

Los sistemas urbanos de drenaje sostenibles como alternativa holística para la conservación de los humedales urbanos de Neiva, Huila*

Fecha de aceptación: 8 septiembre 2023 | Fecha de recepción: 2 junio 2023

David Ernesto Rodríguez Vivas

Universidad Manuela Beltrán,
Colombia

ORCID: 0000-0002-7073-5438

davidervi19@hotmail.com

Natalia Esteban Peña

Universidad Manuela Beltrán,
Colombia

ORCID: 0009-0000-2805-7883

Resumen El estudio relaciona los escenarios de desarrollo y la integración de tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) en los humedales de la ciudad de Neiva, Huila, desde una perspectiva integral y homogénea. Se realiza un análisis desde el punto de vista ambiental, social y económico de la implementación de SUDS para la conservación y protección de humedales urbanos de la ciudad. Partiendo desde el concepto de *holismo ecológico*, se identifican las tecnologías SUDS que mejor se ajustan a las características de los humedales urbanos locales y los beneficios o perjuicios que se pueden generar. Este análisis cualitativo describe las características de cada humedal y se evalúan y seleccionan los SUDS mediante matriz multicriterio, para finalmente ser relacionados entre sí por sus ventajas y desventajas a nivel ambiental y socioeconómico. El estudio se realiza mediante la revisión de fuentes de información primaria y secundaria enfocadas en el estudio integral y homogéneo de los factores que intervienen en el desarrollo de la ciudad frente a los ecosistemas locales, conceptualizando y definiendo los SUDS seleccionados como alternativas sostenibles que garanticen la conservación de los humedales urbanos, a la vez que impulsen a la ciudad a ser más resiliente ante los efectos del calentamiento global y del cambio climático.

Palabras clave conservación; holismo ecológico; humedales; resiliencia climática; SUDS

*Artículo de investigación científica

Como citar: Rodríguez Vivas, D. E. y Esteban Peña, N. (2023). Los sistemas urbanos de drenaje sostenibles como alternativa holística para la conservación de los humedales urbanos de Neiva, Huila. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu16.suds>



Sustainable Urban Drainage Systems as a Holistic Alternative for the Conservation of Urban Wetlands in Neiva, Huila

Abstract The study relates the development scenarios and the integration of sustainable urban drainage systems (SUDS) technologies in the wetlands of the city of Neiva, Huila, from a comprehensive and homogeneous perspective. An analysis is carried out from the environmental, social and economic point of view of the implementation of SUDS for the conservation and protection of urban wetlands in the city. Based on the concept of “ecological holism”, the SUDS technologies that best fit the characteristics of local urban wetlands and the benefits or harms that can be generated are identified. This qualitative analysis describes the characteristics of each wetland, and the SUDS are evaluated and selected using a multicriteria matrix, to finally be related to each other due to their advantages and disadvantages at the environmental and socioeconomic level. The study is carried out by reviewing primary and secondary information sources focused on the comprehensive and homogeneous study of the factors that intervene in the development of the city in relation to local ecosystems, conceptualizing and defining the selected SUDS as sustainable alternatives that guarantee the conservation of urban wetlands, while encouraging the city to be more resilient to the effects of global warming and climate change.

Keywords Conservation; Ecological Holism; Wetlands; Climate Resilience; SUDS

Sistemas de drenagem urbana sustentável como uma alternativa holística para a conservação de áreas úmidas urbanas em Neiva, Huila

Resumo O estudo relaciona os cenários de desenvolvimento e integração de tecnologias de sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS) nas zonas úmidas da cidade de Neiva, Huila, numa perspectiva abrangente e homogênea. É realizada uma análise do ponto de vista ambiental, social e econômico da implantação do SUDS para a conservação e proteção das áreas úmidas urbanas da cidade. Partindo do conceito de holismo ecológico, identificam-se as tecnologias SUDS que melhor se adequam às características das zonas úmidas urbanas locais e aos benefícios ou malefícios que podem ser gerados. Esta análise qualitativa descreve as características de cada zona úmida e os SUDS são avaliados e selecionados através de uma matriz multicritério, para finalmente serem relacionados entre si pelas suas vantagens e desvantagens a nível ambiental e socioeconómico. O estudo é realizado através da revisão de fontes de informação primárias e secundárias voltadas para o estudo abrangente e homogêneo dos fatores que intervêm no desenvolvimento da cidade em relação aos ecossistemas locais, conceituando e definindo os SUDS selecionados como alternativas sustentáveis que garantem a conservação de áreas úmidas urbanas, ao mesmo tempo em que incentiva a cidade a ser mais resiliente aos efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas.

Palavras-chave conservação; holismo ecológico; zonas úmidas; resiliência climática; SUDS

Introducción

Los humedales poseen características para albergar biodiversidad de fauna y flora, siendo importantes para la conservación de especies locales y migratorias como en el caso de las aves. Estos ecosistemas tienen la capacidad de acumular y liberar agua, y resultan de vital importancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el artículo 1 de la Convención Ramsar se definen los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Ramsar, 2016, p. 9). Sin embargo, su interpretación sigue siendo ambigua para ser manipulada a conveniencia según los proyectos de infraestructura o explotación que se desean ejecutar.

Según una estimación reciente en la convención sobre humedales, se evidencia que ha desaparecido más del 60 % de los humedales del planeta desde el año 1900, y las especies dependientes de estos han sufrido pérdidas mucho mayores que las dependientes de otros ecosistemas, lo que ha aumentado el número de especies en peligro de desaparecer (Ramsar, 2021). En este contexto se ubican los humedales urbanos, que según Bolund y Hunhammar (1999) son aquellos que se encuentran dentro de las ciudades y que son importantes por sus funciones naturales, como la termorregulación, la disminución del ruido, el drenaje de aguas lluvias, y como sumidero de aguas residuales y para la disposición de espacios para el deporte y la recreación (Gonzales, 2018).

En la mayor parte de América Latina, la urbanización se incrementó durante los años noventa debido al crecimiento poblacional (Gutman, 1993). La urbanización puede tener impactos negativos sobre los componentes hidrológicos, del suelo y bióticos de un humedal (Hettiarachchi *et al.*, 2014). Así pues, en ciudades como Neiva, la urbanización descontrolada ha dificultado la conservación de algunos de los humedales más importantes. Los conjuntos residenciales y las manzanas urbanizadas construidas en terrenos del humedal Los Colores, ubicado en el oriente de la ciudad, lo tienen a punto de desaparecer (IGAC, 2016). El fenómeno de dispersión urbana promueve el aumento de las áreas ocupadas por los asentamientos urbanos alejados del centro de la ciudad, poniendo en riesgo ecosistemas frágiles (Muñiz y Galindo, 2005).

De esto modo, la expansión de las ciudades y la flexibilidad de la normativa ambiental están provocando la pérdida de los humedales, por lo que es necesario hallar alternativas para garantizar la conservación de estos ecosistemas. Los SUDS surgen como una disyuntiva que permite salvaguardar los humedales en tiempos donde la acción antrópica ha desencadenado afectaciones del uso del suelo y degradación ambiental en las fronteras de presión con los humedales. Pueden ser una opción para el desarrollo de las ciudades, donde las constructoras de proyectos urbanísticos contemplen estas tecnologías dentro de sus diseños, y las autoridades ambientales consideren estudios de zonificación y viabilidad ambiental con un enfoque íntegro y holístico con miras a garantizar la preservación, conservación

y recuperación de los humedales. Asimismo, se permitiría garantizar disminución de la carga de desborde dentro de la ciudad y el mejoramiento por percolación en las estructuras del suelo.

Los SUDS son nuevas tecnologías que tratan de imitar el comportamiento natural de los sumideros, y su implementación en áreas de desarrollo puede integrarse con los humedales, principalmente mediante un enfoque técnico. De allí que se haga relevante no solo entender las diferentes particularidades que se dan entre la interacción, sino comprender a los proyectos de desarrollo como un sistema que se articula a los humedales a través del equilibrio y conservación de los ecosistemas (Charlesworth y Booth, 2016). Las principales medidas estructurales se basan en cubiertas vegetadas, superficies permeables, franjas filtrantes, pozos de infiltración, drenes filtrantes, cunetas verdes, depósitos de detención, depósitos de infiltración, estanques de retención y humedales construidos (Hernandez y Maida, 2015).

En esta investigación se valida el panorama actual de los tipos de SUDS empleados para captar y distribuir las aguas lluvias y el potencial que puede ofrecer el uso de estas tecnologías en la ciudad de Neiva. La necesidad de conservar los humedales y los servicios ecosistémicos que estos nos ofrecen dentro de las ciudades hace pertinente un estudio de carácter holístico de los SUDS dentro del desarrollo de las ciudades (Quijano *et al.*, 2022). Estos podrían ser una alternativa que garantice la conservación de los humedales urbanos de la ciudad de Neiva, identificando sus características principales y las posibles problemáticas ambientales que los afectan, definiendo las diferentes tipologías de SUDS que existen y se ajusten a los ecosistemas locales identificados, y comparando las tecnologías y su implementación desde perspectivas sociales, económicas y ambientales.

Marco teórico

Algunas tecnologías alternativas como los SUDS han empezado a reglamentarse en países desarrollados y no desarrollados por sus potenciales y beneficios (Castellanos, 2018). Las tipologías de SUDS permiten abarcar la planeación, el diseño y la gestión de las aguas lluvias desde una visión holística que contemple los aspectos medioambientales, sociales, hidrológicos e hidráulicos (Momparker y Andrés-Doménech, 2007). No obstante, los humedales pueden ser vistos como ecosistemas complejos, los cuales deben ser tratados como sistemas socio-ecológicos (Delgado y Marín, 2018).

En cuanto a la implementación de las tecnologías SUDS, Garcia (2007) realiza su estudio en la ciudad de Paterna (Valencia), donde se efectuaron distintos SUDS en los proyectos de desarrollo urbano, implementando una zona verde como depósito de detención de agua para compensar los incrementos del caudal punta que producen los sistemas clásicos de drenaje sobre el río Turia, logrando una buena integración paisajística y la compatibilidad con usos recreativos en tiempos de bajas precipitaciones. Asimismo, en República Dominicana, Otaño (2018) analizó las posibilidades de los SUDS como generadores de espacio público en áreas urbanas vulnerables para garantizar la disponibilidad del agua y su ordenación sostenible.

En la misma dirección, Mayz *et al.* (2018) proponen el uso de herramientas informáticas que permiten conocer las respuestas dinámicas de todos los elementos que conforman un sistema de drenaje urbano para un evento de lluvia, puesto que las metodologías actualmente empleadas en el diseño de estos solo permiten conocer el comportamiento estático de los elementos hidráulicos que lo componen. Este trabajo muestra un procedimiento para el diseño de elementos SUDS.

Adicionalmente, a través del uso del software de aplicación EPA SWMM se logra modelar el sistema urbano de drenaje bajo las filosofías sostenibles, como propuesta para mitigar un problema de inundación urbana.

Por otro lado, Gonzales y Marín (2018) evaluaron tres SUDS: sistema de jardín de lluvia, pavimento poroso y trincheras de infiltración para la remoción de contaminantes presentes en el agua residual doméstica. Se evidenció que estos sistemas de filtración son procedimientos pasivos, en los cuales la acción de depuración permite la descomposición de los diferentes componentes presentes en el agua residual doméstica por medio de mecanismos físicos, químicos y biológicos.

Igualmente, Rodríguez y Granados (2019) determinaron la viabilidad ambiental y económica de la implementación de franjas de césped, adoquines ecológicos y techos verdes como SUDS en viviendas de interés social para la ciudad de Bogotá, concluyendo que no se ha podido incluir la sostenibilidad en la construcción, ya que existe una desarticulación entre constructoras, política pública y metas económicas a corto plazo. Por su parte, Castellanos (2018) crea una metodología de análisis para evaluar la viabilidad de SUDS en centros comerciales por medio de encuestas, evaluación multicriterio y análisis de información geográfica. Las encuestas mostraron que se pueden tener oportunidades adicionales, como la implementación de SUDS en las remodelaciones de los centros comerciales, al igual que la posibilidad de tener un atractivo turístico y de contar con centros de enseñanza y aprendizaje, de donde se podrían obtener beneficios económicos.

Finalmente, Vargas *et al.* (2020) generaron los lineamientos base para la implementación de SUDS en la ciudad de Neiva, en las áreas de recarga del humedal Matamundo, identificando las zonas

apropiadas para las estructuras en torno al humedal. Como resultado del estudio, obtuvieron información para la implementación de SUDS en espacio público y privado, desde donde se puede captar y llevar el agua hacia el humedal.

Metodología

Identificación de humedales urbanos de Neiva

Se realizó un análisis cualitativo, mediante la búsqueda de información exploratoria en fuentes secundarias, recopilando datos generados en los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), la Secretaría de Medio Ambiente de Neiva y demás programas de la Alcaldía de Neiva que han hecho reconocimiento de ecosistemas de humedal dentro del casco urbano de la ciudad. Asimismo, se verificó la información suministrada en medios de comunicación locales y nacionales, y se consultaron documentos de los entes gubernamentales nacionales y la normativa vigente relacionada con el tema de estudio.

Por otra parte, se hizo uso de información cartográfica suministrada por planeación municipal para ser analizada en el sistema de información geográfica ArcMAP. La información cartográfica tiene fecha de actualización del 24 de septiembre de 2020 y su contenido está basado en lo establecido en el Acuerdo 026 de 2009 por el cual se adopta el POT del municipio. Asimismo, se utilizaron otros sistemas de información geográfica, como Google Maps, para hacer una exploración visual de las imágenes aéreas del casco urbano de la ciudad, y Google Earth Pro, el cual permite realizar una regresión temporal de las imágenes aéreas para identificar cambios en las áreas de estudio. Finalmente, se describieron las características de cada uno de estos escenarios identificando

ubicación geográfica, componentes ecosistémicos, aspectos e impactos ambientales negativos y positivos, y aspectos socioeconómicos.

Encuesta de percepción social

Se aplicó una encuesta a la comunidad vecina de cada uno de los ecosistemas. La población son los habitantes del municipio de Neiva, mientras que la muestra son los habitantes mayores de quince años del barrio Puertas del Sol, próximo al humedal Jardín Botánico, los barrios Caminos del Oriente y Víctor Félix, próximos al humedal El Curíbano, y los barrios Villa Teresa, Antonio Nariño, El Tesoro y Los Colores, próximos al humedal Los Colores. La encuesta se aplicó de manera presencial y fue diligenciada en medio físico con visita puerta a puerta. Consta de diez preguntas entre selección múltiple con única respuesta y de respuesta “sí” o “no”, con las que se obtuvieron datos acerca de la percepción que tiene la comunidad respecto de los humedales, sus servicios ecosistémicos y la postura frente a la implementación de tecnologías de obras civiles para su conservación.

Vigilancia tecnológica de los SUDS

Se realizó vigilancia tecnológica para identificar los SUDS existentes. Se relacionaron las diferentes tecnologías y los avances realizados. La información fue recopilada a partir de fuentes secundarias, especialmente de bases de datos bibliográficos y patentes dispuestas en la red. Las tecnologías fueron descritas según sus características estructurales, de eficiencia y sus costos de implementación.

Calificación y selección de tecnologías

Una vez identificadas las tecnologías, estas se evaluaron usando una matriz multicriterio en donde se enlistaron las características de funcionalidad,

fiabilidad, eficiencia, mantenimiento y portabilidad. Por cada característica se calificaron subcaracterísticas, tales como adecuación, exactitud, seguridad, recuperabilidad, tolerancia a fallas, desempeño, uso de recursos, acoplamiento, modularidad, adaptación, instalación, área de construcción, productividad, costo de capital y costo de mantenimiento, las cuales se seleccionaron asignando una ponderación a cada una, para que sumen un total de 100. Finalmente se asignó una calificación de 1 a 5 cada subcategoría, siendo 1 deficiente, 3 adecuado y 5 muy bueno. Los SUDS seleccionados para cada humedal se relacionaron y analizaron con los componentes ambientales, sociales y económicos que intervienen en los escenarios de desarrollo y en las áreas de influencia de los propios humedales. La matriz utilizada es una adaptación de la matriz multicriterio utilizada por Hidrosan (2017).

Resultados

Identificación de humedales urbanos de Neiva

Según la cartografía suministrada por planeación municipal de la ciudad de Neiva, se identificaron 89 puntos de manantiales. De estos, 47 se localizan dentro de la microcuenca de la quebrada La Toma, una de las quebradas más largas que atraviesa la ciudad y hace parte del complejo hídrico del humedal El Curíbano. Respecto a ecosistemas de humedal delimitados en la cartografía, se identificaron el humedal Los Colores o Chaparro, el humedal El Curíbano, el humedal del Jardín Botánico, el humedal El Cóndor, el humedal La Libertad y el humedal El Coclí. Sin embargo, observando la información cartográfica, se evidenció que los humedales Los Colores, El Curíbano y Jardín Botánico cuentan con una ronda de protección definida (Figura 1), puesto que esta cartografía se basa en el Acuerdo 026 de 2009 por el cual se adoptó el POT del municipio.

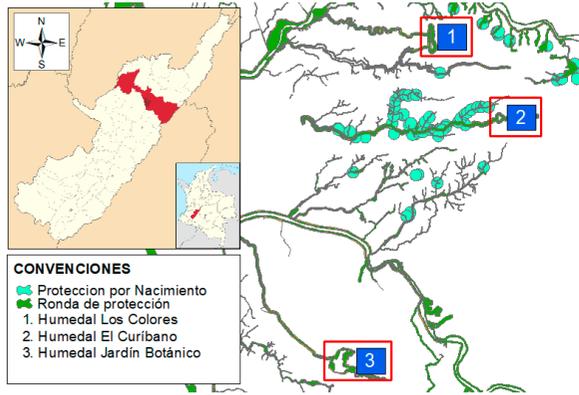


Figura 1. Humedales de Neiva con sistema de protección definido
Fuente: elaboración propia con base en la cartografía de planeación municipal, POT 2019.

El humedal Los Colores, o El Chaparro, se encuentra en el oriente del casco urbano de Neiva, en la comuna 10, colindando con los barrios Villa Teresa, Antonio Nariño y Los Colores (Figura 2). Su área de recarga comprende parte de los barrios Enrique Olaya Herrera, Pablo VI, Las Palmas, Ciudad Salitre y Misael Pastrana Borrero, y la clasificación de este cuerpo de agua corresponde a la categoría de humedal artificial, de estanques artificiales de menos de 8 ha (CAM, 2018a). La hidrografía del humedal está compuesta por la quebrada El Chaparro y la quebrada La Barrialosa, las cuales son fuentes hídricas intermitentes, que drenan el agua de la zona en temporada de lluvia, pero que en las temporadas de bajas precipitaciones y elevadas temperaturas pierden el caudal continuo, lo que provoca una falta del recurso hídrico.

El humedal El Curíbano se ubica en el oriente del casco urbano de Neiva, sobre el cauce de la quebrada La Toma en la parte alta de la microcuenca, colindando con el barrio Ipanema, y su área de recarga está comprendida por los barrios Víctor Félix Díaz, Caminos del Oriente y Siglo XXI Oriente (Figura 3). Se clasifica como humedal artificial, de estanques artificiales de menos de 8 ha (CAM, 2018b). El humedal el Curíbano tiene una extensión de más de 3900 m² y un volumen de agua aproximado de un poco más de 3300 m³. El área de recarga hídrica superficial del

humedal se encuentra intervenida por la expansión urbana, puesto que se han realizado obras de interceptación y canalización de aguas lluvias.

El humedal del Jardín Botánico, aunque tiene definida sus rondas de protección mediante el POT, no cuenta con un plan de manejo ambiental. Se encuentra al sur de la ciudad, dentro del predio del Jardín Botánico, propiedad de la Alcaldía Municipal, sobre la comuna 6 en el casco urbano, y colinda con el barrio Puertas del Sol y las obras de desarrollo urbanístico de los condominios Caminos de Santiago y Arezzo (Figura 4). El área está conformada por relictos de bosque seco tropical y el complejo hídrico que une la quebrada Matamundo y las lagunas Pisingo e Ibis (Alcaldía Municipal de Neiva, 2017) (Alcaldía Municipal de Neiva, 2017). El humedal se formó a partir del represamiento de la quebrada Matamundo, de donde surgió la laguna El Pisingo, y desde entonces se ha convertido en una de las zonas con mayor valor ambiental en el municipio. Sin embargo, este complejo de lagunas presenta mala calidad del agua (Trujillo *et al.*, 2018).



Figura 2. Delimitación espacial y ambiental del humedal Los Colores

Fuente: elaboración propia con base en la cartografía de planeación municipal, POT 2019.

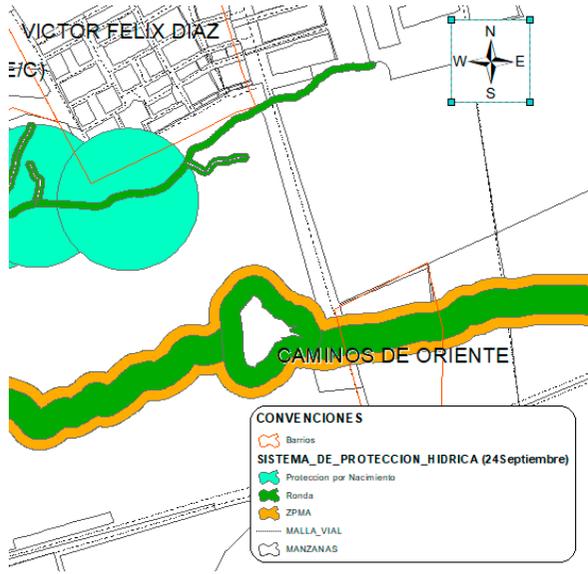


Figura 3. Delimitación espacial y ambiental del humedal El Curibano

Fuente: elaboración propia con base en la cartografía de planeación municipal, POT 2019.



Figura 4. Delimitación espacial y ambiental del humedal Jardín Botánico

Fuente: elaboración propia con base en la cartografía de planeación municipal, POT 2019.

Encuesta de percepción social

Se realizaron cien encuestas en medio electrónico por cada barrio dentro de las áreas de influencia de cada humedal. Las encuestas para el humedal Los Colores en el barrio Villa Teresa se realizaron en la tarde del 4 de marzo y en los barrios Antonio Nariño y Los Colores se realizaron el 5 de marzo. Las encuestas para el humedal El Curibano en los barrios Caminos del Oriente y Victor Félix se realizaron el 12 de marzo y las

encuestas para el humedal del Jardín Botánico en el barrio Puertas del Sol se realizaron el 19 de marzo. Estas fechas se seleccionan por ser fines de semana, con lo que se aseguraba la presencia de la mayoría de las muestras, y cada encuesta tuvo una duración de menos de cinco minutos.

Las encuestas realizadas en los barrios Villa Teresa, Antonio Nariño y Los Colores, dentro de la zona de influencia del humedal Los Colores (Figura 5), reflejan que aunque la mayoría de personas se siente a gusto con las condiciones climáticas de la ciudad, el 34,7 % de los encuestados señala no sentir gusto por las olas de calor propias de la región y mencionaron la tala de árboles como un factor que maximiza la sensación térmica cálida. Por otra parte, la mayoría de encuestados en este sector, correspondiente al 47 %, confirma conocer la existencia de al menos tres humedales dentro de la ciudad, coincidiendo con los principales humedales escogidos y mencionados en la sección anterior; mientras que solo el 15 % manifiesta saber de la existencia de más de cuatro humedales y resalta la constante lucha que ha llevado la comunidad para conservar el humedal y cómo los estudios de Rincón y Rueda (2018) han expuesto que estos humedales urbanos están siendo afectados por el avance del desarrollo urbanístico, poniendo en riesgo la conservación de especies de fauna y flora.

De los encuestados, el 61,7 % advierte que el humedal es de mucha importancia para la ciudad, mientras que el 64 % reconoce que su importancia radica en la protección del medio ambiente y el 18,7 % lo considera importante en temas relacionados a la salud, ya que el área es percibida como un sumidero de dióxido de carbono que ayuda a depurar los contaminantes atmosféricos. Las personas manifiestan que en algunas ocasiones visitan espacios naturales, y el 86,3 % dice haber visitado en alguna ocasión el humedal, manifestando que el lugar es un atractivo natural,

mientras que otras personas hacen paseos matutinos con sus mascotas. Por otra parte, los encuestados muestran nulo conocimiento acerca de los SUDS, ya que solo el 4,7 % señala haber escuchado o leído acerca de estas tecnologías; sin embargo, el 82,7 % de las personas encuestadas dice estar en disposición de invertir en tecnologías de este tipo, dejando en evidencia que la falta de información es el principal factor por el que no se invierte en tecnologías civiles para la conservación del recurso hídrico.

Las encuestas realizadas en los barrios Caminos del Oriente y Víctor Félix, dentro de la zona de influencia del humedal El Curíbano (Figura 6), muestran que el 47 % de las personas se siente

a gusto con las condiciones climáticas de la ciudad, mientras que el 28,5 % menciona que no le gusta, principalmente por las altas temperaturas. Por otra parte, el 57 % de los encuestados afirma conocer la existencia de al menos tres humedales dentro de la ciudad, mientras que solo el 16 % manifiesta saber de la existencia de más de cuatro humedales. Estos resultados se asemejan a los obtenidos dentro de la zona de influencia del humedal Los Colores, estableciendo nuevamente que la falta de conocimiento acerca de la presencia de los humedales dentro de la ciudad es uno de los factores de riesgo para estos ecosistemas.

Sin embargo, el 66,5 % de los encuestados afirma que el humedal es de vital importancia para la

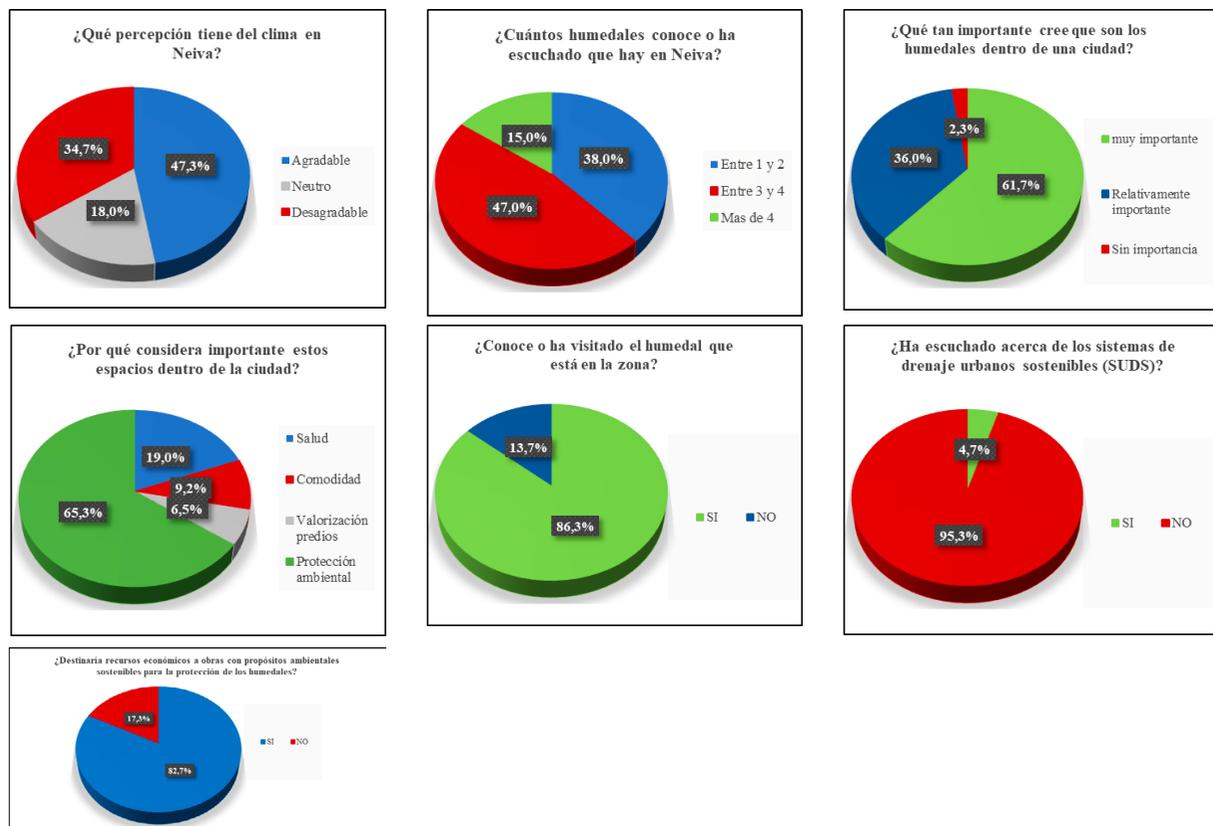


Figura 5. Resultados de las encuestas aplicadas en los barrios dentro del área de influencia del humedal Los Colores
Fuente: elaboración propia.

ciudad, ya que de este nace la quebrada La Toma, una de las de mayor longitud y más conocidas por la comunidad, mientras que el 76,5 % señala que su importancia radica en la protección del medio ambiente, indicando que las personas reconocen los riegos hacia las fuentes hídricas, pero este sentimiento es limitado a los ecosistemas que conocen; adicionalmente, un 11,5 % lo considera importante en temas relacionados a la salud. Por otra parte, el 11 % afirma que su importancia radica en temas relacionados con la recreación o la comodidad, teniendo en cuenta las adecuaciones que se han realizado en las zonas verdes alrededor de la laguna, convirtiéndose

en un punto de encuentro para adultos y niños que disfrutan del paisaje y los espacios adecuados para descansar.

De los encuestados, el 47,5 % manifiesta en algunas ocasiones visitar espacios naturales, mientras que el 86,5 % dice haber visitado en alguna ocasión el humedal. Por otra parte, los habitantes de esta zona manifiestan no haber escuchado acerca de los SUDS, y solo el 4,0 % señala saber acerca de estos, si bien el 73,5 % de las personas encuestadas dice estar en disposición de invertir en infraestructura con el propósito de cuidar del recurso hídrico, lo que indica nuevamente que

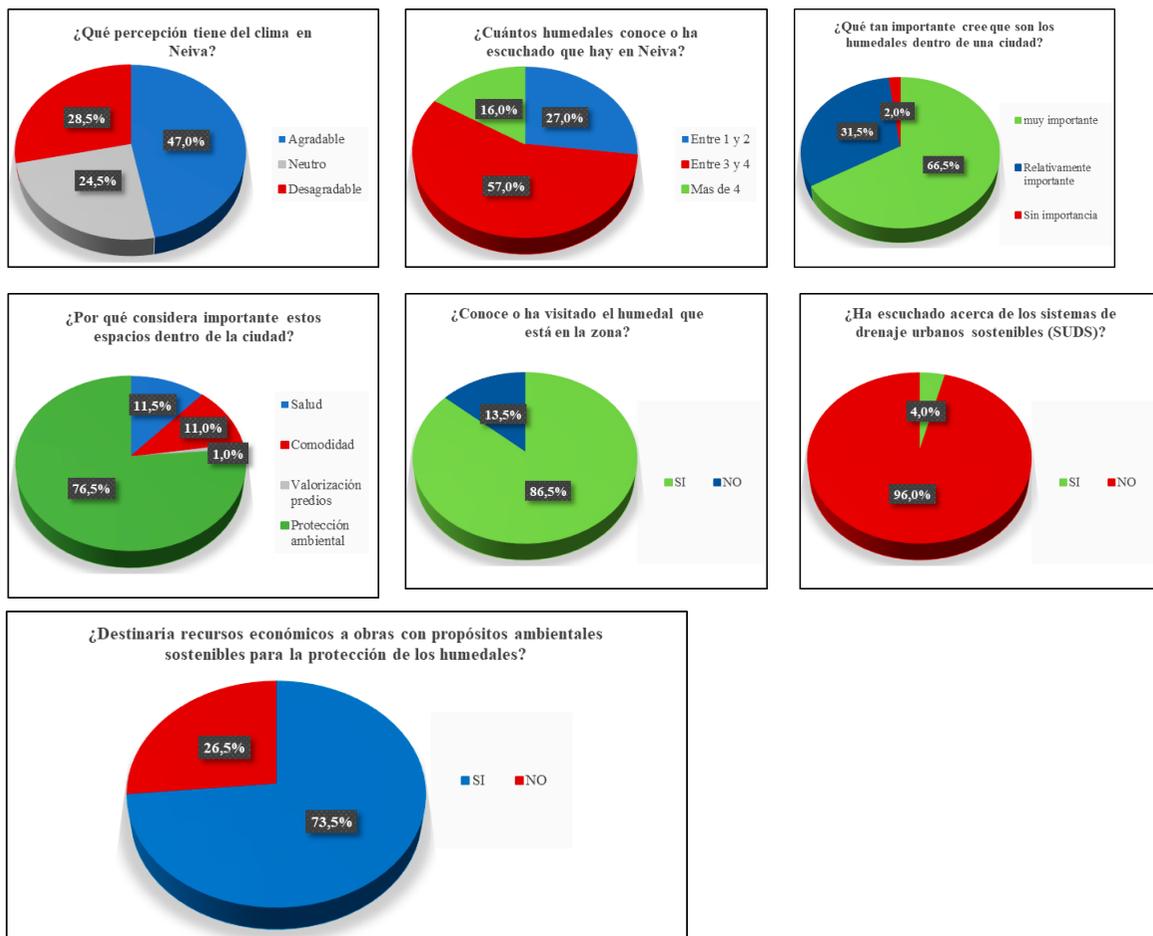


Figura 6. Resultados de las encuestas aplicadas en los barrios dentro del área de influencia del humedal El Curibano
Fuente: elaboración propia.

existe la disposición de la comunidad por aportar para la conservación de las fuentes hídricas una vez recibe la información necesaria.

Las encuestas realizadas en el barrio Puertas del Sol, dentro de la zona de influencia del humedal del Jardín Botánico (Figura 7), muestran que el 51 % de las personas se siente a gusto con las condiciones climáticas de la ciudad, pero el 31 % se muestra disconforme debido a las altas temperaturas que se pueden presentar en la ciudad, siendo este el motivo en común de la mayoría de los encuestados. Por otra parte, el 67 % afirma conocer la existencia de entre tres a cuatro humedales dentro de la ciudad, mientras que el 18 % manifiesta saber de la existencia de más de cuatro humedales, lo que nuevamente se asemeja a los resultados obtenidos en los barrios aledaños a los humedales analizados anteriormente. El desconocimiento del territorio se muestra como un factor repetitivo que dificulta la conservación de los humedales, puesto que el 70 % de los encuestados afirma que el humedal es de importancia estratégica para la ciudad, ya que de este nace la quebrada Matamundo, además de hacer parte del parque Jardín Botánico, el cual es visitado por la comunidad científica y académica y por entusiastas de la naturaleza, por ser paso de aves migratorias y albergar una importante biodiversidad dentro de la ciudad.

El 77 % de las respuestas reconoce que su importancia radica en la protección del medio ambiente, mientras que el 11 % lo considera importante en temas relacionados a la comodidad como regulador de las temperaturas en la zona, y un porcentaje cercano al 6 % afirma que su importancia radica en temas relacionados con la salud. El 57 % de los encuestados manifiesta en algunas ocasiones visitar este tipo de espacios naturales, pero solo el 15 % dice haber visitado en alguna ocasión el humedal. Frente a esta situación, las personas argumentan que el acceso al

Jardín Botánico está restringido mediante permisos de ingreso. Por otra parte, los encuestados de esta zona manifiestan no haber escuchado acerca de los SUDS y solo el 1 % señala conocer acerca de estos. En este sector, el 83 % de las personas encuestadas dice estar en disposición de invertir en infraestructura con el fin de cuidar la fuente hídrica. Los resultados de las encuestas en este sector nuevamente ponen la falta de información como uno de los principales obstáculos en la conservación de los ecosistemas dentro de la ciudad.

Vigilancia tecnológica de los SUDS

Se identifica la Resolución 0330 de 2017 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico como el primer lineamiento en cuanto al uso de los SUDS, el cual menciona en su artículo 153 la necesidad de los SUDS en los proyectos de urbanización donde se modifique la cobertura del suelo (Minvivienda, 2017). Por otra parte el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA) contiene estudios, guías técnicas y documentos que describen las principales características y propiedades de los SUDS. Dentro de las principales propiedades se encuentra la distribución de la escorrentía y la remoción de contaminantes. Los sedimentos, nutrientes, metales y patógenos hacen parte de los contaminantes más comunes presentes en la escorrentía; en términos de calidad o eficiencias de remoción de contaminantes, las diferentes tipologías presentadas a continuación tienen un comportamiento variable dependiendo de sus componentes y configuración física, la cual oscila entre el 30 % al 80 % de eficiencia de remoción (CIIA, 2016).

Alcorques inundables

La estructura consiste en un sumidero fabricado en bloques de concreto o de ladrillos, el cual contiene grava en la parte inferior (sistema de

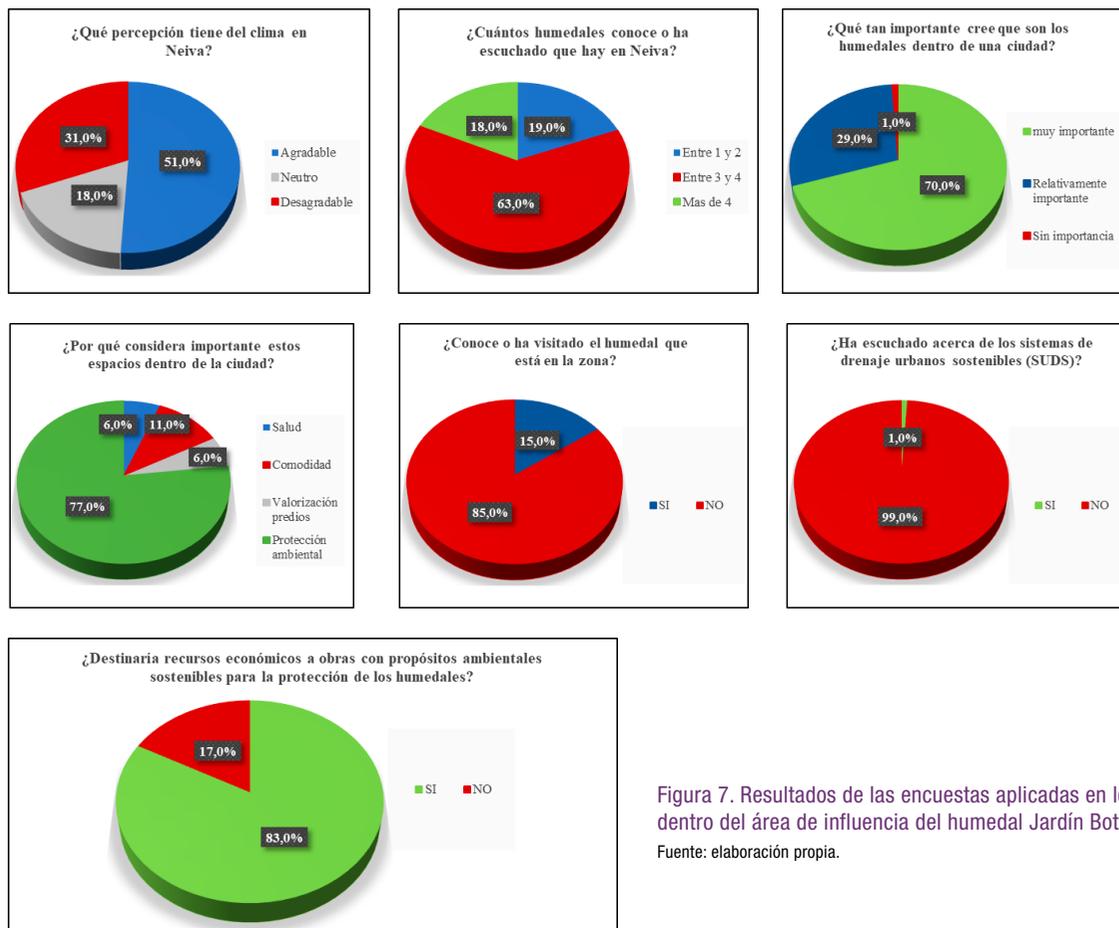


Figura 7. Resultados de las encuestas aplicadas en los barrios dentro del área de influencia del humedal Jardín Botánico
Fuente: elaboración propia.

drenaje) y suelo en la parte superior, favoreciendo de este modo el crecimiento de la vegetación, la cual cumple una función de paisajismo y absorción del agua lluvia. Los alcorques inundables se clasifican en tres tipos: de contenido, con drenaje y con infiltración, y presentan una alta eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total y metales pesados totales (CIHA, 2015, pp. 110-320). Los sistemas de alcorques inundables son adecuados para zonas altamente urbanizadas donde existen carencias de espacio para la instalación, aumentando su capacidad si son dispuestos en serie, además de que tienen la ventaja de conectarse directamente con las áreas impermeables (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB], 2018). Se debe tener especial atención para su implantación en sectores con áreas muy extensas

o pendientes longitudinales muy altas, puesto que la velocidad y los grandes volúmenes de escorrentía pueden influir negativamente en la capacidad de captación e infiltración del alcorque, cuya pendiente longitudinal debe ser menor a 10 %, con una distancia al nivel freático menor a 1 m y distancia a cimientos mayor a 2 m (Medina *et al.*, 2018). Esta tecnología se encuentra clasificada como de mediano costo, tanto para su construcción como para su mantenimiento, lo que implicó un gasto aproximado de \$775.660 por m² en el año 2015 (Jiménez, 2017).

Zonas de biorretención

Estas son consideradas como depresiones superficiales poco profundas con presencia de vegetación, que realizan tres procesos en simultáneo:

almacenamiento, filtración e infiltración de aguas lluvias. Las zonas de biorretención se encuentran compuestas por una zona de acumulación de aguas, una capa de suelo abonado, medio filtrante, impermeabilización lateral y tuberías de drenaje filtrante. Esta tipología reduce los volúmenes de escorrentía por evapotranspiración e infiltración, protege los cauces fluviales, remueve contaminantes y recarga acuíferos, además de que presenta una alta eficiencia de remoción de nitrógeno total, fósforo total, metales pesados totales, plomo total, cobre total, zinc total y bacterias, entre otros contaminantes (CIIA, 2015, pp. 147-151). Según la guía de la EAAB (2018), las áreas más adecuadas de biorretención son parques, plazas, andenes, zonas comerciales, zonas institucionales, separadores viales, corredores verdes, jardines domiciliarios y parqueaderos, teniendo en cuenta algunos parámetros, como una distancia del nivel freático de mínimo 1,8 m, una tasa de infiltración del suelo mínimo de 7 mm/h y una distancia considerable a cimientos de estructuras cercanas con el fin de evitar daños de dicha infiltración. Esta tecnología se encuentra clasificada como de mediano costo tanto para su construcción como para su mantenimiento, lo que implicó un gasto aproximado de \$400.000 por m² en el año 2015 (Jiménez, 2017).

Cunetas verdes

Son canales poco profundos ubicados de forma paralela a las vías o entre calzadas, que remueven contaminantes de la escorrentía transportada y/o recolectada, principalmente sólidos suspendidos totales. Se encuentran cubiertos por algún tipo de vegetación, lo que facilita la evapotranspiración de pequeñas cantidades de agua y funciona como filtro, disminuyendo la velocidad de flujo y el pico de escorrentía. Las cunetas verdes se clasifican en tres grupos: secas con presencia de un lecho filtrante, húmedas y estándar, y presentan

una alta eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales, cadmio total, plomo total, zinc total y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), entre otros contaminantes (CIIA, 2015, pp. 132-135). Se diseñan según las dimensiones de la cuneta, ya que no debe haber altas velocidades que impidan el desarrollo de cobertura vegetal. Estas tecnologías están clasificadas como de bajo costo, tanto para la construcción como para el mantenimiento, y se recomienda instalarlas en parques, rondas de ríos, corredores ecológicos viales, con un gasto aproximado de \$50.000 por m² en el año 2015 (Jiménez, 2017).

Pavimentos permeables

Están constituidos por una carpeta permeable de rodadura, una capa de grava o arena, una geotextil filtrante y una capa de sub-base. Estos pavimentos reducen el volumen y el caudal pico de escorrentía, mejoran la calidad del efluente y recargan los acuíferos, con un mejor desempeño cuando son implementados en zonas planas o en terrenos de bajo tráfico. No pueden infiltrar volúmenes con un alto contenido de sedimentos finos, y presentan una alta eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fósforo total, metales pesados totales, DBO, entre otros contaminantes (CIIA, 2015, pp. 243-246). Se recomienda ubicarlos en andenes, parques y ciclorrutas. El objetivo de estos sistemas es generar zonas donde el agua se infiltre o se almacene y se amortigüe la cantidad de agua de lluvia precipitada, aumentando sus tiempos de concentración. Se recomienda su uso en zonas de baja pendiente, tales como estacionamientos, vías con tráfico ligero u ocasional y andenes, entre otros, en los que su nivel freático se encuentre muy por debajo del fondo de la zona de almacenamiento, para que este no interfiera ni disminuya el volumen de acopio (Legret *et al.*, 1999). Estas tecnologías se clasifican

como de alto costo de construcción y mediano costo de mantenimiento, con un gasto que llegaba aproximadamente a \$220.000 por m² en el año 2014 (Jiménez, 2017).

Zanjas de infiltración

Son áreas excavadas, de sección transversal rectangular, compuestas por gravas o material filtrante y recubiertas por una membrana de geotextil. Realizan dos procesos en simultáneo: almacenamiento e infiltración de agua lluvia, y se caracterizan por presentar una longitud mucho mayor que su ancho, por disminuir los picos de esorrentía y por mejorar la calidad del agua. Tienen un bajo requerimiento de espacio y se recomienda la instalación de una cobertura vegetal, para evitar la colmatación de la zanja a corto plazo. Presentan una alta eficiencia de remoción de contaminantes para sólidos suspendidos totales, fósforo total, metales pesados totales, DBO, sedimentos gruesos, entre otros (CIIA, 2015, pp. 277-280). Estas tecnologías de infiltración son catalogadas como de mediano costo, tanto para su construcción como para su mantenimiento, e implicaron un gasto aproximado de \$750.000 por m² en el año 2015 (Jiménez, 2017).

Calificación y selección de tecnologías

Con base en las tecnologías identificadas y utilizando una adaptación de la matriz multicriterio de Hidrosan (2017), se definieron desde los factores social, ambiental y económico las principales características que inciden en los distintos diseños de SUDS. Desde una perspectiva social, se establecen los aspectos de comodidad, paisaje y conservación. La comodidad hace alusión a las condiciones de facilidad y dinámicas de interacción con la comunidad; el paisaje refiere a todas las variables que inciden en la percepción de un ecosistema desde su belleza y patrimonio; y la conservación apunta a la condición de

perdurabilidad de los servicios ecosistémicos de los cuales depende la población y que se podrían ver afectados o beneficiados por la integración de alguno de los tipos de SUDS.

En segundo término, el factor ambiental se sopesa desde las condiciones de recuperabilidad, principalmente hacia aspectos paisajísticos o de servicios, y cómo estos pueden verse modificados desde la implementación de un SUDS. Este nivel de restauración se plantea desde la perspectiva de retorno de un ecosistema a un estado cercano al cual estaba antes de su modificación. Luego, el desempeño permite contemplar el panorama desde la adaptación del SUDS y su perdurabilidad y eficiencia en su vida útil, asociado a la creación de hábitats. Esta característica consolida la viabilidad de fortalecimiento de un medio, así como la integración de biota al SUDS. Todas estas especificaciones deben ser vistas desde la perspectiva de vigilancia tecnológica hecha a los cinco sistemas de drenaje propuestos.

En última instancia, el factor económico se revisa teniendo en cuenta todos los aspectos de costos e implementación. Para todos los SUDS se tiene en cuenta el área de construcción, así como los mantenimientos preventivos que se tienen que hacer en cada sistema.

Con base en estos factores, se procede a hacer la ponderación correspondiente a cada característica evaluada, la cual es asignada de acuerdo con la importancia de cada sub-característica en relación a cada uno de los SUDS de estudio. La suma de valores asignados a la ponderación debe ser igual a 100. La calificación se asigna de la siguiente manera: 1 es una calificación deficiente, 3 una calificación aceptable y 5 una calificación buena. Las ponderaciones se establecen con base en la caracterización hecha a cada tipo de SUDS,

teniendo en cuenta los resultados de percepción social obtenidos en la ejecución de las encuestas. Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Calificación de las tecnologías SUDS

Factor	Subcaracterística	Ponderación máxima	Tecnologías SUDS									
			Alcorques inundables		Zonas de biorretención		Cunetas verdes		Pavimentos permeables		Zanjas de infiltración	
			Calificación	Resultado	Calificación	Resultado	Calificación	Resultado	Calificación	Resultado	Calificación	Resultado
Social	Comodidad	10	3	6	3	6	1	2	1	2	1	2
	Paisaje	10	3	6	5	10	5	10	1	2	3	6
	Conservación	10	3	6	5	10	3	6	3	6	3	6
Ambiental	Recuperabilidad	10	1	2	1	2	5	10	1	2	3	6
	Desempeño	10	3	6	5	10	5	10	5	10	5	10
	Creación hábitats	10	3	6	5	10	1	2	1	2	3	6
Económico	Instalación	10	5	10	1	2	5	10	5	10	5	10
	Área de construcción	10	5	10	1	2	5	10	1	2	3	6
	Costo capital	10	5	10	3	6	3	6	1	2	3	6
	Costo mantenimiento	10	5	10	3	6	3	6	5	10	5	10
		100		72		64		72		48		68

Fuente: elaboración propia a partir de la matriz de Hidrosan (2017).

Los resultados de la calificación muestran que los alcorques inundables, las cunetas verdes y las zanjas de infiltración representan las mejores opciones para captar y dirigir la escorrentía hacia los humedales, teniendo en cuenta la disposición de las personas, los posibles costos que implica la implementación de estos y el espacio que se necesita en las áreas de influencia de cada uno de los humedales para ser instalados. Los pavimentos porosos pueden tener un excelente desempeño a la hora de infiltrar y/o dirigir la escorrentía, pero no

hay áreas públicas disponibles para su implementación. Por otra parte, tecnologías como zonas de biorretención y pavimentos permeables pueden ser acogidas por las constructoras que están llevando a cabo proyectos de urbanización en las áreas de influencia de los humedales Los Colores y Jardín Botánico. Por otra parte, las cunetas verdes y las zanjas de infiltración son las mejores opciones en los alrededores del humedal El Curibano. Las especificaciones generales de cada SUDS son mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. SUDS seleccionados por humedal

Humedal	Tipo de SUDS seleccionado	Especificaciones
El Curibano	Alcorques inundables	La comunidad de los dos barrios dentro de la zona de influencia de este humedal se encuentra a una distancia suficiente como para tener aún una zona de recarga eficiente, ya que se ha logrado mantener la cobertura natural de suelo. Siendo así, estas dos tecnologías son suficientes para drenar el agua hasta las áreas verdes y no directamente desde los hogares hasta la laguna. Ya que el humedal es frecuentado por la comunidad, los alcorques inundables pueden ser instalados como pilotos de conocimiento, mientras que las cunetas verdes pueden dirigir la escorrentía hacia el área de recarga.
	Cunetas verdes	
Los Colores	Alcorques inundables	Este humedal es uno de los más afectados por la dispersión urbana, teniendo sus límites demarcados muy cerca al proyecto de constructoras y de las viviendas. Los SUDS que se pueden implementar en este sector son muy variados, ya que las extensiones son grandes y la proximidad de las viviendas con la laguna facilita la conexión directa de los SUDS con esta. Asimismo, en este sector, por ser zona de desarrollo urbanístico, tecnologías como las zonas de biorretención pueden ser implementadas para infiltrar el agua hacia el área de recarga del humedal. Cabe resaltar que, debido a las pendientes y dirección de las obras, los pavimentos permeables no son una alternativa.
	Cunetas verdes	
	Zonas de biorretención	
	Zanjas de infiltración	
Jardín Botánico	Alcorques inundables	Las áreas dentro del sistema de recarga hídrica de este humedal están siendo consumidas rápidamente por construcción de conjuntos cerrados; sin embargo, las viviendas del barrio más cercano se encuentran a una distancia considerable, haciendo que lo más viable sea la implementación de estas tecnologías dentro de los proyectos. Los alcorques inundables representan una alternativa viable frente a los complejos habitacionales, por su poca demanda de espacio, mientras que las zonas de biorretención se pueden utilizar como áreas de esparcimiento dentro de los conjuntos cerrados, y los pavimentos permeables coinciden con las pendientes hacia el humedal, además de que se pueden incluir fácilmente ya que las fases de construcción se encuentran en proceso.
	Zonas de biorretención	
	Pavimentos permeables	

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De las encuestas realizadas, se logró identificar la falta de información como el principal obstáculo para la implementación de estrategias que garanticen la conservación de los humedales urbanos, lo que evidencia un desconocimiento no solo de las herramientas que se pueden utilizar, sino también del territorio y de los ecosistemas que se encuentran dentro de la ciudad. Por otra parte, aunque las personas manifiestan su compromiso con la protección del medio ambiente,

este compromiso se ve limitado igualmente por los recursos económicos.

Aunque las personas mostraron disposición de gastar en infraestructura que contribuya con la conservación de los humedales, sus respuestas fueron concebidas sin saber qué eran los SUDS y los precios que conllevan la implementación de estas tecnologías, por lo que estas respuestas no se pueden interpretar como un factor

que garantice una posible implementación de los SUDS ni su mantenimiento en las zonas. Desde esta perspectiva, el uso de los SUDS depende más de los programas ambientales desarrollados por la administración municipal que de la comunidad, lo cual deja un panorama desalentador para los humedales, que con el pasar de los años son más vulnerables ante los proyectos de las constructoras.

En cuanto a los humedales urbanos identificados dentro de la ciudad, los humedales Los Colores, El Curíbano y Jardín Botánico se han convertido en los principales puntos de esparcimiento y recreación de las comunidades aledañas. Estos lugares se han reconocido como estratégicos en la lucha contra el cambio climático y mediante el Acuerdo 026 de 2009, por el cual se adopta el POT de Neiva, se les reconoció legalmente y se les definieron sus respectivas rondas de protección.

Dentro de las tecnologías identificadas, los alcorques inundables son una alternativa general que se pueden instalar en las áreas de influencia de los tres humedales, ya que sus características estructurales y costos pueden ser acogidos por la comunidad en general. Estos pueden ser ubicados frente a las casas que se encuentran particularmente cerca a los humedales. Por otra parte, las zanjas de infiltración y las cunetas verdes representan muy buenas alternativas para captar y dirigir de manera inmediata la escorrentía hacia las lagunas, pudiendo quedar alejadas de las viviendas y ocupando más espacio, mientras captan una mayor cantidad de agua proveniente de las vías, y la infiltran, evitando la erosión de los suelos en las zonas de recarga hídrica y el arrastre de residuos sólidos directamente a las lagunas.

Las zonas de biorretención y los pavimentos permeables no representan alternativas estructurales ni económicamente viables para implementar en

las áreas públicas. Sin embargo, las constructoras que se encuentran adelantando obras de urbanización cerca al humedal Los Colores y muy cerca al humedal Jardín Botánico podrían implementar este tipo de SUDS dentro de sus complejos habitacionales, lo cual no solo contribuiría con la recarga hídrica de estos humedales, sino que también les daría valor como áreas de esparcimiento y recreación.

Las tecnologías SUDS pueden llegar a ser la alternativa más eficiente para la recarga hídrica de los humedales urbanos de Neiva, de modo que los mayores beneficiados sean los ecosistemas y la diversidad de fauna y flora que depende de cada humedal. Asimismo, las comunidades pueden disfrutar de áreas verdes para la recreación y parques de ciudad, a la vez que se garantiza un desarrollo sostenible en la ciudad de Neiva que la haga más resiliente ante los efectos de calentamiento global y cambio climático.

Se recomienda realizar un análisis de la viabilidad económica para la implementación de las tecnologías SUDS en diferentes sectores, desde donde se pueda contribuir con la infiltración de la escorrentía hasta las áreas de recarga de los humedales. El factor económico representa el principal obstáculo entre los habitantes, por lo que es pertinente realizar un estudio que determine el alcance de la comunidad para ubicar SUDS entre sus proyectos de vivienda.

Referencias

Alcaldía de Bogotá. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Secretaría Distrital de Ambiente.

Alcaldía Municipal de Neiva. (2016). *Proyecto de Acuerdo Plan De Desarrollo 2016-2019*. Autor.

Alcaldía Municipal de Neiva. (2017). *Parque Jardín Botánico de Neiva "Un encuentro con la naturaleza"*. Autor.

Bolund, P. y Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological*, (29), 293-301.

CAM. (2018a). *Plan de Manejo Ambiental Humedal Urbano Los Colores*. Autor.

CAM. (2018b). *Plan de Manejo Ambiental Humedal Urbano El Curibano*. Autor.

CAM. (2020). *El Huila se unió a la conmemoración del Día Mundial de los Humedales*. Autor.

CAM. (2021). *Humedales, ecosistemas vitales para la biodiversidad*. Autor.

Castellanos, G. (2018). *Metodología de estudio de la viabilidad de implementación de SUDS en centros comerciales mediante el uso de análisis de decisión multicriterio y SIG, caso de estudio Bogotá* [tesis de maestría]. Universidad de los Andes, Bogotá.

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). (2015). *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C.* Autor.

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). (2016). *Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Autor.

Charlesworth, S. M. y Booth, C. A. (2016). *Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SuDS*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118897690>

Concejo de Neiva. (2009). *Acuerdo N.º 026 de 2009. Por medio del cual se revisa y ajusta el Acuerdo 016 de 2000 que adopta el plan de ordenamiento territorial de Neiva*. Autor.

Delgado, L. E. y Marín, V. H. (2018). Los humedales como sistemas socio-ecológicos: complejidades y desafíos. En *Servicios ecosistémicos en humedales* (pp. 79-102). Sedema.

Duré, A., Escobar, S., Ocampo, M. y Chamorro, L. (2018). *Análisis cualitativo del drenaje urbano. Caso de estudio "Cuenca del Barrio 12 de Octubre" Ciudad de Pilar. Ñeembucú Paraguay*. IFRH.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). (2018). *NS-166 Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS*. Autor.

García, L. (2007). *Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en el desarrollo urbanístico de Paterna (Valencia)*. http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_altarejos.pdf

Gonzales, G. P. (2018). *El impacto de la dinámica urbana sobre los humedales de Bogotá (Colombia)* [tesis doctoral]. Universidad de Zaragoza, España.

Gonzales, P. A. y Marín, M. L. (2018). *Sistemas de drenaje urbanos sostenibles (SUDS) más eficientes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes totales, operados a escala de laboratorio con agua residual doméstica* [tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Gutman, P. (1993). La Habana y Seúl: ejemplos de metropolización. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 19(57), 103-115. <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/1108>

- Hernandez, C. O. y Maida, C. O. (2015). Sistema de drenaje urbano sostenible. *Revista Tecnociencia Universitaria Bolivia*, (13), 3-13.
- Hettiarachchi, M., Morrison, T., Wickramasinghe, D., Mapa, R., De Alwis, A. y McAlpine, C. (2014). The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. *Landscape and Urban Planning*, 132, 55-68.
- Hidalgo-Monroy, G., Vasquez-Avila, S. y Araya, F. (2022). Análisis cualitativo de sostenibilidad social de sistemas de drenaje urbano en Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(1), 44 -57. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.03>
- Hidrosan. (2017). *Contrato No. 009 de 2017: Anexo 6. Matriz de decisión consolidada*. Autor.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2016). *Humedal Los Colores en Neiva está al borde de la extinción por la "jungla de cemento"*. Autor.
- Jiménez, S. L. (2017). *Metodología para la integración del espacio público y los sistemas de drenaje urbano sostenible en proyectos urbanos* [tesis de grado]. Universidad de los Andes, Colombia.
- Legret, M., Nicollet, M., Miloda, P., Colandini, V. y Raimbault, G. (1999). Simulation of heavy metal pollution from stormwater infiltration through a porous pavement with reservoir structure. *Water Science Technology*, 39(2), 119-125.
- Mayz M., Lennys, C., Medina, Y. y Dale, M. (2018). *Diseño de una alternativa que permita implementar un sistema urbano de drenaje sostenible mediante software de aplicación*. JIFI, UCV.
- Medina, D. L., Aguilar, L. Y. y Calderón, A. (2018). *Análisis comparativo de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) caso de estudio carrera 4 y carrera 5 entre calles 68 y 71, sector Chapinero alto, Bogotá, Colombia* [trabajo de grado]. Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Minvivienda). (2017). *Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009*. Autor.
- Momparler, S. y Andrés-Doménech, I. (2007). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 21(124), 92-104.
- Muñoz, I. y Galindo, M. (2005). Urban Form and the Ecological Footprint of Commuting: The Case of Barcelona. *Ecological Economics*, (55), 499-514.
- Otaño, J. (2018). *Los SUDS, regeneradores urbanos en entornos vulnerables. El caso de Bella Vista, República Dominicana* [trabajo de grado]. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Quijano, M. A., Castaño, M., Cardona, D. E. y Echeverri, D. (2022). *Humedales de ciudad: vivos, activos y resilientes*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Ramsar. (2016). *Introducción a la convención sobre humedales*. Secretaría de la Convención Ramsar.
- Ramsar. (2021). *Perspectiva mundial sobre los humedales*. Autor.
- Rincón, L. M. y Rueda, H. (2018). *Transformación de las microcuencas hídricas del oriente urbano del municipio de Neiva por el impacto del*

crecimiento urbanístico a partir del año 1961.
Editorial el Búho.

Rodríguez, L. J. y Granados, M. A. (2019). *Estudio de viabilidad ambiental y económica de implementar algunos SUDS en Proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) en la ciudad de Bogotá* [trabajo de grado]. Universidad Distrital, Colombia.

Trujillo, M. C., Rivera, D. M. y Rojas, F. H. (2018). *Evaluación de la microbiota cultivable de la laguna del Parque Jardín botánico de Neiva (Colombia) a través de la columna de Winogradsky y su aplicabilidad educativa con futuros docentes de ciencias naturales de la universidad surcolombiana* [trabajo de grado]. Universidad Surcolombiana, Colombia.

Vargas, N., Rodríguez, J. P. y Chavarro, J. I. (2020). *Ingeniería conceptual de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el Humedal Jardín Botánico de Neiva.*