actividades que no requieren altos estándares de calidad (por ejemplo, usos sanitarios y lavandería), se representa como la variable (CN).

Consistentemente, los flujos estimados de descargas de aguas residuales grises (WG) son superiores al 70% del volumen total de aguas residuales (W). Se trata de un recurso a menudo infravalorado (Jamrah, et al., 2008), que podría utilizarse para satisfacer plenamente la demanda de agua doméstica no potable. Junto con el agua de lluvia recolectada, el postratamiento (Hamlyn-Harris, et al., 2019) podría reducir la demanda de agua potable centralizada hasta en un 12%.



Plazoleta del Rosario, Cartagena, 2023

## 7.2 Recomendaciones para la adaptación de espacios públicos al cambio climático

**Mejorar la accesibilidad:** La modernización de los espacios públicos en Colombia debe centrarse en mejorar la accesibilidad para todas las personas, incluidas aquellas con discapacidades. Esto puede implicar la instalación de rampas, ascensores y caminos ampliados para garantizar un fácil movimiento dentro del espacio.

**Mejorar la iluminación:** mejorar la iluminación en los espacios públicos puede mejorar la seguridad y alentar a más personas a usarlos, especialmente durante la noche. Las recomendaciones de modernización pueden incluir la instalación de luces LED de bajo consumo, luces con sensores de movimiento y la ubicación adecuada de los accesorios de iluminación para una máxima visibilidad.

**Instalar infraestructura verde:** Colombia experimenta fuertes lluvias, por lo que la modernización de los espacios públicos debe incluir la implementación de medidas de infraestructura verde. Esto puede implicar la instalación de jardines de lluvia, techos verdes y sistemas de recolección de agua de lluvia para gestionar la escorrentía de aguas pluviales y prevenir inundaciones.

**Incorporar Materiales Sostenibles:** Al momento de adecuar espacios públicos, es importante seleccionar materiales sustentables y duraderos que puedan soportar las condiciones climáticas del país. El uso de materiales reciclados o de origen local también puede contribuir a reducir la huella de carbono asociada con el proceso de modernización.

**Mejorar el transporte público y la infraestructura para bicicletas:** la modernización de los espacios públicos debe priorizar la integración del transporte público y la infraestructura para bicicletas en las cercanías. Esto puede implicar la construcción de paradas de autobús exclusivas, carriles para bicicletas y estacionamientos para bicicletas para fomentar modos de transporte sostenibles.

**Crear espacios multifuncionales:** las recomendaciones de modernización deben apuntar a crear espacios públicos multifuncionales que atiendan una variedad de actividades. Esto puede implicar agregar áreas para sentarse, zonas de sombra, áreas de juego y equipos de ejercicio para promover el ocio, la recreación y la interacción social. De igual manera la multifuncionalidad en relación con la inclusión de infraestructura verde para el tratamiento de aguas lluvias y servidas, aportando funciones de restauración del ciclo del agua urbano.

**Mejorar la gestión de residuos:** la modernización debe incluir la instalación de contenedores de residuos e instalaciones de reciclaje adecuados para fomentar prácticas adecuadas de eliminación de residuos. La integración de contenedores separados para residuos orgánicos y reciclables puede ayudar a minimizar el impacto ambiental y promover el reciclaje.

**Mejorar la seguridad pública:** Las recomendaciones de modernización deben priorizar la implementación de medidas para mejorar la seguridad pública en los espacios públicos. Esto puede implicar la instalación de cámaras de vigilancia, cabinas de llamadas de emergencia e iluminación adecuada para disuadir actividades delictivas y garantizar el bienestar de los usuarios.

**Fomentar la sombra natural:** En el clima cálido de Colombia, modernizar los espacios públicos para incluir elementos de sombra natural, como árboles y pérgolas, puede brindar alivio del sol y promover el confort al aire libre. La selección de especies de árboles nativos también puede contribuir a la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas.

**Incorporar señalización informativa:** la modernización de los espacios públicos debe incluir la instalación de señalización informativa que proporcione indicaciones, eduque sobre la historia y la importancia del espacio y promueva la conciencia sobre cuestiones ambientales y sociales.

**Estas recomendaciones de modernización pueden ayudar a transformar los espacios públicos en Colombia en entornos más inclusivos, sostenibles y estéticamente agradables para el disfrute de la comunidad. Por lo tanto, es de vital importancia que las alcaldías y secretarías de infraestructura, de planeación y de espacio público realicen los estudios necesarios para confirmar la viabilidad técnica y desarrollo de este tipo de proyectos de gran importancia para reducir la vulnerabilidad urbana al cambio climático.**





Visualización Plazoleta del Rosario con humedales artificiales Bogota, 2023



Vías inundadas en temporada de lluvias, Barrio Bosque Izquierdo, Bogotá, 2023



**INTEGRACIÓN CON  
MANUALES DE  
DISEÑO DE ESPACIO  
PÚBLICO EN  
COLOMBIA**

## 8.1 Manuales de Diseño de espacio público y SUDS en Colombia

La calidad del espacio público es fundamental para el desarrollo de las ciudades, ya que es el lugar donde se llevan a cabo muchas de las actividades diarias de sus habitantes. Por esta razón, en Colombia se han elaborado diferentes manuales de diseño de espacio público que buscan guiar a los profesionales y ciudadanos en la creación de espacios adecuados y amigables.

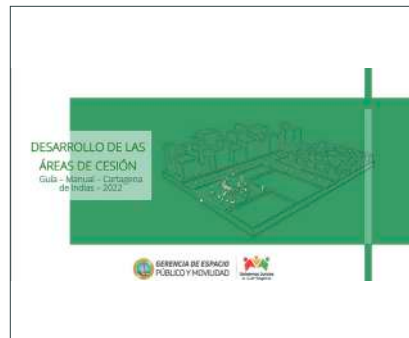
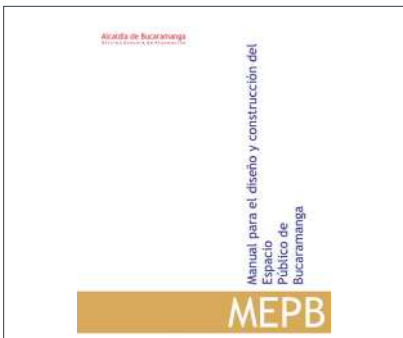
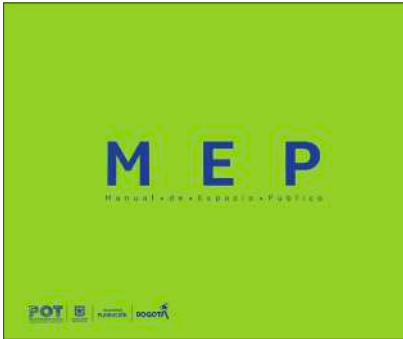
Uno de los manuales más importantes es el "Manual de Diseño de Espacio Público" del Departamento Nacional de Planeación (DNP). Este manual establece principios fundamentales para diseñar y construir espacios públicos de calidad, considerando aspectos como la integración social, la seguridad, la accesibilidad y la sostenibilidad. Además, ofrece recomendaciones específicas respecto a aspectos como mobiliario urbano, vegetación, iluminación, entre otros.

Otro manual relevante es el "Manual de Espacio Público" del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Este documento tiene como objetivo principal proporcionar directrices para la planificación, diseño y gestión del espacio público a nivel municipal. En él se establece la importancia del espacio público como elemento integrador de la ciudad, destacando su función social, cultural y económica. Además, se abarcan temas como la movilidad peatonal, ciclista y la integración del espacio público con los sistemas de transporte.

También es importante mencionar el "Manual Espacio Público" del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) de Bogotá. Este manual se enfoca específicamente en la ciudad de Bogotá y busca establecer criterios claros y específicos para el diseño y construcción de espacios públicos en la capital colombiana. Este manual es de gran relevancia debido a la importancia del espacio público en la ciudad, especialmente en proyectos como el Plan Maestro de Espacios Públicos.

En conclusión, los manuales de diseño de espacio público en Colombia son herramientas fundamentales para mejorar la calidad de los espacios públicos en las ciudades del país. Estos manuales ofrecen directrices y principios que permiten a los profesionales y ciudadanos crear espacios seguros, accesibles y amigables, mejorando la calidad de vida de los habitantes y fortaleciendo el sentido de pertenencia y convivencia en las ciudades. Por lo tanto, es fundamental actualizar estos manuales con una visión de estrategia de adaptación al cambio climático, aprovechando el potencial de las infraestructuras azul-verdes y otras herramientas para reducir la vulnerabilidad de nuestras ciudades a eventos meteorológicos incrementados por el cambio climático.

**A continuación se presenta una breve revisión de los manuales de las ciudades de estudio en relación con la inclusión de SUDS o NBS.**



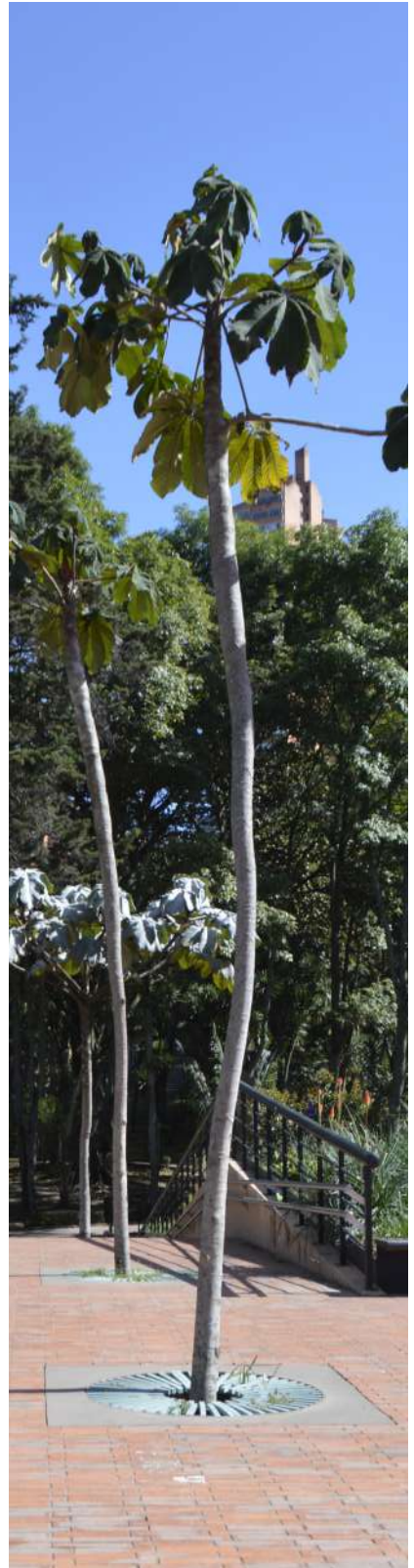
1. Bogotá (2023) El manual de Espacio Público de Bogotá fue revisado y actualizado en 2023, y en el se incluyen secciones pertinentes al uso de SUDS y otras estrategias de adaptación de espacios públicos al CC.
2. Medellín (2016) Este manual incluye elementos de diseño de espacio público, pero no tiene una sección dedicada a sostenibilidad ambiental del EP.
3. Bucaramanga (2018) Este manual originalmente publicado en 2005 y actualizado parcialmente en 2019 no incluye secciones dedicadas a SUDS, o otras estrategias de adaptación al CC.
4. Cartagena (2019). Cartagena no tiene un manual de espacio público oficial, y existe solo una guía para el diseño de zonas de cesiones, en el cual no se incluyen consideraciones ambientales o del CC.

**El análisis de los manuales de diseño de espacio público en Bucaramanga es fundamental para comprender cómo se planifica y se lleva a cabo la creación de espacios públicos en la ciudad. Estos manuales son documentos técnicos que establecen los criterios y lineamientos para el diseño y desarrollo de espacios públicos, con el objetivo de garantizar la calidad y funcionalidad de los mismos.**

En primer lugar, es importante destacar que los manuales de diseño de espacio público en Bucaramanga se basan en principios de sostenibilidad, accesibilidad universal, equidad e inclusión social. Estos principios son fundamentales para crear espacios públicos que sean accesibles y utilizables por todas las personas, sin importar su condición física o social. Además, los manuales establecen criterios de diseño urbano y arquitectónico, que buscan generar espacios públicos que sean estéticamente agradables, que se integren armónicamente al entorno urbano y que fomenten la convivencia y el bienestar de los ciudadanos.

En cuanto a los elementos que se tienen en cuenta en el diseño de espacio público, los manuales contemplan aspectos como la distribución del mobiliario urbano, la vegetación, la iluminación, la señalización, la accesibilidad para personas con discapacidad, entre otros. Estos elementos son clave para crear espacios públicos funcionales y atractivos, que promuevan la interacción social y el disfrute de los ciudadanos. Por otro lado, los manuales de diseño también establecen recomendaciones para la recuperación y el mejoramiento de los espacios públicos existentes. Esto es de vital importancia, ya que permite revitalizar áreas degradadas o subutilizadas de la ciudad, brindando a los ciudadanos nuevos lugares de encuentro y recreación.

*En resumen, los manuales de diseño de espacio público en Bucaramanga son herramientas fundamentales para el desarrollo y la mejora de los espacios públicos en la ciudad. Estos documentos establecen criterios y lineamientos que buscan garantizar la accesibilidad, la funcionalidad y la calidad de los espacios públicos, promoviendo así una mejor calidad de vida para los ciudadanos.*



El análisis manual de diseño de espacios públicos de Medellín debe tomar en cuenta varios aspectos clave para lograr un diseño exitoso y funcional. Algunos de los puntos que deben ser considerados son los siguientes:

- **Contexto urbano:** Es importante comprender el contexto urbano en el que se encuentra el espacio público, incluyendo aspectos como la topografía, el entorno construido, la historia y la identidad cultural de la zona, entre otros.
- **Participación ciudadana:** La participación ciudadana debe ser un elemento clave en el diseño de espacios públicos. Se debe fomentar la inclusión de los ciudadanos en el proceso de diseño, a través de actividades como talleres, encuestas, grupos de discusión, entre otros.
- **Movilidad:** El diseño de los espacios públicos debe tener en cuenta la movilidad de las personas. Se deben considerar aspectos como la accesibilidad para personas con discapacidad, rutas peatonales, ciclovías, transporte público, entre otros.
- **Funcionalidad:** Los espacios públicos deben ser diseñados para cumplir una función específica. Se debe analizar cuál es el propósito principal del espacio y cómo se pueden adaptar sus elementos para lograrlo. Por ejemplo, si se trata de un parque, se deben incluir áreas verdes, mobiliario urbano, juegos infantiles, espacios para realizar actividades culturales, entre otros.
- **Seguridad:** La seguridad de los usuarios es un elemento clave en el diseño de espacios públicos. Se deben tener en cuenta aspectos como la iluminación, la vigilancia, la ubicación de los elementos de mobiliario urbano, entre otros, para garantizar un ambiente seguro.
- **Sostenibilidad:** El diseño de espacios públicos debe ser sostenible, es decir, debe ser respetuoso con el medio ambiente y promover la utilización de recursos naturales. Esto implica el uso eficiente de la energía, la conservación del agua, la utilización de materiales ecoamigables, entre otros.
- **Identidad cultural:** Los espacios públicos deben reflejar la identidad cultural de la ciudad y de sus habitantes. Se deben incluir elementos que resalten las tradiciones y la historia de la zona, como murales, esculturas, elementos arquitectónicos, entre otros.

*Estos son solo algunos de los aspectos fundamentales a considerar en el análisis manual de diseño de espacios públicos en Medellín. Sin embargo, cada proyecto puede tener características particulares que deben ser tomadas en cuenta de manera específica. Es importante contar con un equipo multidisciplinario que pueda abordar todos estos aspectos y lograr un diseño integral y de calidad.*

**Adaptar las soluciones basadas en la naturaleza a cada contexto en el diseño del espacio público en Colombia es fundamental para promover la sostenibilidad, conservar la biodiversidad y mejorar la calidad de vida de las personas. A continuación, se presentan algunas estrategias para lograr esta integración:**

- **Incorporar áreas verdes** Incluir vegetación en los diseños de parques, plazas y calles peatonales. Esto no solo aporta una estética agradable, sino que también ayuda a reducir la temperatura, mejorar la calidad del aire y proporcionar espacios de recreación y esparcimiento.
- **Utilizar materiales sostenibles** Optar por materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente, como madera certificada, piedra natural, pinturas ecológicas, entre otros. Evitar el uso de materiales tóxicos o que generen residuos contaminantes.
- **Incorporar sistemas de drenaje sostenible** Implementar técnicas de drenaje que permitan la infiltración del agua en el suelo, como la construcción de zanjas de infiltración, jardines de lluvia o techos verdes. Esto ayuda a reducir la carga en el sistema de alcantarillado y promueve la recarga de acuíferos.
- **Diseñar espacios para la fauna local** Incluir elementos como bebederos, comederos y refugios para aves, insectos y otros animales. Fomentar la presencia de especies nativas y contribuir a la conservación de la biodiversidad local.
- **Promover la accesibilidad universal** Diseñar espacios públicos que sean accesibles para todas las personas, incluyendo aquellas con movilidad reducida o discapacidades. Incorporar rampas, pasamanos, señalización adecuada, entre otros elementos.
- **Fomentar la educación ambiental** Incluir paneles educativos, señalización y actividades relacionadas con el medio ambiente en los espacios públicos. Estos mensajes pueden informar sobre la importancia de la conservación de la naturaleza y promover prácticas sostenibles.
- **Establecer alianzas con organizaciones ambientales:** Trabajar en conjunto con ONGs, instituciones académicas u otras entidades dedicadas a la conservación de la naturaleza. Estas colaboraciones pueden permitir obtener asesoramiento especializado, financiamiento y apoyo en la implementación de soluciones basadas en la naturaleza.

*Es importante tener en cuenta que cada proyecto es único y tendrá sus propias necesidades y características. Por lo tanto, es fundamental realizar estudios preliminares, contar con la participación de diversos actores como la academia, sector público y privado y cooperación internacional para los ODS.*



Plazoleta del Rosario, la Candelaria Bogota, 2023



Parque Centenario, Cartagena, 2023



# VISUALIZACIÓN Y READAPTACIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS

Los espacios públicos seleccionados fueron modelados tridimensionalmente con la re adaptación de NBS para diferentes usos según las necesidades de cada zona. Estas visualizaciones permiten comunicar las propuestas de transformación urbana de una manera mas eficiente con los actores de la comunidad y del sector publico.

## 9.1 Bogotá- Plazoleta del Rosario



Planta - Humedales Construidos



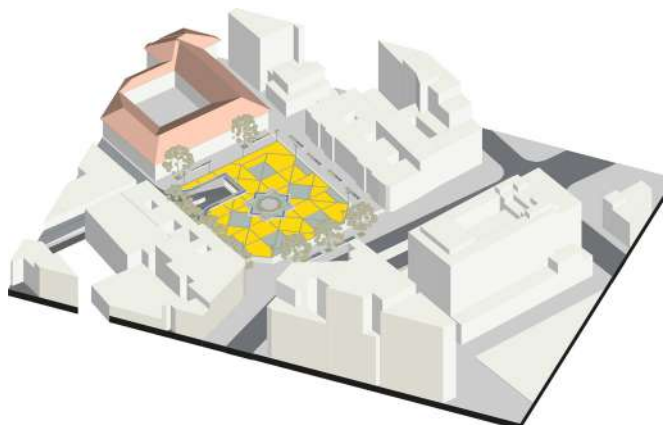
Imágenes área Intervención - Fuente y Bancas



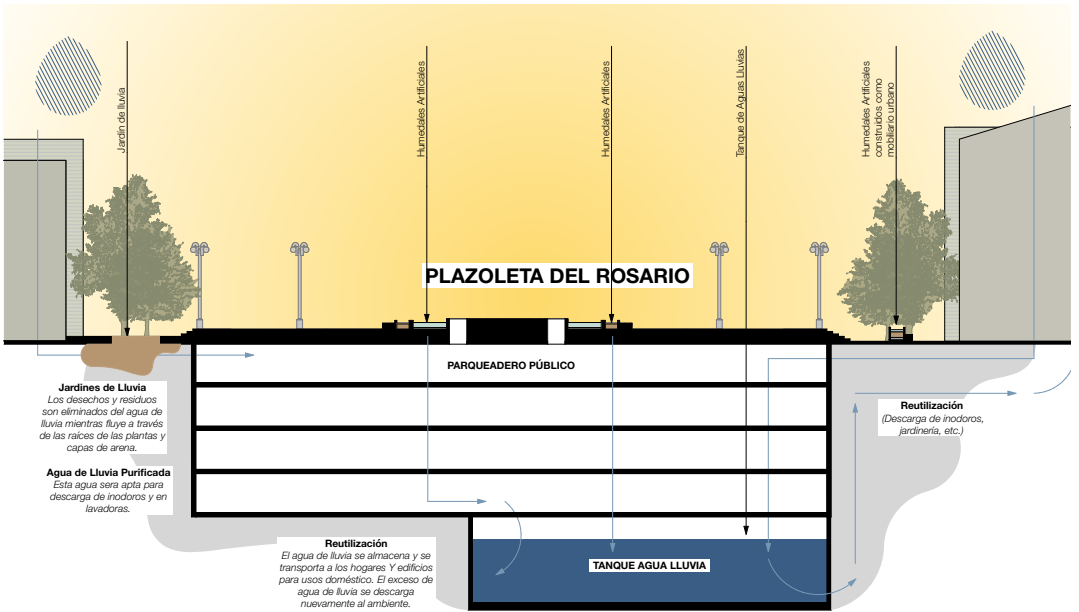
Imágenes área Intervención - Humedales Construidos



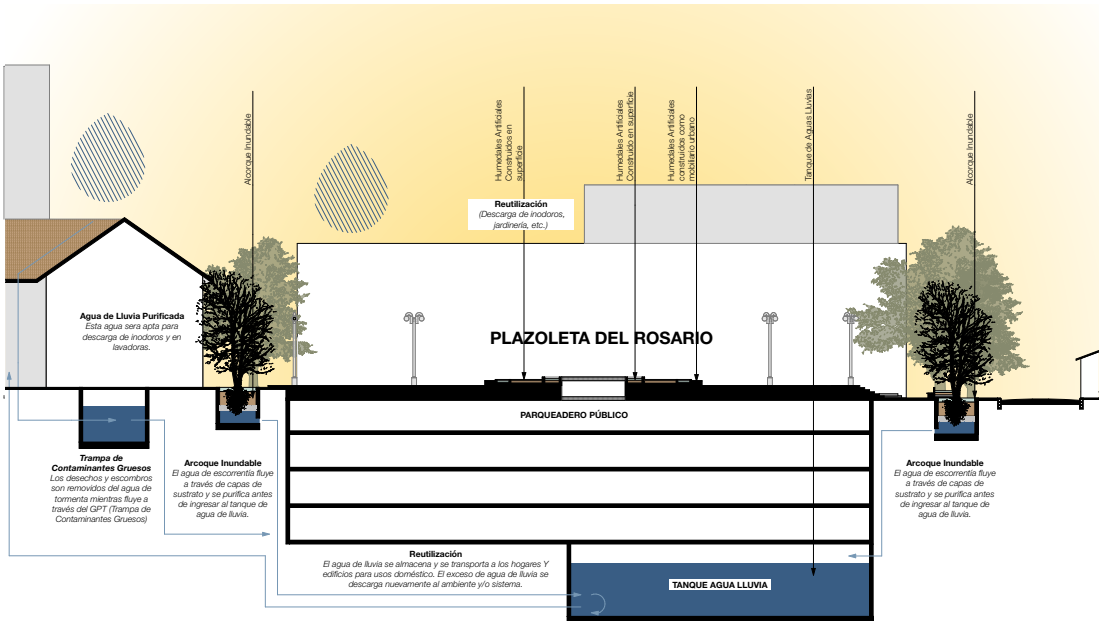
Imágenes área Intervención - Plazoleta del Rosario



Isométrico área Intervención - Plazoleta del Rosario



Corte Longitudinal - Plazaleta del Rosario



Corte Transversal - Plazaleta del Rosario

## 9.2 Cartagena- Barrio Boston

### BARRIO BOSTON

(Ciénaga de la Virgen)



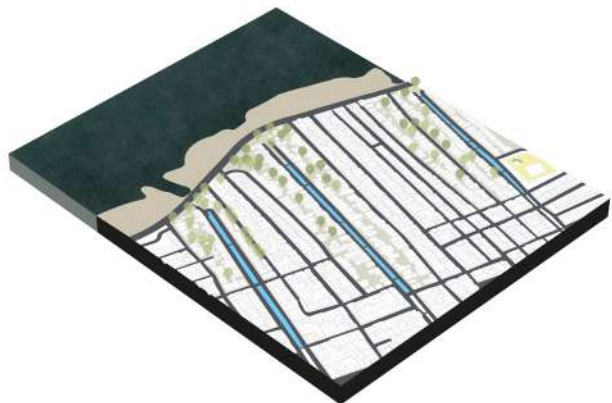
Imágenes área Intervención - Bancas y Humedales Constuidos



Imágenes área Intervención - Corte Canal Jardines de lluvia

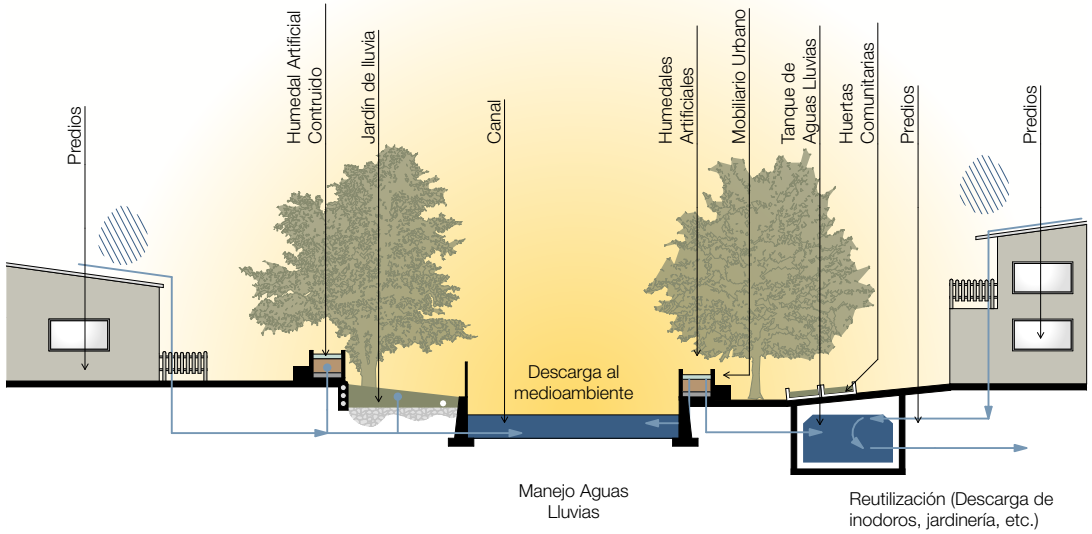


Imágenes área Intervención - Canal  
Mobiliario adecuación espacio.



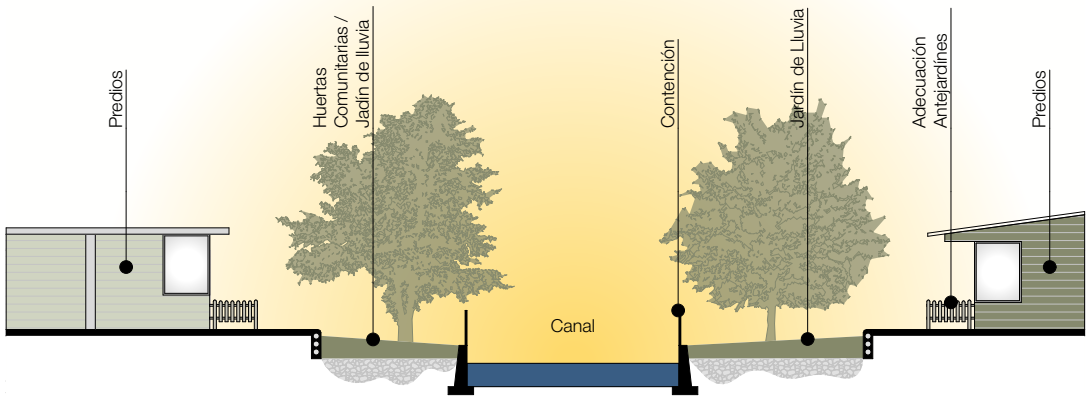
Isométrico área Intervención - Barrio  
Boston

**BARRIO BOSTON**



**Corte Transversal A - Canal Barrio Policarpa**

**BARRIO BOSTON**



**Corte Transversal B - Canal Barrio Policarpa**

## 9.3 Cartagena- Centenario



Humedales- Plazoleta Parque Centenario



Fotografía- Plazoleta Parque Centenario



Humedales- Plazoleta Parque Centenario



Fotografía- Plazoleta Parque Centenario



Humedales- Plazoleta Parque Centenario

## 9.4 Bucaramanga- Parque de los Sueños



Humedales- Parque de los Sueños



Humedales- Parque de los Sueños



Humedales - Parque de los Sueños



Humedales- Parque de los Sueños



Humedales- Parque de los Sueños



**El Laguito La Costanera, Cartagena, 2023**



# **COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA SBN**

**10**

## 10.1 IWA International Water Association conference Burdeos 2023

La cooperación internacional es una parte fundamental del planeamiento de ciudades sensibles al agua, por tal motivo este proyecto presento sus resultados de investigación en eventos nacionales e internacionales, que fueron el escenario de la retroalimentación del proyecto y búsqueda de alianzas internacionales en apoyo a las ODS, especialmente las ODS 11 de Ciudades Sostenibles y la ODS 4 de Agua para todos.

En el mes de septiembre de 2023 presentamos nuestra investigación en la IWA Conference on Efficient Urban Water Management in Bordeaux, this 13-15 Sept. "Water Sensitive Cities in Colombia: Public space adaptations to climate change", desarrollada en Bogota, Bucaramanga y Cartagena, Colombia. Estuvimos en la Session 3 - Planning & implementation of water efficiency programs, el 13 de Septiembre, 4 pm, en el Centre de Congrès Cité Mondiale, Bordeaux, France.

Los resultados de investigación presentados en esta conferencia fueron seleccionados para publicarse en el IWA Journal of Water and Technology, actualmente el texto esta en revisión de los editores del Journal y programado para publicación en 2024. Cuando el artículo esté publicado lo compartiremos en nuestra pagina web y redes sociales.

Muchas gracias a los coautores del articulo Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos from Universidad del Rosario and Urban Mapping Agency por su patrocinio y al equipo de investigación y colaboradores : Martijn Kuller, Bryan Zurita, Luis Carrasco-S, Alejandra Riveros Rueda, Patrycja Gościńskiak, Konrad Kustosik y Santiago Rodz.





**Le miroir d'eau bordeauxo, Burdeos 2023**

## 10.2 WSCC Conference 2023

### Cuenca

Fuimos también invitados a la ciudad de Cuenca (Ecuador) a presentar nuestro proyecto sobre adaptación de espacios públicos al cambio climático con SBN en Colombia en la Conferencia de Seguridad Hídrica y Cambio Climático 2023, organizada por la Red SDGnexus, los Centros de Recursos Naturales y Desarrollo, el Centro de Seguridad Alimentaria (FSC), Servicio Alemán de Intercambio Académico DAAD, Universidad de Hohenheim y Universidad de Cuenca.

La Conferencia sobre Seguridad Hídrica y Cambio Climático (WSCC) es un evento anual donde científicos, formuladores de políticas y partes interesadas de diversos sectores discuten las diversas facetas de la seguridad hídrica y su relación con la variabilidad climática y el cambio climático. La conferencia se esfuerza por ir más allá de la ciencia y construir puentes entre lo último en múltiples disciplinas y diferentes grupos de partes interesadas y profesionales. Gracias a todos los participantes de nuestro panel por sus interesantes comentarios y debates sobre la import





Rio Tomebamba, Cuenca, Ecuador

## 10.3 Cooperación Internacional Programa ERASMUS+ Unión Europea

La cooperación internacional para la adaptación de las ciudades al cambio climático es una de las herramientas más importantes para apoyar las iniciativas locales en busca de ciudades con mejor relación con sus ecosistemas hídricos.



En el presente proyecto contamos con el apoyo de la Unión Europea a través del programa ERASMUS+, el cual patrocinó la práctica profesional de dos estudiantes de maestría de la Universidad de Varsovia: Patrycja Gosciniak y Konrad Kustosik, los cuales apoyaron el desarrollo del proyecto en los análisis urbanos levantamiento de información en campo y mapeos morfológicos de los sectores de estudio. Esta cooperación fue de gran importancia para nuestro proyecto ya que permitió establecer lazos de cooperación académica con Polonia para apoyar la transición urbana hacia ciudades más sensibles con el agua.





Canales Barrio Boston, Cartagena, 2023



Barrio Boston, Cartagena, 2023



# RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

## 11.1 Recomendaciones para implementación NBS

En el siglo XXI, la gestión del agua en entornos urbanos se ha convertido en un desafío global, exigiendo soluciones inmediatas centradas en la Gestión Integrada del Agua Urbana y su conexión con los esquemas de planificación y diseño. En el contexto de Bogotá, Cartagena y Bucaramanga, este desafío no es la excepción, ya que carecen de un enfoque adaptativo que dificulta el desarrollo de nuevas estrategias urbanas considerando aspectos como la sostenibilidad, la habitabilidad, la resiliencia, la productividad, la prosperidad y la adaptabilidad (Molina y Villegas, 2015). De hecho, cuando se las evalúa dentro del Marco de Transición del Agua Urbana, se puede decir que están lejos de convertirse en ciudades sensibles al agua, ya que se centran en brindar servicios de suministro de agua, proteger la salud pública y mitigar los impactos de las inundaciones, colocándolas en las primeras tres etapas de la transición hídrica urbana de un total de seis (Brown, et al., 2015).

Una breve explicación de esto se refleja en la ausencia de un ideal de desarrollo de infraestructura moderno y el papel dominante de la gestión del agua urbana basándose principalmente en un paradigma hidráulico (Furlong, 2015); (Kakoulas, et al., 2022); (Bichai y Flamini, 2018). Esto implica el desafío de reorientar la capacidad profesional y organizacional hacia un nuevo enfoque que priorice la resiliencia a través de la adaptabilidad, la flexibilidad y el trabajo de múltiples impulsores (García, et al., 2019).

En este sentido, Bogotá va en buen camino, ya que ha logrado avances significativos en el desarrollo e implementación de propuestas que integran tecnologías e infraestructuras (Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible - SUDS) al ciclo urbano del agua. Sin embargo, estos avances no son suficientes porque no están orientados hacia una transición exitosa reflejada en una curva en forma de "S" que consta de tres fases: preentrega, aceleración y estabilización (Grin, et al., 2010); (Jefferies y Duddy, 2011). Bogotá se encuentra en una fase de aceleración debido a lineamientos metodológicos y regulatorios que incentivan el desarrollo del SUDS.

Cartagena se encuentra en fase de preentrega gracias al Plan de Gestión Integrada del Cambio Climático que incorpora SUDS. Bucaramanga aún está rezagada en este proceso al carecer de proyectos o normativas que fomenten el desarrollo de tecnologías o infraestructuras sustentables para la ciudad. Por lo tanto, las fases de aceleración y estabilización siguen sin desarrollarse ya que todavía no hay evidencia clara hacia soluciones más sostenibles que involucren conexiones colaborativas entre los actores sociales, el gobierno (nacional, regional y local), la academia y la industria.

Para mejorar estos procesos, se deben identificar áreas adecuadas para el desarrollo de nuevos

SUDS dentro del contexto local. Si bien este estudio proporciona una herramienta técnica que identifica el potencial medio-alto de la infraestructura azul-verde en espacios públicos, su desarrollo e implementación estará vinculado a estructuras institucionales, regulaciones y prácticas sociales (Madonsela, 2018). Asimismo, su difusión dependerá de identificar, asesorar e involucrar a todos los actores en la gestión del agua urbana en un marco administrativo, organizativo, legislativo, político e interdisciplinario (Carriquiry, Sauri, marzo, 2020). Al mismo tiempo, se recomienda incluir predominantemente a los actores sociales, ya que desempeñan un papel clave para cuestionar a los profesionales del agua que limitan la transición hacia una mejor gestión del agua urbana.



Plazoleta del Rosario, Barrio La Candelaria, Bogotá



Recorrido por el Barrio Boston, Cartagena, 2023

## 11.2 CONCLUSIONES

El estudio evaluó el potencial de modernizar espacios públicos seleccionados con infraestructura azul-verde para mejorar el ciclo del agua urbano y brindar un mejor apoyo a los servicios ecosistémicos. Los resultados muestran que los espacios públicos en Colombia tienen un gran potencial para incluir estas soluciones y restaurar el deterioro de los ambientes urbanos, especialmente en ciudades con sistemas acuáticos complejos como Cartagena y Bogotá. Sin embargo, estas soluciones deberían contar con un enfoque más comprometido por parte de los municipios y el sector privado para poder implementarse a gran escala.

El desarrollo de una primera publicación guía que muestre este potencial fue uno de los objetivos de esta investigación, para promover y orientar su implementación en espacios públicos como parques, plazas y calles, que apoyará la adaptación de las ciudades colombianas al gran desafío de fenómenos de cambio climático como El Niño y La Niña, que ya están aumentando la vulnerabilidad de las ciudades colombianas y sus poblaciones, resultando en grandes impactos económicos e implicaciones para la salud de sus poblaciones.

Una necesidad importante identificada por el estudio es la importancia de promover una mayor participación de las partes interesadas y los gobiernos locales en la inclusión de estrategias de SBN en sus sistemas de planificación, ya que todavía hay una baja aplicación de estas estrategias en las ciudades seleccionadas. También se necesita un liderazgo más activo de las instituciones y la academia para investigar este potencial, evaluando el potencial de los sistemas SBN y brindando pautas para su uso e integración al espacio público, considerando el gran desafío que representa el cambio climático para estas 3 importantes ciudades colombianas

Las asociaciones comunitarias y de base también son una parte importante de la transición de las ciudades hacia la sensibilidad hídrica; sin embargo, en la mayoría de los casos, su opinión sobre el proceso de planificación no se considera o solo se recopila en etapas posteriores del proceso de diseño, cuando no hay posibilidad de cambiar o modificar el diseño para adaptarlo mejor a sus necesidades sociales y culturales. Es importante considerar esto, ya que la mayoría de las intervenciones de SBN en contextos urbanos que tienen éxito se están codiseñando con las comunidades, promoviendo el compromiso con estas herramientas y el mantenimiento por parte de la comunidad y las asociaciones locales.

Finalmente, este estudio es un primer paso hacia la adopción de Soluciones Basadas en la Naturaleza en el diseño de espacios públicos, mostrando que existe un gran potencial para incorporarlas en las ciudades seleccionadas y promover la recuperación de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, se necesita más investigación sobre la evaluación de estas herramientas y su relación costo-beneficio para incentivar a los gobiernos y comunidades locales a incluirlas en sus pautas de diseño de espacios públicos y ampliar su adopción, que aún es baja en los contextos analizados.

Esto brindará a las ciudades un enfoque más resiliente frente a los desafíos del cambio climático que ya están afectando a grandes cantidades de población y ecosistemas en las ciudades seleccionadas, y apoyará la adaptación de los espacios públicos como plataformas para la recuperación ambiental de los servicios ecosistémicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este reporte agradecen el patrocinio de la Universidad del Rosario, Bogotá, Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos, a través de la Beca Fondo de Arranque de la Universidad del Rosario 2023. También agradecemos a las instituciones que colaboraron en esta publicación: Martin Kuller (Universidad de Utrecht), Bryan Zurita (IKAM Ecuador), Patrycja Gosciniak y Konrad Kustosik (ERASMUS + Program de la Unión Europea) y Alejandra Riveros (Urban Mapping Agency)

Los autores también agradecen a las municipalidades de Bogotá, Bucaramanga y Cartagena por su colaboración en la realización de los talleres y encuestas de esta investigación, especialmente a la Universidad Tadeo Lozano de Cartagena por apoyar el desarrollo de nuestros talleres y Urban Mapping Agency por el apoyo en las salidas de campo en Cartagena y Bucaramanga.

Agradecemos también a los estudiantes de la electiva de Acción Internacional y Cambio Climático de la Maestría de Derecho y Gestión Urbanística de y el programa de Gestión y Desarrollo Urbano de la Universidad del Rosario por su participación en los talleres del proyecto. También gracias especiales a Santiago Rodz por su apoyo en la primeras etapas del proyecto y la Arq. Alejandra Riveros por su colaboración con las visualizaciones de las transformaciones de los espacios públicos seleccionados.

---



**RAUL MARINO ZAMUDIO**

PhD en Sostenibilidad Urbana en la Escuela de Diseño de Melbourne, Universidad de Melbourne y CSIRO. Investigador Postdoctoral en el proyecto Ciudades Sensibles al Agua en Indonesia dirigido por la Facultad de Arte, Diseño y Arquitectura de Monash (MADA) Melbourne, y el Centro Australia-Indonesia - Clúster Urbano del Agua (2017-2019). Arquitecto de la UNAL (Colombia) y Máster en Diseño Urbano de ETH Zurich (2008), con experiencia en los sectores público y privado en Arquitectura Sostenible y Desarrollo Urbano, Diseño y Activación de Espacios Públicos y Mejora de Asentamientos Informales. Asesor de planificación estratégica en el Departamento de Planeación de la Ciudad de Bucaramanga (Colombia), Grupo de Planificación Espacial (2020-2021). Profesor Principal en Desarrollo Urbano en la Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos de la Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia (2021-). Director de la Agencia de Mapeo Urbano Urban Mapping, Bogotá.

**MARTIJN KULLER**

Soy Profesor Asistente en la Universidad de Utrecht, especializado en Soluciones Basadas en la Naturaleza y Sistemas de Apoyo a la Planificación. Mi investigación se centra en desarrollar herramientas para la planificación exitosa de Soluciones Basadas en la Naturaleza en paisajes urbanos. Recibí una beca Marie Curie Global Fellowship en febrero de 2021 para trabajar en EAWAG (Suiza) y la Université Laval (Canadá), donde continuaré desarrollando SSANTO, una herramienta para mapear la idoneidad espacial en la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza. Además, me enfocaré en desarrollar métodos de validación para estas herramientas de planificación, que son conocidas por ser difíciles de validar.



**BRYAN ZURITA**

Ingeniero en Ciencias del Agua (Carrera de Hidrología) Estoy interesado en proponer y desarrollar alternativas innovadoras para proteger y hacer uso sostenible de los recursos hídricos y acuáticos. Tengo conocimientos en áreas como: water sensitive urban design, hidrología, ecología acuática, hidráulica, sistemas de tratamiento y provisión, saneamiento, revalorización del agua, gestión integral del recurso hídrico, entre otros. Durante el desarrollo de mi carrera me interesé en temas de hidrología urbana; toma de datos de campo y laboratorio; análisis socioambientales; elaboración de informes de calidad del agua; gestión de recursos hídricos y elaboración de artículos científicos.





**LUIS CARRASCO**

Water Science Engineering / Ingeniería en Ciencias del Agua. Universidad Regional Amazónica Ikiam. Mis áreas de interés respecto a la gestión de recursos hídricos y acuáticos involucran principalmente: hidrología urbana, hidrometeorología, sistemas de tratamiento de agua, saneamiento ambiental, ecología acuática, y sistemas de información geográfica. Mi investigación actual es sobre el Diseño Sensible al Agua, específicamente, la modelación de los flujos hídricos urbanos y la evaluación de alternativas para reutilización de agua con fuentes descentralizadas.

**PATRYCJA GOSCINIAK**

Máster en Estudios Urbanos y Analista de Datos con más de 3 años de experiencia en movilidad urbana y análisis de datos. Especializado en fomentar la movilidad sostenible centrada en las personas, destaca por sus habilidades en QGIS, MS Excel y Python. Su curiosidad global se refleja en experiencias académicas en Budapest, explorando sistemas de transporte urbano, y en una pasantía transformadora en Bogotá, Colombia.



**KONRAD KUSTOSIK**

Graduado en Ingeniería de Planificación Espacial en la Universidad Nicolás Copérnico de Toruń, participé en un intercambio internacional en China con la Universidad Normal de Harbin. Actualmente, estudio Planificación Espacial en la Universidad de Varsovia, con especialización en Prospectiva Territorial. También tuve experiencia en un intercambio ERASMUS en Budapest y soy miembro del círculo de investigación AdFuturum en la Facultad de Geografía y Estudios Regionales, donde abordamos extensas investigaciones sobre futuros. En la actualidad, trabajo en el Instituto de Desarrollo Urbano y Regional.



**ALEJANDRA RIVEROS RUEDA**

Arquitecta y Diseñadora Urbana (USTA Bucaramanga). Coordinadora de proyectos en Urban Mapping Agency - Agencia de Mapeo Urbano (2021-2024). Proyectos: Proyecto Recreando culturas: Patrimonio, memoria y lugar como base del fortalecimiento de los tejidos sociales en el Tunal (2023). Coordinadora de urbanismo Táctico Proyecto: Reimaginando nuestro parque local - Urbanismo táctico en el parque Tunal II (2022). Alcaldía de Bucaramanga: Arquitecta del Taller de Arquitectura de la Secretaría de Infraestructura - Proyectos Parques Públicos y Equipamientos Sociales en Bucaramanga (2019-2021).



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ramírez-Lovering, D., Susilo, H., Syaukat, Y., Marino, R., Marthanty, D. R., & Simarmata, H. A. (2021). Case study: Pulo Geulis' transition roadmap to WSC. Available: <https://australiaindonesiacentre.org/projects/case-study-pulo-geulis-transition-roadmap-to-wsc/>
2. Sánchez-Jabba, A. M. (2014). Análisis de la respuesta del estado colombiano frente al Fenómeno de La Niña 2010-2011: el caso de Santa Lucía. Bogotá, Colombia: Banco de la República.
3. Instituto de Desarrollo Urbano IDU (2023) POT Bogota Verdece, Artículo 185:<https://www.sdp.gov.co/content/consulta-pot>.
4. Páramo, Pablo & Burbano, Andrea (2022). Habitabilidad del espacio público en Bogotá, Colombia. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 15.
5. Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, MADS, INVEVAR (2014) Plan 4C: Cartagena de Indias Competitiva y Compatible con el Clima. Resumen ejecutivo. Serie de Publicaciones Generales del INVEVAR
6. Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias (2021) Revisión y Ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Distrito De Cartagena De Indias. Documento Técnico de Soporte - etapa de diagnóstico.
7. IDEAM. (2014). Agua, amenazas de inundación. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
8. Unidad Nacional Para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD (2022) (s. f.). Acciones del Gestión del Riesgo. UNGRD.Gov. Available: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/851#:~:text=Gesti%C3%B3n%20del%20riesgo%3A%20Es%20el,para%20prepararse%20y%20manejar%20las>
9. I.D.I.G.E.R. (2022). Sistema de Información para la Gestión del riesgo y Cambio Climático. SIRE. <https://www.sire.gov.co/inicio>
10. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD (2020) Informe de Gestión 2020.
11. Alcaldía Mayor de Bogotá (2021) Documento técnico de soporte. Plan de Ordenamiento Territorial.
12. CONPES (2012) CONPES 3718 Política Nacional de Espacio Público: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Conpes-3718-de-2012.pdf>
13. Alcaldía Mayor de Bogotá (2020) Plan Distrital de Desarrollo 2020-2024 “Un Nuevo Contrato Social y Ambiental para la Bogotá del siglo XXI”. Bases del plan.
14. Marino, R., Acevedo, I., Vargas, E., Medina, M. (2021) Building climate resilient communities through Water Sensitive public space design and activation: Public parks program in Bucaramanga, Colombia. LANDac Annual International Conference 2021 – “Land, Crisis and Resilience” - Utrecht University and University of Twente
15. Wong, T. H. F., Rogers, B. C., & Brown, R. R. (2020). Transforming Cities through Water-Sensitive Principles and Practices. *One Earth*, 3(4), 436–447.
16. Jouravlev A., Matus S.S., Sevilla M.G., Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe (2021)
17. Wong, T., Brown, R. (2013) Integrated Urban Water Planning: Realising Water Sensitive Cities. DOI: 10.4324/9780203593066 In book: Resilient and Sustainable Cities Publisher: Routledge Editors: P Roberts, P Newton, L Pearson
18. Kuller, M., Bach, P.M., Roberts, S., Browne, D. and Deletic, A., (2019). A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure. *Science of the total environment*, 686, pp.856-868.
19. Ramírez-Lovering, D., Marino Zamudio, R., Arifin, H. S., Kaswanto, R. L., Simarmata, H. A. (2019). Pulo Geulis Revitalisation 2045: Urban Design and Implementation Roadmap. Australian-Indonesia Centre (AIC). <https://australiaindonesiacentre.org/projects/case-study-pulo-geulis-transitionroadmap-to-wsc/>
20. Rogers, B., Dunn, G., Chesterfield, C. (2020) Water Sensitive Cities Index: A diagnostic tool to assess water sensitivity and guide management actions. *Water Research* 186(2):116411 DOI: 10.1016/j.watres.2020.116411
21. Molina Prieto L, Villegas Rodríguez E (2015). Ciudades sensibles al agua: paradigma contemporáneo para gestionar aguas urbanas. *Rev Tecnol.* 2015;14: 53–64. doi:10.18270/rt.v14i1.18472.
22. Brown R, Rogers B, Werbeloff L (2016) Moving toward Water Sensitive Cities: A guidance manual for strategists and policy makers. 2016. Available: [www.watersensitivecities.org.au](http://www.watersensitivecities.org.au)
23. Furlong K. STS (2014) beyond the “modern infrastructure ideal”: Extending theory by engaging with infrastructure challenges in the South. *Technol Soc.* 2014;38: 139–147. doi:10.1016/J.TECHSOC.2014.04.001 84.
24. Kakoulas D, Goufopoulos S, Koumparou D, Alexakis D (2022) The Effectiveness of Rainwater Harvesting Infrastructure in a Mediterranean Island. *Water* 2022, Vol 14, Page 716. 2022;14: 716. doi:10.3390/W14050716 85.
25. Bichai F, Flamini A (2018). The Water-Sensitive City: Implications of an urban water management paradigm and its globalization. *Wiley Interdiscip Rev Water.* 2018;5: e1276. doi:10.1002/WAT2.1276
26. Garcia M, Koebele E, Deslatte A, Ernst K, Manago KF, Treuer G. (2019) Towards urban water sustainability: Analyzing management transitions in Miami, Las Vegas, and Los Angeles. *Glob Environ Chang.* 2019;58: 101967. doi:10.1016/J.GLOENVCHA.2019.101967
27. Grin J, Rotmans J, Schot J. (2010) Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change. *Transitions to Sustain Dev New Dir Study Long Term Transform Chang.* 2010; 1–397. doi:10.4324/9780203856598/TRANSITIONS-SUSTAINABLEDEVELOPMENT-JOHN-GRIN-JAN-ROTMANS-JOHAN-SCHOT 88.
28. Jefferies C, Duddy A. The SWITCH Transition Manual . (2011) Apr. Available: [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/w1-3\\_gen\\_man\\_d1.3.4\\_switch\\_transition\\_manual.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/w1-3_gen_man_d1.3.4_switch_transition_manual.pdf)

## LISTADO DE IMAGENES

1. Fotografía Barrio Getsemani, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
2. Fotografía Barrio Meissen, Bogotá, 2023 (Fuente propia)
3. Fotografía Barrio el Laguito, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
4. Fotografía Barrio el Laguito, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
5. Imágenes Satelital área de estudio QGIS (Fuente propia)
6. Imágenes Satelital Cartagena QGIS (Fuente propia)
7. Imágenes Satelital Bogotá QGIS (Fuente propia)
8. Imágenes Satelital Bucaramanga QGIS (Fuente propia)
9. Fotografía Barrio Policarpa, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
10. Gráficas Agua urbana y estados de transición (Brown et al, 2016)
11. Fotografía Río Tunjuelo Vereda Pasquilla, Bogotá 2023 (Fuente propia)
12. Enfoque de métodos mixtos Imagen 2, (Fuente propia)
13. Proceso de recolección de la información, Imagen 3, (Fuente propia)
14. Areas y sitios potenciales para la implementación de SUDS (Fuente propia)
15. Fotografía Rafael BossioEFE créditos [https://colombia.as.com/colombia/2020/11/15/actualidad/1605463513\\_951218.html](https://colombia.as.com/colombia/2020/11/15/actualidad/1605463513_951218.html)
16. Figura 1 Bucaramanga Bogotá y Cartagena (GL/MONTH) créditos, Geoportal Geoestadístico DANE
17. Figura 2 créditos, Geoportal Geoestadístico DANE
18. Figura 3 créditos, Geoportal Geoestadístico DANE
19. Figura 4 créditos, Geoportal Geoestadístico DANE
20. Resultados del análisis GIS MCDA, Barrio Meissen y Plazoleta del Rosario, Bogota, (Fuente propia)
21. Resultados del análisis GIS MCDA, Parque Lineal Rio del Oro, Bucaramanga y Parque Centenario, Cartagena, (Fuente propia)
22. Resultados del análisis GIS MCDA, Parque Centenario,(Fuente propia)
23. Resultados del análisis GIS MCDA, Barrio Policarpa (Fuente propia)
24. Resultados del análisis GIS MCDA, Barrio Boston,(Fuente propia)
25. Resultado Tabla Humedales sub-superficiales flujo horizontal Bucaramanga, (Fuente propia)
26. Resultado Tabla Humedales sub-superficiales flujo horizontal Cartagena, (Fuente propia)
27. Resultado Tabla Humedales sub-superficiales flujo horizontal Bogotá, (Fuente propia)
28. Resultados Encuesta Online 01 (Fuente propia)
29. Resultados Encuesta Online 02 (Fuente propia)
30. Resultados Encuesta Online 03 (Fuente propia)
31. Resultados Encuesta Online 04 (Fuente propia)
32. Fotografía Plazoleta del Rosario, Barrio La Candelaria, Bogota 2023 (Fuente propia)
33. Collage Fotografías Taller de diseño urbano sensible al agua,Instalaciones Universidad del Rosario, Bogotá 2023 (Fuente propia)
34. Resultados Taller Matriz DOFA, Cartagena 2023 (Fuente propia)
35. Tabla análisis de idoneidad de NBS en las ciudades seleccionadas
36. Fotografía Parque de los Niños, Bucaramanga 2023, (Fuente propia)
37. Fotografía Plazoleta del Rosario, Cartagena, 2023, (Fuente propia)
38. Fotografía Parque Centenario, Cartagena, 2023, (Fuente propia)
39. Fotografía Vías inundadas en temporada de lluvias, Barrio Bosque Izquierdo, Bogota, 2023, (Fuente propia)
40. Fotografía Vías inundadas en temporada de lluvias, Barrio Bosque Izquierdo, Bogota, 2023, (Fuente propia)
41. Fotografía Parque del Bicentenario Bogotá, 2023 (Fuente propia)
42. Fotografía Plazoleta del Rosario, la Candelaria Bogota, 2023 (Fuente propia)
43. Fotografía Parque Centenario, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
44. Planta - Humedales - Plazoleta del Rosario (Fuente propia)
45. Isométrico área Intervención - Plazoleta del Rosario (Fuente propia)
46. Imágenes área Intervención - Plazoleta del Rosario (Fuente propia)
47. Corte Longitudinal- Plazoleta del Rosario (Fuente propia)
48. Corte Transversal - Plazoleta del Rosario (Fuente propia)
49. Planta - Humedales - Barrio Boston (Fuente propia)
50. Isométrico área Intervención - Barrio Boston (Fuente propia)
51. Imágenes área Intervención - Barrio Boston (Fuente propia)
52. Corte Longitudinal- Barrio Boston (Fuente propia)
53. Corte Transversal - Barrio Boston (Fuente propia)
54. Imágenes área Intervención - Parque Centenario Cartagena (Fuente propia)
55. Imágenes área Intervención - Parque de los Sueños Bucaramanga (Fuente propia)
56. Fotografía El Laguito La Costanera, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
57. Fotografías IWA International Water Asociation conference Burdeos 2023
58. Fotografías Le miroir d eau bordeauxo, Burdeos 2023, (Fuente propia)
59. Fotografías WSCC Conference 2023 Cuenca
60. Fotografía Rio Tomebamba, Cuenca, Ecuador, (Fuente propia)
61. Fotografía Canales Barrio Boston, Cartagena 2023, (Fuente propia)
62. Fotografía Barrio Boston, Cartagena 2023, (Fuente propia)
63. Fotografía Plazoleta del Rosario Barrio La Candelaria, Bogota, (Fuente propia)
64. Fotografía Recorrido por el Barrio Boston, Cartagena, 2023, (Fuente propia)
65. Fotografía Parque Centenario, Cartagena, 2023 (Fuente propia)
66. Fotografía Parque Centenario, Cartagena, 2023 (Fuente propia)

Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de los espacios públicos para la adopción de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) y su funcionamiento en tres ciudades colombianas con diferentes altitudes, climas y morfologías urbanas: Bogotá, Bucaramanga y Cartagena. El potencial de las SBN en espacios públicos seleccionados se evaluó con modelamiento del Balance del Agua, modelamiento de idoneidad de localización de SBN usando la metodología GIS-MCDA y talleres de codiseño del espacio público con los actores del sistema del agua en las ciudades seleccionadas. Los resultados muestran que la adopción de SBN en espacios públicos y el desarrollo de lineamientos de diseño urbano para su implementación y evaluación, puede ser una estrategia valiosa para preparar nuestras ciudades al cambio climático y brindar un mejor soporte a los servicios ecosistémicos urbanos en Colombia.

