



Techos verdes una alternativa en sistemas de drenaje urbano sostenible en Bogotá
Colombia

Karen Daniela Meneses González

Yuliana Quintero Guerrero

Universidad de pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Ingeniería civil

Pamplona

2022-2



SC



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia

Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

www.unipamplona.edu.co



Techos verdes una alternativa en sistemas de drenaje urbano sostenible en Bogotá

Colombia

Monografía

Karen Daniela Meneses González

Yuliana Quintero Guerrero

Diego Iván Sánchez Tapiero

Director

Universidad de pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Ingeniería civil

Pamplona

2022-2



SC



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona

Pamplona - Norte de Santander - Colombia

Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750

www.unipamplona.edu.co



Agradecimientos

En nuestro proceso para la culminación de esta monografía contamos con el apoyo de nuestros docentes y familia a los cuales le agradecemos el apoyo que nos brindaron.

A nuestro tutor el ingeniero Diego Iván Sánchez por el apoyo, tiempo y supervisión en la presente monografía, la cual pudimos terminar con satisfacción.

A nuestros padres y familia los cuales les agradecemos el apoyo y sacrificios que realizaron en cada paso que dimos para hoy estar en la terminación de una de nuestras metas.

También agradecemos a nuestros docentes por que compartieron cada uno de sus conocimientos, tiempo, dedicación y pasión por la enseñanza la cual nos permitió adquirir nuevos conocimientos en todo nuestro proceso para la obtención del título de profesionales.



SC



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Tabla de contenido

Introducción	9
1. Generalidades.....	11
1.1 Reseña histórica de los sistemas de drenaje urbanos	11
1.2 Ciclo hidrológico.....	12
1.3 Cambio climático	14
1.4 Soluciones basadas en la naturaleza (SbN).....	16
2. Sistemas de drenaje urbanos	18
2.1 Sistemas de drenajes urbanos sostenibles	19
2.1.1 Objetivos de los sistemas de drenajes urbanos sostenibles	20
2.1.2 Tipos de sistemas de drenajes urbanos sostenibles	21
2.1.3 Ventajas y desventajas de los sistemas de drenaje urbano sostenibles.....	34
2.1.4 Implementación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en Colombia..	37
2.1.6 Aplicación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en Bogotá.....	38
3. Techos verdes en Bogotá	39
3.1 Problemática de los sistemas de drenaje en la ciudad de Bogotá	39
3.2 Importancia de implementar los techos verdes en Bogotá.....	41
3.3 Techos verdes una medida de sistema de drenaje urbano sostenible en Bogotá. 41	
3.4 Función de los techos verdes como sistema de drenaje sostenible en Bogotá....	42

3.5	Componentes que agrupan los elementos de la estructura de los techos	
Biológicos	44	
3.5.1	Composición general de los techos verdes	45
3.6	Requerimientos para la operatividad de cubiertas verdes	46
3.6.1	Requerimiento mínimo para su funcionalidad.....	46
3.7	Ensayo por realizar para determinar los contaminantes de la escorrentía.....	51
3.8	Clasificación de los techos verdes en Bogotá	52
3.8.1	Tipos de cubiertas verdes tradicionales	52
3.8.2	Tipos de sistemas de techos verdes según a la tecnología empleada	54
3.8.3	Clasificación general de las cubiertas verdes en Bogotá.....	57
	Clasificación general primaria.	57
	Clasificación general secundaria.....	59
3.9	Mantenimiento de las cubiertas verdes	59
3.9.1	Mantenimiento de grado 1	60
3.9.2	Mantenimiento de grado 2	60
3.9.3	Mantenimiento de grado 3	60
3.9.4	Mantenimiento de grado 4.....	61
3.10	Especies aptas para la implementación de techos verdes	61
4.	Factores e implementación de los techos verdes en Bogotá	66



4.1	Ventajas de los techos verdes como alternativa de sistemas de drenaje urbano sostenible (Bogotá).....	66
4.2	Limitantes de la implementación de techos verdes en la ciudad de Bogotá	67
4.3	Implementación de los techos verdes en el distrito capital de Colombia.....	67
5.	Conclusiones	71
6.	Bibliografía	73



Lista de figuras

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	12
Figura 2. Ciclo hidrológico urbano.....	14
Figura 3. Afectaciones del cc para el 2100.....	16
Figura 4. Componentes de los techos verdes	45
Figura 5. Características de cubiertas extensiva.	53
Figura 6. Características de cubiertas intensiva.....	54
Figura 7. Características de cubiertas semi intensiva.	54
Figura 8. Techos verdes de sistema multicapa monolítico y de multicapa elevada.	55
Figura 9. Techos verdes de sistema tipo receptáculo.....	56
Figura 10. Techos verdes de sistema monocapa y de sistema aeropónico	56
Figura 11. Ubicación de estructuras con cubiertas verdes en Bogotá.	70



Lista de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas de drenaje urbano sostenible.	34
Tabla 2. Beneficios de las tipologías de los SUDS frente al sistemas de drenaje convencional.	36
Tabla 3. Valores admisibles de contaminantes presentes en la escorrentía de las aguas de las cubiertas.	50
Tabla 4 rangos de operatividad para el fosfato.	51
Tabla 5. Valores de carga muerta estado de saturación y altura máxima de acuerdo a la clasificación de cubiertas verdes.....	59
Tabla 6. Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado.	65

Introducción

Hoy en día ha aumentado la necesidad de implementar diferentes métodos o sistemas que contribuyan con el desarrollo sostenible de las ciudades, debido a los cambios climáticos y al constante proceso de urbanización al que nos enfrentamos, en consecuencia de esto se ha producido mayor extensión de las áreas impermeables y los sistemas de drenaje convencionales cada vez son menos eficientes en el manejo de grandes volúmenes de escorrentía, siendo un factor determinante en las inundaciones, es por esto que se ha adoptado los SUDS como una medida de mitigación para estos problemas y de restauración del ciclo hidrológico del agua.

Los métodos de drenaje urbano sostenible (SUDS), se revelan como una resolución apoyada en el ambiente, como alternativa o adición al método de drenaje convencionales, en consecuencia, pretenden reestablecer o simular el ciclo hidrológico del agua mediante diversas tipologías de dichos sistemas, como lo son las practicas no estructurales, los techos verdes, los pavimentos permeables, los depósitos de lluvia, las zanjas de infiltración, los filtros de arena, las cunetas verdes y demás.

Aunque en Colombia se tenga la necesidad de implementar dichos sistemas y se esté en pleno auge de estos, actualmente sus aplicaciones e investigaciones son muy escasas, por lo que en la presente monografía se pretende profundizar en las cubiertas verdes como una opción de SUSD para la capital de Colombia, Bogotá, ya que debido al aumento de superficies impermeables se ha considerado imprescindible el recurrir a dicho sistema dado que este tiene como función la disminución de la escorrentía, al estar compuesto por diversas capas que retienen las aguas lluvias y que también sirven de aislante térmico, lo cual contribuye con la disminución del efecto isla de calor, además se aspira a ahondar y conocer sus funciones, sus tipos, como se lleva a cabo su implementación, su aplicabilidad en la ciudad de Bogotá, sus



ventajas y limitantes, por medio de la recopilación de información de artículos, libros, tesis, revistas y demás.



1. Generalidades

1.1 Reseña histórica de los sistemas de drenaje urbanos

En el pasado y hasta la actualidad se vienen llevando a cabo las técnicas de drenaje y suministro de agua consumible para el ser humano, pues es un producto de primera necesidad para los seres vivos. Anteriormente el ser humano disponía del acarreo de agua para consumo y al momento de realizar el desecho de las aguas residuales y negras se creaban canales o cunetas en las calles ya que no se tenía conocimiento de las enfermedades e infecciones que ocasionaban al realizar esta acción.

De acuerdo con ECONET (2020), la primera civilización en implementar un sistema de alcantarillado fue el valle de Indo, estos alcantarillados se usaban en primera instancia para evacuar las aguas pluviales y después al aumento de la población se empezó a dar uso de estos para deshacerse de otro tipo de residuos, estos eran primitivos para como son conocidos hoy, no fue hasta el siglo XIX que se empezó a tomar en cuenta la higiene implementando los primeros modelos de desagüe de cómo se conocen en la actualidad. No obstante, de acuerdo a GreenBlue URBAN (2021) también se contaba con técnicas similares a las que conocemos hoy en día como SUDS, del mismo modo que la recolección de aguas lluvias, el almacenamiento en depósitos y estanques, los humedales construidos, la infiltración y los enfoques no estructurales con el fin de disminuir la escorrentía y de abastecer de agua a las comunidades.

Las primeras tuberías implementadas fue la de ladrillo revestido de forma rectangular que eran unas de las más grandes que se encargaban de recoger el agua de las calles con sistemas de rejillas y sumideros similares a los de la actualidad, como también se tenían de forma de cilindro de material cerámico que iban de menores a mayores tamaños, estas iban a 2 o 3 pies debajo del nivel de las calles (ECONET, 2020).

Dichas tuberías han ido variando con el paso del tiempo entre diferentes materiales con mayor eficiencia y duración, hasta los sistemas de drenaje urbano convencional que tenemos hoy en día y aunque estos durante mucho tiempo han sido considerados como la mejor opción para los problemas de contaminación e inundación, ya no proporcionan las características adecuadas para la gestión de estas aguas lluvias, por lo que tiene la necesidad de implementar como ya se ha visto en algunos lugares, los SUDS mediante distintas tipologías existentes actualmente (Tarazona Tobo et al., 2021).

1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico para el agua consiste en un sistema que circula el agua desde océanos, ríos y lagunas hacia la atmosfera y luego a través de las precipitaciones hacia la superficie terrestre, para así comenzar nuevamente el ciclo. Es decir, es un proceso natural continuo que transforma al agua de un estado a otro, tal y como, gaseoso, líquido y solido; permitiéndole circular continuamente entre la atmósfera, los continentes y los océanos (Formaggio, 2021).

En la **figura 1**, se puede observar el ciclo hidrológico del agua con cada etapa.

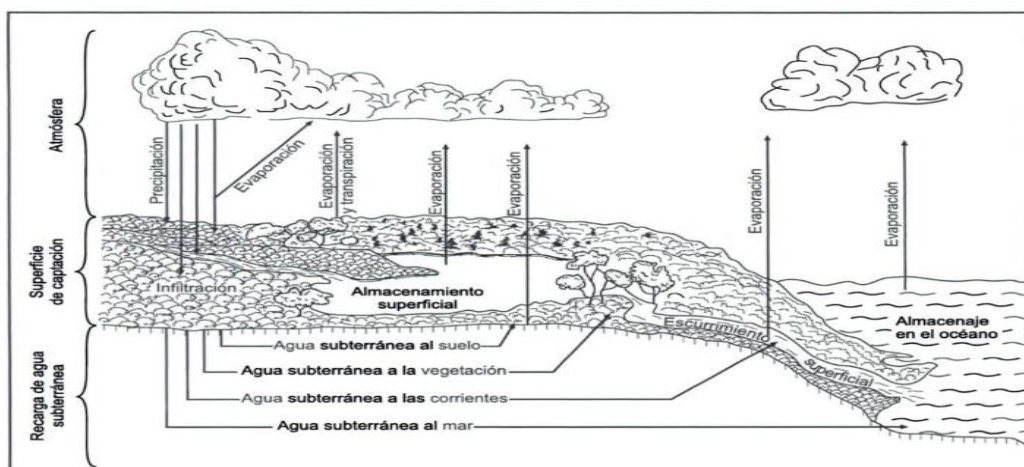


Figura 1. *Ciclo hidrológico.* Fuente: (Maderey y Jiménez, 2005).

El ciclo del agua comienza directamente con la evaporación a nivel del mar. En tanto que esta va ascendiendo, el aire húmedo baja su temperatura y el vaho se convierte en agua, lo cual es el proceso de condensación, para así continuar con la acumulación de gotas de agua con lo que se produce las nubes, en consecuencia, caen por su propio peso y por lo tanto provocan la precipitación. Si el aire es muy frío, el agua puede caer en forma de nieve o granizo o si por el contrario el clima se vuelve cálido, se da la precipitación. Parte del agua que alcanza la superficie es utilizada por organismos vivos y otra será vertida sobre el suelo hasta llegar a un río, lago o mar, lo cual se conoce como escorrentía. Otra fracción de esta agua se cola en la superficie terrestre y forma un acuífero o capa de agua subterránea llamada nivel freático, esta fase es la infiltración. Finalmente, regresará la mayoría de agua a la atmosfera para que así el ciclo vuelva a empezar (OROMAPAS, 2021).

Por otro lado, este proceso hidrológico del agua en el área urbana se lleva a cabo como se ilustra en la **figura 2**, previamente a acercarse el agua a la superficie, esta purifica el aire, agrupando las moléculas contaminantes que luego son extraídas. En la urbe, el agua de lluvia se retiene con la ayuda de techos y superficies impermeables, por lo que la infiltración en las áreas urbanas es casi inexistente, es decir, los niveles naturales de agua subterránea debajo de las ciudades están aislados (Cardozo, 2018).

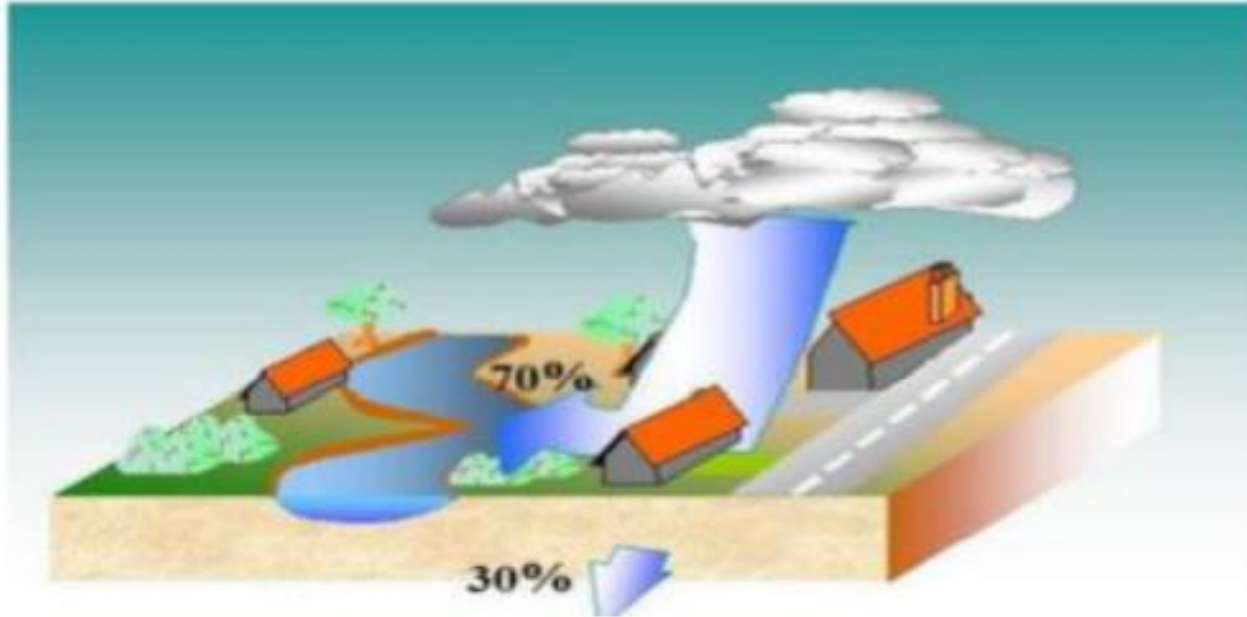


Figura 2. *Ciclo hidrológico urbano.* Fuente: (Cardozo, 2018).

1.3 Cambio climático

Son cambios ocasionados en gran parte por el ser humano, los cuales alteran la composición atmosférica global, mediante actividades como la tala de árboles, el consumo de combustibles fósiles, entre otras actividades que generan la alta producción de gases efecto invernadero (ONU/EIRD, 2008).

Algunas consecuencias del cambio climático se exponen en el último informe de evaluación IPCC (2022) las cuales están relacionadas con el aumento de las temperaturas y otros cambios climáticos del planeta: más fenómenos meteorológicos extremos, mayores niveles del mar, la pérdida de tierras cultivables y la consecuente gran escasez de alimentos, reasignación de recursos hídricos, pérdida de biodiversidad y entre otros.

De tal modo se puede observar en la **figura 3**, las áreas que se encontraran más perjudicadas por el cambio climático para 2100, teniendo así diversos aumentos de temperatura en diferentes regiones.

Soto (2007), nos dice “el cambio climático trae como fenómenos asociados temperaturas extremas y alteración del ciclo del agua, condiciones a las que algunas especies no logran adaptarse, así estén en áreas o ecosistemas protegidos” (p.8). Por lo tanto, el ser humano tiene dos opciones; adaptarse o perecer. En ese mismo sentido tal y como lo plantea Charles Darwin en teoría de la elección natural, no es el más fuerte el que sobrevive en la naturaleza, sino el que mejor se adapta (Cordoba, 2016).

Además del cambio climático y sus efectos, tales como las precipitaciones extremas o aumentos de temperatura, la urbanización de las cuencas hidrográficas también está siendo de forma desproporcionada, lo que afecta directamente al ciclo hidrológico del agua, debido a que parte del agua de lluvia que llega al suelo no se drena por completo, ya que se escurre de manera superficial, lo que puede provocar inundaciones con flujos de aguas muy altos, los cuales no son capaces de ser drenados por los sistemas de drenaje convencionales (Cordoba, 2016).

Cabe resaltar que, según el Centro de investigaciones en acueductos y alcantarillados CIACUA (2015), “en la mayoría de ciudades de países en desarrollo, los sistemas de drenaje urbano fueron diseñados para eventos de precipitación que actualmente están siendo superados por efectos del cambio climático”(p.6).

ZONAS QUE ESTARÁN MÁS AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN 2100

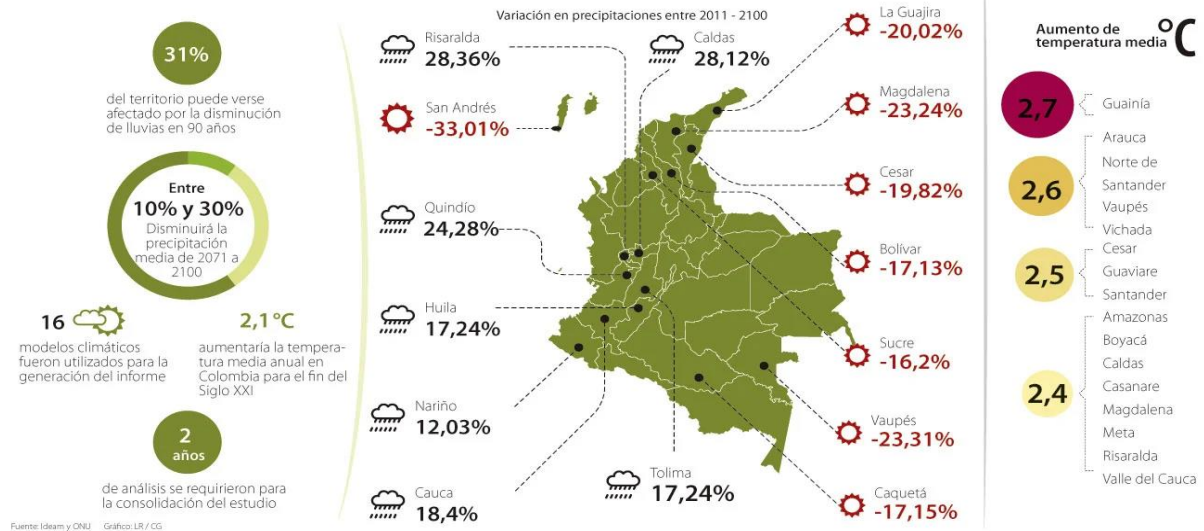


Figura 3. Afectaciones del cc para el 2100. Fuente: (Delgado, 2015).

Teniendo en cuenta las problemáticas causadas por el cambio climático y el constante proceso de urbanización se ha buscado la adaptación por medio del desarrollo de ciudades sostenibles, implementando así técnicas o métodos como los SUDS, que sujetan como finalidad principal concebir de manera adicional la forma de trabajar el ciclo del agua, ocasionando la restauración de las condiciones hidrogeológicas originales en un inicio (Cordoba, 2016).

1.4 Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

La sociedad actual posee uno de los mayores retos como lo es el cambio climático, al cual se enfrenta y por primera vez se experimenta en las urbes altas temperaturas siendo consecuencia del gran impacto que tiene este sobre la naturaleza y las personas. Además del cambio del clima y su impacto, en el actual aumento de urbanizaciones y el desarrollo urbano está repercutiendo con una serie de efectos y desafíos en la gestión del agua y en los ecosistemas, como lo son la disminución y deterioro de los terrenos naturales, la impermeabilización del suelo y densificación de las áreas construidas (Lochner et al., 2019).

De acuerdo con esto, surgen dichos recursos basados en la naturaleza (SbN), a manera de respuesta a los cambios del clima, al proceso de urbanización y desarrollo de estas, en busca de restablecer la calidad de vida de la metropolitana, así como también el mantenimiento saludable en los ecosistemas, mediante el consenso con la naturaleza de la organización territorial (Valero, 2021).

Se consideran intervenciones prometedoras para abordar problemas socio-ecológicos, a las SbN, que tienen como objetivo principal la obtención del desarrollo sostenible, la comodidad y satisfacción humana y la diversidad biológica. De igual manera, se pueden definir como una serie de actividades o acciones que se ejecutan de manera sostenible para el resguardo, gestión y restablecimiento de los entornos naturales o alterados, a fin de abordar y adaptarse con éxito a los desafíos sociales, al tiempo que promueve el bienestar de la población y biodiversidad (Hack, 2021).

Además, las SbN en el sector urbano, se emplean en la gestión en las fuentes hídricas, en la planificación ciudadana, en el diseño urbanístico y arquitectónico y en el manejo de contingencia en casos de desastres; cabe resaltar, algunas aplicaciones de los SbN como lo son, la creación de valles de rebosamiento naturales para conservar agua en el transcurso de lluvias extremas, el tratamiento o remediación del agua utilizando sistemas de humedales, la instalación de cubiertas y paredes verdes que posibilitan regular temperatura en los edificios y la implantación o desarrollo de zonas verdes en el sector urbano como áreas recreativas y arbolado viario a fin de disminuir el efecto isla de calor (Zucchetti et al., 2020).

Si bien, las SbN son una opción destinada a reducir los riesgos hidrometeorológicos, frecuentemente se prescinde de ellas en los proyectos ingenieriles a causa del nivel de dificultad en su diseño, evaluación y la carencia de conocimiento en la caracterización a fin de determinar

cómo poner en práctica medidas ambientales para la construcción de edificaciones en todas sus etapas; ya que se tiene la necesidad de gestionar las ciudades de forma sostenible por la pérdida y limitación de espacios verdes en las zonas urbanas, debido al importante aumento de la urbanización (Lochner et al., 2019).

2. Sistemas de drenaje urbanos

Los métodos de drenaje son esenciales en la constante evolución de las zonas urbanas, ya que la actividad humana está ligada directamente al ciclo hidrológico del agua. Dichos sistemas, en sí logran definirse de otra forma como la gestión o conducción de dos tipos de flujo de aguas, como lo son las residuales y las aguas lluvias o pluviales que desembocan en una determinada zona retirada de la población. Para ello, se ha encauzado los canales urbanos y se dispuso el sistema de drenaje como una serie de alcantarillas diseñadas por medio de estructuras y tuberías para realizar la respectiva recolección y tratamiento de estas aguas en zonas urbanas. Por el contrario, los asentamientos aislados o empobrecidos generalmente no tienen un método principal de alcantarillado y las aguas servidas se manipulan in situ o en algunos casos no y el agua pluvial se infiltra de forma natural al suelo (Butler y Davies, 2004).

A pesar de que los sistemas de drenaje urbano han sido muy útiles en su momento, se han venido quedando con el pasar del tiempo obsoletos en el cumplimiento de las necesidades o problemáticas actuales a las que nos enfrentamos diariamente, como lo son el incremento de la población, lo que ha conllevado al aumento de la infraestructura de drenajes urbanos y el caudal de agua residual, lo cual tiene como consecuencia una mayor generación de contaminantes en las fuentes hídricas, ocasionando un gran impacto en la población por la contaminación del agua para consumo humano y la incrementación de padecimientos. Es por esto por lo que se han implementado la construcción de estructuras de alivio y plantas de tratamiento para darle

solución a dichas problemáticas, teniendo ahora como limitación las condiciones socioeconómicas de la población (García, 2015).

Con referencia a lo mencionado, se requiere en la actualidad de la implementación de nuevas técnicas o métodos basados en la investigación e innovación para ayudar a solucionar los inconvenientes existentes en los sistemas de drenaje, que entre tanto mejore el bienestar del ser humano y las condiciones ambientales, asimismo presente unos costos más favorables para todas las condiciones socioeconómicas de la población (Valero, 2021).

2.1 Sistemas de drenajes urbanos sostenibles

La urbanización y desarrollo de la población se presenta de modo desorbitante y desorganizado, en consecuencia, generando cantidades altas de aguas residuales, las cuales no tienen la mejor calidad posible, de ahí que es indispensable la implementación de los SUDS, con el fin de reducir o mitigar impactos negativos como lo son las inundaciones y la contaminación de las fuentes hídricas, útiles en muchos casos para su consumo.

Esta metodología de los SUDS busca simular lo máximo posible el ciclo hidrológico del agua, el cual considera una serie de etapas como la evaporación, la precipitación y el almacenamiento que se realiza por medio del proceso de infiltración en el suelo, sin que se presente alguna interrupción, teniendo una adaptación a las zonas no urbanizadas (García, 2015).

Es decir, la finalidad de los SUDS es tratar las aguas pluviales o residuales de la manera más natural, gestionándola de manera completa con el urbanismo, el medio ambiente, la población y la flora ; igualmente es aprovechar el drenaje, gestionar de forma eficiente la conducción del agua siendo un procedimiento descentralizado en las ciudades y no retener altas cantidades en un solo sitio de salida, sin la necesidad de convertirla en agua residual con el

propósito de integrar la labor que realizan los sistemas convencionales y aumentar su eficiencia (Ruiz, 2021).

Pero no solo se pretende promover el uso de los SUDS como alivio de los métodos convencionales, sino que también se aspira promover la ejecución de estos como procedimientos unitarios, al ser contemplados como más eficientes y flexibles para la gestión de aguas y la mejora medioambiental (Soriano et al., 2017).

Al planificar de modo ingenieril los SUDS, la relación costo-beneficio de estos es muy importante ya que otorga una perspectiva más clara del tipo de SUDS implementar (Ruiz, 2021).

2.1.1 Objetivos de los sistemas de drenajes urbanos sostenibles

Es primordial atender balanceadamente las características asociadas con una buena cuantía y condición del agua, asimismo es imprescindible un correcto servicio a la población en los SUDS, para ello es importante tomar en consideración estos objetivos:

- Gestionar, proteger y perfeccionar el funcionamiento del ciclo hidrológico en zonas urbanas.
- Integrar todas las herramientas y tratamientos en el control de las aguas pluviales.
- Preservar el buen estado de las fuentes hídricas.
- Disminuir la magnitud de escorrentía y los caudales máximos, mediante almacenamientos temporales y disminuyendo las zonas impermeables.
- Aumentar el valor del entorno mediante la minimización del coste e implementación de las infraestructuras de drenaje (Momparker y Domenech, 2008).

La disminución de la escorrentía y caudal trae consigo el alivio de la incompetencia hidráulica perteneciente a los sistemas de drenaje convencionales que han sido aquejados por

el incremento de la urbanización. Además, dicha reducción influirá en la mejora del funcionamiento de las PTAR, al presentar estas siguientes condiciones:

- Disminución en los costos, al reducirse el flujo de entrada del agua residual a la PTAR.
- Disminución de costos, al no cambiarse frecuentemente la serie de contaminantes para el que la PTAR está proyectada.
- Reducción de vertidos al ingreso de la PTAR por incapacidad de esta (Momparler y Domenech, 2008).

2.1.2 Tipos de sistemas de drenajes urbanos sostenibles

De acuerdo con Roldán (2015), se cuenta con diferentes autores que escribieron acerca de las tipologías de SUDS, clasificando de diferentes formas con la implementación de varios criterios como lo son su función, la clase de sistema o su sitio de utilización, sin embargo, los objetivos tienen el mismo fin, por consiguiente, se describe la tipología según Abellán, de forma general en prácticas no estructurales y estructurales.

Prácticas no estructurales. Estas no requieren de operación alguna sobre la red, ni la edificación de ninguna estructura, igualmente podemos encontrar unas disposiciones a implementar, tales como:

- Educación y participación ciudadana, mediante campañas de concientización
- Legislación
- Limpieza y mantenimiento
- Programación económica (Abellán, 2015).

Prácticas estructurales. Teniendo en cuenta lo que nos dice Roldán (2015), las medidas estructurales tienen como finalidad el control de las aguas lluvias, a través de actividades que involucran cierto tipo de elementos constructivos o tras la aprobación de discernimientos urbanísticos, dichas medidas se dividen en:

Sistemas de control en origen o de infiltración. Estas técnicas según Abellán (2015), son los que captan el agua de lluvia directamente y aseguran la penetración en su superficie. Asimismo, pueden conectarse a otros sistemas y pueden auto cerrar el ciclo del agua conectando superficies a sustratos permeables. Estos se clasifican en:

Superficies permeables. Dan la opción de incluir en el proyecto el depósito, el aprovechamiento o la introducción del agua en los ecosistemas naturales; además podemos encontrar los pavimentos permeables y cubiertas vegetales extensivas, intensivas e intensivas simples (Roldán, 2015).

Pavimentos permeables. Según Abellán (2015), los pavimentos permeables son continuos o modulares y posibilitan la infiltración a través de todas las capas que lo componen, siendo estas permeables desde la superficie hasta el subsuelo. Es decir, permiten la infiltración y retención del agua en las capas que lo componen para su posterior recuperación o evacuación, además estas capas proporcionan la retención de diferentes tipos de partículas y sustancias como hidrocarburos que pueden ser biodegradados.

La implementación de pavimentos permeables se deberá hacer en áreas de poco tránsito, calles residenciales o estacionamientos, además se debe tener en cuenta que se puede utilizar en áreas drenantes menores a cuatro hectáreas con pendientes menores al rango entre 2-5%, el intervalo hasta la capa freática deberá estar mayor 1,2 m, la capacidad de permeabilización del

agua en el superficie deberá ser igual o mayor de 1,2 mm/hora y el control de la demasía del agua se realizara mediante un desagüe (Roldán, 2015).

Tipos. Existen diferentes tipologías de pavimentos permeables, de acuerdo a Ruiz (2021), las cuales funcionan como primer medio de purificación del agua y actúan como apoyo estructural, entre ellas se encuentra la grama o gravilla con o sin reforzamiento, los dispositivos impermeables con uniones filtrantes, bloques y losas porosas y revestimientos porosos continuos en alquitrán, concreto, resinas y demás.

Ventajas. De acuerdo con Ruiz (2021), las ventajas de este sistema son:

- Atenúa la caudal punta de escorrentía
- Buenas condiciones de agua
- Disminución de costos, en virtud de la disminución de los métodos de drenaje convencionales
- Aumento de la seguridad del tráfico en periodos de precipitación.

Desventajas. Según Roldán (2015), las desventajas o limitaciones de este sistema son:

- No se emplean en zonas con alta intensidad del trafico
- No se emplea en el arrastre superficial de altas cargas de sedimentos

Mantenimiento. Para el mantenimiento de los pavimentos permeables, de acuerdo con lo que nos dice Abellán (2015), se debe tener en cuenta que tipo es, sin embargo, se dispone de una serie de pasos generales, tales como el barrido frecuente y el tratamiento de las sustancias o partículas que son eliminados mediante estos.

Cubiertas vegetadas. Las cubiertas vegetadas están diseñadas para recolectar y retener agua de lluvia, reduciendo la cantidad de escorrentía y amortiguando los caudales máximos.

Consta de una serie de capas colocadas en la cubierta de los edificios en donde se tiene un aumento de vegetación, igualmente, las cubiertas vegetadas tienen como función la detención de polución, la disminución del efecto isla de calor y el retraimiento térmico (López y Melgarejo, 2020).

El empleo de las cubiertas vegetadas se ejecuta en el manejo de aguas de escorrentía en áreas residenciales y comerciales e industriales, o como aislante térmico o para uso recreativo. (Roldán, 2015).

Tipos. Entre los tipos de cubiertas vegetadas se encuentran las siguientes, según López y Melgarejo (2020):

- Extensivas: son de suelo delgado, con retención de agua limitada y sin riego imprescindible.
- Intensivas: son de terrenos más penetrantes, que demandan mayor cantidad de riego y retención de agua.
- Intensiva simple: son de varios sustratos con mayor profundidad, se realiza mediante la mezcla de los dos tipos anteriores.

Ventajas. Las ventajas que se contemplan en este sistema son:

- Reducción de altas magnitudes de escorrentía
- Reducción de los contaminantes atmosféricos
- Mejoramiento en cuanto la calidad del aire
- Reducen los efectos isla de calor
- Aísla térmicamente los edificios (Roldán, 2015).

Desventajas. Las desventajas o limitaciones que se consideran en este sistema de acuerdo con Roldán (2015) son:

- Costosos según el tipo
- Mayores mantenimientos, según el tipo
- Las estructuras de las cubiertas limitan la implementación de estos.

Mantenimiento. En el mantenimiento de las cubiertas vegetadas se contempla el tipo para realizar el riego y el mantenimiento de la flora o vegetación (Abellán, 2015).

Pozos y zanjas de infiltración. Los pozos según Roldán (2015) tienen como función principal la reserva temporal del agua de escorrentía de cubiertas y azoteas, para implementar esta tecnología es posible desconectar estas aguas de la red principal, lo que reduce la cantidad de caudal a conducir por esta. No es posible empelar estos sistemas de pozos subterráneos en suelos con baja capacidad de infiltración y se recomienda que permanezcan ligeramente sobre la capa freática para permitir las exfiltraciones al suelo.

Las zanjas de infiltración son utilizadas generalmente para el control de calidad y de cuantía del caudal de escorrentía de las áreas habitables y comerciales, asimismo son estructuras más angostas y menos profundas a comparación de los pozos. Algunos requerimientos que se han de tener en cuenta son la facultad de infiltración del terreno que será mayor a 12 mm/h, el área a tomar deberá ser alrededor de 2 hectáreas, con un intervalo mínimo a la capa freática de 1,2 metros y en determinadas ocasiones se emplean geotextiles de filtro. Se emplean en la captación de aguas en áreas adyacentes de los caminos, en estacionamientos, en zonas comerciales, industriales y residenciales (Abellán, 2015).

Ventajas. De acuerdo con lo expuesto por Roldán (2015), las ventajas de estos dos sistemas son:

- Reducen el volumen de escorrentía
- Buena incorporación en el paisaje

Desventajas. Conforme a lo que nos dice Roldán (2015), las desventajas o limitaciones de estos dos sistemas son:

- Se taponan con facilidad
- Solo se utilizan en áreas pequeñas

Mantenimiento. De igual manera, para el mantenimiento de estos sistemas se deberá realizar la separación y limpieza de sedimentos y obstrucciones (Roldán, 2015).

Depósitos de infiltración. Son hundimientos o concavidades de pocas profundidades, diseñados para captar, guardar e infiltrar progresivamente el agua de escorrentía en los terrenos contiguos. El propósito de dichos sistemas es convertir la escorrentía de agua superficial en flujo subterráneo y a través de los procesos de filtración, absorción y cambios biológicos, descartar los contaminantes. En estos sistemas se dispone de ciertos requerimientos a cumplir como que la extensión drenante sea menor a 10 ha con pendientes menores o iguales al 15%, el nivel freático tendrá que ser mayor a 1,2 m de profundidad, la desigualdad entre las cotas de ingreso y salida y con una suficiencia de infiltración de 12 mm/h. Además, son utilizados en la conducción de las aguas de escorrentía en áreas de densidades reducidas (Abellán, 2015).

Ventajas. Entre las ventajas de los depósitos de infiltración se encuentran las siguientes según Roldán (2015):

- Reducción de la cantidad de escorrentía
- Disminución de los contaminantes mediante la filtración
- Sencillos y económicos

Desventajas. De acuerdo con Roldán (2015), algunas desventajas que podemos encontrar en este sistema son:

- Alto nivel de fracaso, debido a los malos diseños o mantenimientos
- Solo son utilizados en áreas con bajo nivel de contaminantes en la escorrentía.

Mantenimiento. Regularmente se hará el registro y verificación del estado de los depósitos, asimismo se hará la limpieza y retiro de residuos de cada uno de estos (Abellán, 2015).

Áreas de bio-retención. Suelen ser terrenos deprimidos que asumen como objetivo primordial la inspección de calidad del agua antes de ser descargada al ambiente, para facilitar la facultad de infiltración en estas áreas se dispone un terreno mayormente permeable bajo un estrato de filtro orgánico y dren colector para grava. Para el manejo de estos sistemas el área deberá estar un rango de 0,2 a 1 hectárea, con pendientes menores al 6% y con un rango mínimo del nivel freático de 0,6 m. Estas áreas de bio-retención generalmente son usadas para el control del agua de escorrentía, tanto en zonas residenciales como comerciales, con extensiones entre el rango de 1 hectárea y es recomendable su uso en zonas impermeables (Roldán, 2015).

Ventajas. De acuerdo con Abellán (2015), se encuentran diversas ventajas, tales como:

- Retiro de metales pesados, bacterias, nutrientes, sedimentos finos y materia orgánica
- Reducción de la escorrentía

Desventajas. Entre las desventajas o limitaciones descritas por Abellán (2015), se encuentran las siguientes:

- No se usan en áreas con pendientes mayores al 15%
- Presenta flujos concentrados
- Altas cargas de sedimentos causan problemas

Mantenimiento. En las áreas de bio-retención se deberá disponer de la limpieza, retiro y control de sedimentos, plantas, entre otros (Roldán, 2015).

Filtros de arena. Teniendo en cuenta lo expuesto por Abellán (2015) los filtros de arena almacenan el agua de forma temporal, misma que después hacen pasar por varias capas de arena, para realizar su respectiva filtración. Estos filtros se componen de 2 cámaras, en las que se realizan el proceso de eliminación de elementos y sedimentos y el proceso de filtración mediante un lecho de arena. Se podrá hacer uso de este sistema en áreas menores a cuatro hectáreas o con periodos de retorno de dos años, con pendientes menores al 6%, una carga hidráulica de 1,5 m y una desigualdad de cotas de ingreso y salida del 0,6 m. Usualmente se implementa este sistema para que se verifique la de calidad del agua de escorrentía y para la retención de contaminantes.

Tipos. Entre los tipos de filtros de arena podemos encontrar los siguientes según Roldán (2015)

- Filtros perimetrales: estructuras subterráneas dispuestas de forma lateral a una superficie impermeable.
- Filtros enterrados: se encuentran ubicadas en zonas con bastante urbanización en compartimientos subterráneos.
- Filtros orgánicos: son en los que la segunda cámara es un filtro orgánico, tal como el compost.

Ventajas. Considerando lo expuesto por Roldán (2015), entre las ventajas de este sistema está el mejoramiento de la calidad del agua.

Desventajas. Contemplando las desventajas que presenta Roldán (2015) del sistema de filtros de arena, encontramos que:

- Se obstruyen fácilmente
- No se puede realizar cerca de ninguna infraestructura

Mantenimiento. Para realizar el respectivo mantenimiento de estos filtros se deberá hacer una adecuada limpieza de cada uno de ellos (Roldán, 2015).

Sistemas de transporte. El objetivo principal de los sistemas de transporte es la conducción del agua lluvia hacia sistemas de tratamiento o el lugar de disposición final. En estos sistemas se encuentran las cunetas verdes, franjas y drenes filtrantes (Abellán, 2015).

Cunetas verdes. De acuerdo con López y Melgarejo (2020) son estructuras trapezoidales con bases superiores a 0,5 m y talud con pendientes $<1v:3h$, de igual manera están cubiertas por vegetación y tienen como finalidad el depósito y conducción de la escorrentía de las franjas impermeables adyacentes. El área para drenar deberá ser menor a 2 hectáreas con una pendiente longitudinal inferior al 4%. Las cunetas verdes son implementadas para inspección de las aguas de escorrentía en las zonas residenciales, comerciales o industriales, además se utilizan como reemplazo de las cunetas convencionales.

Tipos. Entre los tipos de cunetas verdes según Roldán (2015), encontramos las siguientes:

- Tradicionales: cunetas cubiertas de vegetación, utilizadas para el control de escorrentía
- Vegetales secos: se componen por un filtro permeable
- Vegetales húmedos: almacenamiento del agua de forma permanente

Ventajas. Para el sistema de cunetas verdes según Roldán (2015) se evidencian las siguientes ventajas:

- Económicas y eficientes
- Reducción de contaminantes
- Reducción de los volúmenes de escorrentía

Desventajas. Acorde a Roldán (2015) entre las desventajas de este sistema están que:

- No son adecuadas para terrenos escarpados
- Limitación de siembra de arboles

Mantenimiento. Para el mantenimiento de estos sistemas se deberá realizar la limpieza, recolección de residuos, corte de césped y reparación de las áreas dañadas (Abellán, 2015).

Franjas filtrantes. Son áreas de terreno amplias, con poco pronunciamiento de la pendiente, cubiertas por vegetación y ubicadas entre la zona impermeable y el sitio que toma la escorrentía, anchas y con poco pronunciamiento de la pendiente. Tienen como función principal el control y recolección de las aguas de escorrentía de las áreas contiguas impermeables (Roldán, 2015).

Ventajas. Las ventajas o beneficios de las franjas filtrantes según Abellán (2015), son:

- Reducción de la escorrentía para grandes zonas
- Funcionan como tratamiento previo para pasar a otro sistema
- Fácil integración en el paisaje

Desventajas. Las desventajas que expone Abellán (2015) son las siguientes:

- No recomendables para lugares con alta carga de contaminación o en lugares inclinados
- No reducen de forma significativa el volumen de escorrentía

Mantenimiento. Este sistema requiere de una limpieza, verificación y cuidado de la vegetación periódicamente (Roldán, 2015).

Sistemas de almacenaje y tratamiento pasivo. Están ubicados de acuerdo a Abellán (2015) al final de la red con el fin de alargar la estancia de las aguas de escorrentía al sitio de disposición final, durante un periodo de tiempo determinado, se pueden encontrar los siguientes sistemas como:

Depósitos de lluvia. Tienen como función la obtención y almacenamiento del agua pluvial que cae sobre las cubiertas de las casas, con el fin de ser conservada para ser usada después. Además, sirven para reducir el pico del hidrograma (Abellán, 2015).

Ventajas. Acorde a lo mencionado Roldán (2015) las ventajas son:

- Funcionan como un nuevo origen de agua
- Reducción del pico del hidrograma
- Instalación económica

Desventajas. Conforme a lo expresado por Roldán (2015) las desventajas de estos sistemas son:

- Si el agua va a ser para consumo, se debe instalar un sistema de tratamiento, el cual es más costoso
- Algunas veces es necesario un sistema de bombeo

Mantenimiento. Estos sistemas de depósitos de lluvia requieren de limpieza y verificación periódicamente (Roldán, 2015).

Depósitos de detención enterrados. Estos depósitos de acuerdo con Abellán (2015) son estructuras subterráneas que tienen como función principal la de laminar el hidrograma por medio de la captación y almacenamiento de la escorrentía y su respectiva disposición final.

Depósitos de detención superficiales. Estos depósitos almacenan las aguas de escorrentía de manera temporal, realizando la laminación y reducción de los canales punta, obteniendo así una considerable disminución de los riesgos de inundación. Para la implementación de este sistema se deberá tener una extensión drenante entre 4 y 30 ha con una pendiente longitudinal menor al 15% y una desigualdad de cotas de ingreso y salida de 1,50 m. Generalmente son utilizados para retención de agua en zonas residenciales (Roldán, 2015).

Ventajas. Teniendo en cuenta lo que nos dice Abellán (2015) las ventajas son:

- Sirven como una fuente de agua
- Disminuye el pico del hidrograma
- Económicos

Desventajas. Las desventajas que nos menciona Abellán (2015) son:

- A veces se necesita de un sistema de bombeo
- Si requiere de sistema de tratamiento de aguas, se incrementará el valor, haciéndolos más costosos

Mantenimiento. En estos sistemas es necesario la implementación de una serie de requerimientos para realizar su mantenimiento adecuadamente, como el aseo y eliminación de residuos y el control de sedimentos y de vegetación (Roldán, 2015).

Estanques de retención. Son lagos artificiales con profundidad considerada entre 1,2 m - 2 m, que almacenan el agua de forma permanente lo cual ayuda al crecimiento de flora y fauna acuática. Además, se requiere de una extensión de área drenante de 10 hectáreas con una pendiente longitudinal menor al 15% y una diferencia de cotas de ingreso y salida entre 1,2 a 1,8 m. (Abellán, 2015)

Ventajas. Las ventajas que destacar según Abellán (2015) son:

- Buena aceptación de la población
- Reducción de los contaminantes

Desventajas. Las desventajas por contemplar en este sistema según Roldán (2015) son:

- No reduce de forma considerable la escorrentía
- Se puede dar la anaerobiosis

- No recomienda para zonas escarpadas

Mantenimiento. Para realizar el mantenimiento de estos sistemas se realizará la limpieza y reducción de residuos y el control de sedimentos y de la vegetación (Roldán, 2015).

Humedales artificiales. De acuerdo con Abellán (2015) los humedales artificiales son de poca profundidad y con abundante vegetación lo que genera la eliminación de contaminantes, son buenos para gestión de escorrentía y para la verificación de la calidad del agua. Para el diseño de estos sistemas se debe tener en cuenta que el área drenante debe estar alrededor de las 10 hectáreas, con una pendiente longitudinal menor al 8%, con un rango entre cotas de entrada y salida entre 0,9 y 1,5 m; además se deberá mensurar 4 áreas con distintas profundidades tales como zonas de aguas profundas, de baja vegetación, de alta vegetación y zona inundable. Se utilizan en el control de la escorrentía de zonas residenciales, en control de calidad del agua y la eliminación de los contaminantes.

Ventajas. En concordancia con Roldán (2015), las ventajas son:

- Reducción de contaminantes
- Buena aceptación de la población
- Buena integración en el paisaje

Desventajas. Las desventajas o limitaciones de los humedales artificiales según Abellán (2015) son:

- Poca disminución de los volúmenes de escorrentía
- No son recomendables en terrenos con pendientes
- Ocupan gran cantidad de terreno
- Problemas de eutrofización

Mantenimiento. En el mantenimiento de estos sistemas se debe realizar el aseo y reducción de residuos y el control de los sedimentos y de la vegetación (Roldán, 2015).

2.1.3 Ventajas y desventajas de los sistemas de drenaje urbano sostenibles

De forma general se presentan las ventajas y desventajas de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la **tabla 1**.

Sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS)	
Ventajas	Desventajas
Protección y mejoramiento de la calidad y cantidad de agua	Carencia de conocimiento y experiencia en el ámbito de los SUDS
Restauración y conservación del ciclo hidrológico del agua	
Protección y conservación de los medios receptores	La precaución ante el uso de estos sistemas de drenaje urbano convencional
Aporta a la valoración de la ciudad por criterios visuales o ambientales	
Posibilita la recarga de acuíferos	Requieren mantenimientos periódicamente
Protección y mejoramiento de la biodiversidad	

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los sistemas de drenaje urbano sostenible.

Fuente: (Fernández, 2020).

Por consiguiente, de manera un poco más específica se muestra en la **tabla 2**, los beneficios de las diferentes tipologías de los SUDS frente a los métodos de drenajes convencionales.

Beneficios	Sistema de drenaje convencional	Pavimentos permeables	Cubiertas vegetadas	Pozos de infiltración	Zanjas de infiltración	Depósitos de infiltración	Áreas de bio-retención	Filtros de arena	Drenes filtrantes	Cunetas verdes	Franjas filtrantes	Depósitos de lluvia	Depósitos de detención	Estanques de retención	Humedales artificiales
Control de la calidad del agua		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Control de la cantidad del agua	X	X	X				X				X	X	X	X	X
Remoción de contaminantes urbanos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
Restauración del ciclo hidrológico natural		X	X												
Reducción y atenuación de escorrentía urbana		X	X	X	X	X	X				X				X
Rápida remoción de la escorrentía	X								X	X		X	X	X	
Mejora del paisaje urbano		X	X								X				X
Prevención de la contaminación de las cargas de contaminación				X	X	X		X			X			X	
Protección de los medios receptores		X						X	X	X	X				
Recarga de acuíferos		X		X	X	X									
Reducción de los costes energéticos		X	X				X								X
Reducción de la demanda de agua												X	X	X	
Reducción del riesgo de inundaciones	X		X				X		X	X		X	X	X	X

Beneficios	Sistema de drenaje convencional	Pavimentos permeables	Cubiertas vegetadas	Pozos de infiltración	Zanjas de infiltración	Depósitos de infiltración	Áreas de bio-retención	Filtros de arena	Drenes filtrantes	Cunetas verdes	Franjas filtrantes	Depósitos de lluvia	Depósitos de detención	Estanques de retención	Humedales artificiales
Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	X	X				X									X
Reducción de sumideros	X														
Control en origen de los caudales	X														
Regulación de microclimas urbanos		X				X									X
Superficies secas tras episodios de lluvia	X	X										X	X	X	
Mejora del aislamiento térmico de los edificios		X													
Mejora de la salud pública							X	X	X	X	X				
Aumento del valor de la propiedad		X				X									X
Aumento del caudal de base		X			X	X									

Tabla 2. Beneficios de las tipologías de los SUDS frente al sistemas de drenaje convencional. Nota. Se presenta los

beneficios de implementar los diferentes tipos de los SUDS frente al sistema de drenaje convencional. Fuente:

(Soriano et al., 2017)

2.1.4 Implementación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en Colombia

Según Cubides y Santos (2018) en la actualidad, la implementación de los SUDS en Colombia está comenzando su auge, ya que es claro que se necesitan alternativas nuevas para reducir la tasa de escorrentía de las redes pluviales diseñadas y que de la misma manera contribuyan con el medioambiente. Sin embargo, de acuerdo con Tarazona et al. (2021) son muy reducidas las aplicaciones que podemos llegar a encontrar a nivel nacional en los últimos años, no obstante, se cuenta con algunas, tales como:

En Medellín, Antioquia en el parqueadero de la Universidad Nacional, sede Medellín se implementó una tipología en concreto permeable gris con una extensión de 3000m², para uso de parqueo de motos, de igual forma en las estaciones encicla – ciclo-rutas en la zona de parqueo de bicicletas, ubicadas en la estación sede tele-Medellín también se hizo uso de este concreto como sistema de drenaje urbano sostenible (Beltrán, 2022).

Por consiguiente en la pontificia universidad javeriana cuenta con un método de provecho de aguas pluviales, el cual está ubicado dentro de la universidad y es utilizado con el fin de captar y recoger las aguas lluvias obtenidas mediante los tejados o cubiertas de los edificios cercanos y de las zonas verdes, este sistema se compone por dos desarenadores que tienen como objetivo la eliminación de los elementos granulares de mayor tamaño del agua captada y la conducción de ésta hacia el humedal, en el cual el agua es tratada para darle su respectivo uso (Tarazona et al., 2021).

Del mismo modo, en Cartagena en la sede piedra de bolívar de la universidad de Cartagena en el año 2013, se implementó un jardín de pluvial a escala piloto siendo un sistema de bio-retención (Franco y Hincapié, 2015).

2.1.6 Aplicación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en Bogotá

Según la Alcaldía de Bogotá D.C (2021): Bogotá tiene un reglamento técnico para implementación de 7 tipos de “sistemas urbanos de drenaje sostenible – SUDS. para estos sistemas, se cuentan con alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, pavimentos permeables, tanques de almacenamiento, zanjas de infiltración y zonas de bio-retención”. (Canal Capital, 2021)

- En relación con lo anterior en junio del 2019 se implementaron en la avenida rincón en la conejera- av. Tabor las primeras 3 tipologías de depósito inundable están interconectadas con tres arboles los cuales fueron de la especie de roble australiano que logran almacenar 6 m³ de agua en cada lluvia, los tiempos por mantenimiento para estos es de 20 minutos por cada uno de ellos; en el 2021 se diseñaron 140 und de alcorques para implementar en la ciudad para la avenida 68. Del mismo modo en junio del 2017 se implementaron 70 metros de cuneta verdes logrando el almacenamiento de 188 m³ por cada eventualidad de lluvia (Martinez y Molina, 2020).
- En la actualidad se cuenta con SUDS finalizados en las avenidas: bosa, a mejía, congreso eucarístico, caracas, rincón con calle 127 y en la troncal de Cali estas están en etapa de estudio los cuales son 222 alcorques inundables, 4 tramos de cunetas verdes y 17 áreas de bio-retención y se están implementando para reducir los encharcamientos y mejorar los volúmenes de escorrentía en los espacios públicos, logrando así también la permanencia de la fauna y agregar valor (Ambiental, 2022).
- Cordoba (2016), el parque metropolitano simón bolívar es apreciado como el pulmón de la ciudad por tener grandes zonas de vegetación, contando con un lago artificial o estanque húmedo que puede ser catalogado con un sistema SUDS los cuales tiene una

áreas de once hectáreas y gran número de árboles; el parque metropolitano Timiza posee la misma tipología que el anteriormente nombrado, contando con 29,8 hectáreas de zonas verdes y árboles y su mejor característica es su lago artificial que funciona como un tipo de SUDS. La empresa Groncol ha desarrollado proyectos de infraestructura verde como el refugio 68 con un área de 58 m² en junio del 2014 y la conecta plaza con áreas de 837 m² en diciembre del 2013.

- Brevemente podemos obtener los sistemas SUDS aplicados en algunos otros sitios como el jardín botánico el cual cuenta con zonas de bio-retención, zanjas de infiltración y pondaje húmedos, en el parque ecológico San Rafael (la calera y en el conjunto residencial la sabana se tiene humedales artificiales, en el parque centro comercial y la sede banco Sudameris se cuenta con tanques de almacenamiento; así mismo en Bosa, Fontibón y Suba cuentan con pondaje (López y Melgarejo, 2020)

3. Techos verdes en Bogotá

3.1 Problemática de los sistemas de drenaje en la ciudad de Bogotá

Bogotá no es la excepción en cuanto a complicaciones con los sistemas de drenaje, debido a factores primordiales que influyen en el correcto funcionamiento de estos, como lo son el cambio climático cuya consecuencia son las inundaciones ocasionadas por fuertes precipitaciones y el incremento en la urbanización que trae consigo un mayor número de superficies impermeables, es por esto que en el sistema de drenaje del área metropolitana se ha llegado a presentar diversos colapsos puesto que no están diseñados para conducir los altos volúmenes de esorrentía que se presentan actualmente (Torres et al., 2019).

Aunque Bogotá cuenta en gran parte con un método de drenaje mixto en las áreas más antiguas y las más nuevas con uno separado que consta de un alcantarillado sanitario y uno

pluvial y con un punto en común de descarga al río Bogotá, estos son considerados obsoletos ya que no dan abasto, no contribuyen al desarrollo sostenible de la ciudad y tienen elevados costos debido a las adecuaciones de ampliación u otras acciones acordes a las condiciones requeridas, lo que tampoco es óptimo para el presupuesto de la ciudad (Torres et al., 2019).

De ahí que el problema radica en los factores mencionados anteriormente lo que genera un afán por contribuir con la disminución de los efectos del cambio climáticos y del crecimiento de las urbanizaciones, por lo que se han implementado los SUDS como una opción o complemento de los métodos convencionales de drenaje en diferentes partes del mundo, es por ello que las cubiertas verdes se consideran una solución a las problemáticas generadas en la ciudad de Bogotá. (Contreras, 2016)

Además, para darle solución a este problema en la ciudad de Bogotá según Camacho y García (2019) se han realizado grandes proyectos, con el propósito de la reducción de acontecimientos como inundaciones. Posteriormente se mencionan algunos:

- Mejoramiento del cauce del río Bogotá para proporcionar que el drenaje de la ciudad presente un tráfico conveniente a los requerimientos.
- La obra de embalse seco de Cantarrana en el Río Tunjuelito, para limitar las enormes crecidas de la cuenca alta.
- Mantenimientos provisorios en las fuentes hídricas, mediante la eliminación de impurezas sólidas y otras medidas adicionales para disminuir el peligro a inundación.
- El plan de ajuste de los sistemas de drenaje.
- Investigaciones sobre la exploración hidrometeorológica y determinaciones acerca del impacto del cambio climático por las amenazas relacionadas con los fenómenos hidrometeorológicos.

Y no solo eso, también se han desarrollado otras soluciones tradicionales, como la recuperación de redes, el desacoplamiento y la migración de redes, para reducir las inundaciones (Camacho y García, 2019).

3.2 Importancia de implementar los techos verdes en Bogotá

Los techos vegetados influyen de manera importante en la ciudad de Bogotá como alternativa de los SUDS, debido a los factores externos positivos que estos aportan como lo es la detención hidrológica, es decir permiten reducir el flujo del agua que ingresa a los sistemas de drenaje convencionales cuando se producen fuertes precipitaciones, desarrollando así una menor probabilidad de inundación y menores costos en el tratamiento de aguas y ampliaciones de estos sistemas, ya que no se implementarían (Jaramillo, 2015).

Además, gracias a la cobertura vegetal de las cubiertas verdes se logra una captación de CO₂, mediante procesos de fotosíntesis, también aportan una mejora en su calidad del agua y el aire, junto con un monitoreo de la temperatura, una disminución del ruido y un incremento en el valor estético de la ciudad; todos estos beneficios proporcionan de manera directa un alivio en la población afectada por los factores anteriormente mencionados (Jaramillo, 2015).

De acuerdo con Jaramillo (2015) otro punto a favor de los techos verdes es la duplicidad del desarrollo de la ciudad y la ecología, ya que no es necesario reemplazar ni quitar la infraestructura actual, de manera que no se perjudica los avances ya logrados en la ciudad.

3.3 Techos verdes una medida de sistema de drenaje urbano sostenible en Bogotá

Son métodos de varias capas que cubren cubiertas de los edificios con follaje para capturar y retener la lluvia, con el fin de disminuir la escorrentía y el caudal máximo generado en la ciudad, todo mientras se reducen las superficies impermeables. (Ávila, 2012)

Los inicios del empleo de cubiertas verdes en Bogotá se remontan al acuerdo 418 de 2009 del Consejo de Bogotá “el cual promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el distrito”. (Consejo de Bogotá, 2009)

De acuerdo con Jaramillo (2015) en el año 2011 en Bogotá por parte del área publica se mostró evidencia de la incitación del uso de esta tipología en las primeras edificaciones y asimismo se aprueba mediante la resolución 6423 de 2011, la guía técnica para la implementación de cubiertas verdes. Hasta tal punto que en el sector privado asimismo como en el publico estos SUDS se han generado con el fin de contribuir a la descongestión del alcantarillado de la ciudad con el uso de este sistema que fue creado para la intercesión de la agua pluvial ya que en épocas de invierno se ven afectados los habitantes de algunos sectores por las inundaciones de varios barrios de la ciudad por que al caer esta agua transporta por escorrentía todo los residuos que se encuentran en su camino logrando así que estos obstruyan los sistemas de drenaje existentes, los techos verdes también contribuyen a la mejora paisajística, actúa también como una capa térmica.

3.4 Función de los techos verdes como sistema de drenaje sostenible en Bogotá

En efectos los techos verdes son sistemas creados artificialmente ofreciendo espacios verdes en zonas de industria y residencia dentro de esta ciudad con altos niveles de contaminación logrando así con la implementación de estas cubiertas mediante el cultivo de ciertas plantas de muchas especies que se adapten al clima y a este sistema que es instalado en los tejados, terrazas o balcones de edificios de uso público o privado y casas, los cuales pueden quedar total o parcialmente encapotados de vegetación ya sea con el uso de suelo o medios de cultivo alternativo apropiados, compuesto por capas de distintas funciones como es la irrigación, drenaje, barrera contra las raíces (Equipo de Construyored, 2016).

Tienen como función la intercepción y retención de las aguas pluviales logrando así que los niveles de escorrentía se reduzcan y se atenúe el caudal pico dentro de la ciudad, también ayuda a retener contaminantes en el aire y la lluvia, en tanto que ayuda como aislante térmico y compensa el efecto producido por isla de calor que algunas partes de la ciudad según (Abellán, 2015), así mismo promueven la protección de la variedad biológica y el uso de desechos orgánicos, aportando un valor estético y paisajístico a las estructuras en las que se implementa logrando así que se proporcionen muchas más áreas de naturaleza dentro de las zonas de industria y urbanas, igualmente se pueden implementar sistemas de tanques para lograr el aprovechamiento de dicha agua para el uso de riego y sistemas dentro de la estructura que no se requieran de agua potable para el uso de ellas y creando un confort térmico que permite el ahorro tanto de calefacción o aires acondicionados, reducción de ruidos (Canal Capital, 2021).

Con estos techos se busca mitigar los altos aumentos relacionados con sucesos de lluvia de periodos de retorno en dos años, para cubrir estos lugares se deben implementar plantas que soporten periodos de humedad y sequía, así mismos periodos de calor y frío; esta vegetación debe ser de poco requerimiento de agua para que soporten los periodos de verano, que sean de suelos drenantes y autosustentable, se pretende que sean capaces de perdurar en suelos pobres o con inclinación a la acidez, también se puede usar aquellas que favorezcan la biodiversidad y estética de la estructura. En la estructuración se debe proveer de un drenaje adecuado para evitar el empozamiento en la superficie así mismo se deben instalar con una pendiente del 2% y también así se debe anclar esta vegetación con la finalidad de eludir el escurrimiento hacia canales en tiempos de precipitaciones altas (Molina et al., 2011).

3.5 Componentes que agrupan los elementos de la estructura de los techos Biológicos

Según Nieto- Castañeda et al (2011) en la guía de cubiertas verdes en Bogotá, las cubiertas verdes que son de tipo biológico cuentan con 3 tipos de componentes, esto no es muy autónomo de los tipos según la tecnología empleada, los componentes son:

Componentes activos. Son aquellos que sufren cambios fisicoquímicos constantemente, son los que permiten que se cumplan las funciones en el transcurrir de la vida del techo verde tales compuestos son los elementos biológicos como el sustrato que bien sea por el cambio constante de los elementos del ambiente el está en continuo cambio como lo pueden ser los nutrientes, características; estos son los que nos favorece para que mantenga viva la vegetación que se aplique a la cubierta para ello siempre hay que tener en cuenta las especies que se apliquen las cuales tienen que ser seleccionadas debidamente para que se adapten con facilidad al clima del sitio de acuerdo con el tipo a implementar ya que estas siempre tienen características diferentes como los son grosor de la capa, el drenaje, la aireación la cual se mejora con la adicción de materia suelta dentro del sustrato y otras que hay que tener en cuenta para que se obtengan los mejores resultados (Nieto- Castañeda et al, 2011).

Componentes estables. Estos se pueden definir como los elementos inertes dentro de la estructuración de la cubierta, son aquellos que se encargan de soportar la estabilidad física y química para que dicha estructura puede cumplir de manera adecuada la funciones necesarias en el transcurrir de su vida de funcionamiento, para estos componentes estables la durabilidad de los compuestos nos dará como resultado la capacidad de los mismos a los cambios ambientales y otros factores que los pueden afectar; estos componentes son tales como el concreto de soporte, los impermeabilizantes y el sistema de drenaje que se aplique (Nieto- Castañeda et al, 2011).

Elementos auxiliares. Son aquellos componentes inertes estables que llevan a cabo una función específica que permite la adaptación correcta de los tramos de techos verdes que se aplique en una estructura estos componentes pueden ser: el aislamiento, separación, tránsito, riego y otros que se puedan tener con mejor claridad al momento del estudio para la aplicación (Nieto- Castañeda et al, 2011).

3.5.1 Composición general de los techos verdes

Para generalizar las capas que van normalmente en los techos verdes en la mayoría de la clasificaciones y tipos de cubiertas como se puede observar en la **Figura 4**, se tiene el mortero con pendiente que actúa como el soporte, la impermeabilización o membrana impermeable, el sistema drenante, el geotextil, el sustrato y por último la capa de vegetación.



Figura 4. Componentes de los techos verdes. Fuente: (Valbuena y Tibasosa, 2016)

Mortero con pendiente. Este se debe diseñar con una inclinación de mínimo un 2% para que el sistema de drenaje funcione, se debe tener en cuenta el peso de las capas que se coloquen sobre este para que use la dosificación correcta para dicha capa y así mismo se use algún tipo de refuerzo si es necesario (Rivas, 2017).

Impermeabilización. La función de esta capa es mantener la estructura seca y libre de cualquier tipo de humedad por eso se debe tener en cuenta el mejor tipo de membrana que se

aplique ya que esta también tiene que ser anti-raíz se debe usar una sola lamina que cubra el área completa (Rivas, 2017).

Sistema drenante. Este se implementa para evitar la saturación del sistema en época de mucha lluvia transportándola el agua a los sistemas de canales o tanques de almacenamiento, también pueden actuar como barrera contra raíces (Rivas, 2017).

Geotextil. Esta evita que las raíces traspasen la capa impermeabilizante si se usa un impermeabilizante que cumpla los de dos requerimientos estos ya son encontrados en el mercado con estas características se puede omitir el geotextil (Rivas, 2017).

Sustrato. La profundidad de la capa estará entre 70-200 mm este sustrato debe ser de peso ligero no se puede usar suelos comunes de jardinería ya que estos son muy pesados por la alta cantidad que tiene de materia orgánica. Para esto se debe realizar una composición especial para que aporte los nutrientes necesarios y sea liviano (Aguirre y Garcia, 2014).

Vegetación. Esta capa contiene plantas adaptadas al clima local o urbano, que requieren poca agua y son resistentes a temperaturas muy altas (Bonells, 2021).

3.6 Requerimientos para la operatividad de cubiertas verdes

3.6.1 Requerimiento mínimo para su funcionalidad

Estanqueidad. Se debe garantizar que tenga un tiempo de vida útil en el cual se impida la filtración de líquidos en la estructura de la edificación, los materiales para ello deberán de ser sintéticos como el PVC, poliéster y todos aquellos que cuenten con los mismas características y estén libres de materia orgánica, estas capas se deben instalar con una pendiente de mínimo el 2% y máximo de 10% esto se define dependiendo en tipo de cubierta y estructura, estas capas se debe extender por toda la cubierta no solo en el área a intervenir, esta se debe instalar de forma

constante sin ningún tipo de corte o perforación, el espesor mínimo de 12 mm se debe evitar el uso de herbicidas (Nieto et al., 2011).

Si empleamos material filtro se debe adicionar una capa que puede ser de: geotextil no tejido con resistencia al punzonamiento de 350 newton. y longitud de traslapo mínima de 10 cm, lámina rígida continua de alta densidad con un espesor mínimo de 0.61 mm calibre 24 con traslapos mínimos de 2 cm entre sí y sellado con aire caliente (Nieto et al, 2011, pág. 23).

En sitios de tipo estructural o juntas se debe tener un especial cuidado en el momento de aplicar el impermeabilizante de manera que no afecte su funcionamiento: mediante traslapos, sellado (Nieto et al., 2011).

Drenaje. Su principal funcionabilidad es permitir un flujo adecuado de las aguas pluviales hacia los elementos de evacuación de la estructura como canales o los existentes en la edificación, manteniendo la humedad y aireación adecuada en el sustrato, en su instalación se debe tener un material cuyo drenaje sea menor a 51 m²/Seg con espesor de la capa menor a 2.5 cm esto en techos con menos del 8° de inclinación, para los bajantes se deben instalar cajas o cualquier tipo de aislamiento que impida el paso de material fin (Nieto et al 2011., pág. 25).

Retención de agua. Se debe implementar sistemas que garantice la captación y almacenamiento de las aguas para así mantener la capa vegetal, la capacidad de retención dependerá la distribución granular que se tenga en el sustrato (Nieto et al., 2011).

Consistencia. Tiene en cuenta la fuerzas que se aplican de acuerdo al tránsito que se tenga en la cubierta esto dependerá del tipo de cubierta que se aplique, debe ser resistente al punzonamiento, tracción y deterioro (Nieto et al, 2011).

Nutrición. Esta se debe suplir con un sustrato que cuente con el PH requerido que debe estar entre un 6 – 8 según la especie, contar con la cantidad de materia orgánica necesaria no

debe ser mayor al 20%, aireación necesaria con una porosidad semejante del 10%, acidez, para su espesor se debe tener en cuenta según la planta que se use, los diámetros en las partículas serán máximo de 12 mm (Nieto et al., 2011).

Filtración. Es un sistema cuya función es evitar el paso de la materia fina perteneciente al sustrato garantizando el paso libre del agua pluvial, debe contar con permeabilidad de al menos 2 sec-1 (Nieto et al., 2011).

Calidad del agua. Según (Trujillo, s.f) para obtener de manera más detallada el comportamiento de las cubiertas verdes de manera general, se realizan estudios para la calidad del agua pluvial de sistemas de las cubiertas verdes dentro de los factores estudiados tenemos: pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbiedad, nutrientes, coliformes y metales. Estos nos ayudan a comparar la calidad de del sistema aplicado en comparación a otras cubiertas comúnmente usados, para así determinar la utilización del sustrato, plantas, pendiente, y tipo de cubierta. Así se optimiza los parámetros para lograr darle uso al agua de escorrentía que se drena de la cubierta logrando así no generar impactos negativos sobre las fuentes de agua receptora; A continuidad, se describe de maneras breve los parámetros para tener en cuenta:

Potencial de hidrogeno (pH). Está medida de acidez o alcalinidad puede realizarse tanto líquida como en sólido, su escala es de 0 a 14 que va de lo más ácido a lo más normal; para un pH neutro se tiene que obtener nivel de 7 lo que significa que se tienen cargas de manera igual lo que nos dice también que los productos que se encuentren en un valor más bajo que 7 son sustancias ácidas y aquellas que son de valores más altos que 7 son sustancias alcalinas, para aplicar techos verdes se debe obtener un pH entre 6,5 y 8 (Trujillo, s.f).

El pH de las escorrentías de la cubierta o sustrato generalmente el neutro, ya que el sustrato y follaje tiene las características para lograr regular las cargas de los pH ácidos, siendo estos un gran beneficio ya que los techos comunes generan escorrentía con pH elevados (Trujillo, s.f).

Conductividad. Es la propiedad que tienen estas cubiertas para transmitir la corriente eléctrica, esto es variando según los cambios de temperatura, esta medida nos puede indicar la cantidades de sales, nutrientes disueltos y concentración de solidos suspendidos que se encuentren presentes en el medio; la cantidad de concentración aceptable para reusar el agua debe tener concentraciones de hasta 500 $\mu\text{S/m}$, en los sustratos de mayores volúmenes se tendrán aumentos de conductividad, por ello se debe hacer uso baja densidad, pero esto también teniendo en cuenta que se puedan soportar los tiempos de verano y también si se llegan a presentar sequias esta sea capaz de soportar estos factores (Trujillo, s.f).

Nutrientes. Estos se refieren a la concentración de nutrientes como lo son el fosforo y nitrógeno estos se generan por la cantidad de materia de orgánica presenta disuelta con el agua lluvia esta concentración depende de los sustratos que se usen; tanto estos como los materiales que se usen o instalen en las cubiertas tiene ciertas propiedades que no permiten la lixiviación de nutrientes (Trujillo, s.f).

Nitrógeno total. Este se refiere al nitrógeno orgánico y amoniacal esto da como resultado procesos de eutrofización y lixiviación de nutrientes, cuando se presentan altas concentraciones de estas sustancias es por el tipo de materia orgánica que se usa ya que el compost o materia usada se diluye con el agua y no se retiene de manera eficiente, esto genera estas características (Trujillo, s.f).

Fosforo total. La fuente de estos nutrientes proviene de las aguas naturales, se genera también por las altas concentraciones que, por la lixiviación de los compuestos, estos también se

obtienen de los fertilizantes o pesticidas esto se recomienda usarlos de manera granulada para reprimir la contaminación de las fuentes de agua presentes (Trujillo, s.f).

Coliformes totales. Esta se realiza tomando muestras de la escorrentía para así generar una separación de microorganismos coliformes, La concentración perceptible mínima es 1,8 NMP en 100 ml (Trujillo, s.f).

Parámetros/ Usos	Estético	Agrícola restringido	Agrícola no restringido	Urbano y recreativo secundario	Urbano y recreativo primario	Para potabilizar	Preservación ecológica
Oxígeno Disuelto (mg/L)			> 0	> 4	> 4		> 4
DBO5 (mg/L)					< 40		
SST (mg/L)		< 100	< 100	< 100	< 100		
pH		4.5 - 9	4.5 - 9	5 - 9	5 - 9	5 - 9	4.5 - 9
Fósforo total mg/L como P			< 0.025		< 0.025	< 0.025	
Compuestos amoniacales (mg/L)						< 1	< 1
Coliformes totales (NMP/100mL)		< 2000	< 5000	< 5000	< 2000	< 20000	
Coliformes fecales (NMP/100mL)		< 10000	< 1000	< 1000	< 1000	< 2000	
Flotantes y espumas	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos en el fondo	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Olor	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	No perceptible	Ausente

Tabla 3. Valores admisibles de contaminantes presentes en la escorrentía de las aguas de las cubiertas. Fuente: (Trujillo, s.f)

3.7 Ensayo por realizar para determinar los contaminantes de la escorrentía

Fosforo. Este proceso se realiza en dos pasos los cuales son la conversión del fosforo a ortofosfatos, para luego obtener la colorimetría con los ortofosfatos para este proceso se usa la oxidación con persulfato es la más sencilla como método de digestión, asimismo se usa el método del ácido de fosfovanado molibdico este proceso se realiza teniendo en cuenta las recomendaciones de método estándar como SM 4500-P ya con la obtención de los resultados en el rango 1 a 18 mg/L, el cual se comparan los resultados que estén dentro de los rango de la **Tabla 4** (Trujillo, s.f).

<i>P Rango</i> <i>(mg/L)</i>	<i>Longitud de onda (nm)</i>
1,0-5,0	400
2,0-10	420
4,0-18	470

Tabla 4 rangos de operatividad para el fosfato. Fuente: (Trujillo, s.f)

Nitrógeno. Para esto se realiza la utilización de ácido para oxidar y sulfato de cobre para catalizar para lograr así pasar de nitrógeno orgánico a bisulfato de amonio esto se realiza mezclando ácido sulfúrico y sulfato de potasio este último se usa para aumentar el punto de ebullición, luego de esto se destila el amoniaco para neutralizar en ácido usando sulfato e hidróxido de sodio, el amoniaco se libera como vapor al ebulir la muestra, después de este proceso se usa un equipo de buchí por 3 min. (Trujillo, s.f)

$$mg \frac{N}{L} = \frac{(mL (A - B) * 14000 * F)}{mL \text{ muestra}}$$

Ecuación 1. Cálculo de normalidad de ácido (N)

“Donde A es el volumen de ácido sulfúrico gastado en la titulación de cada muestra, B es el volumen de ácido sulfúrico gastado en la titulación del blanco, N es la normalidad del ácido y F es un factor de dilución (StandardMethods, 2005). El procedimiento realizado está avalado por Standard Methods como 4500 – Norg-C y 4500- NH₃C” (Trujillo, s.f, pág. 27).

Coliformes totales. La muestra se esteriliza a 121°C por 15 min, luego se incuba el caldo a 32° por 48 horas, después de terminado este proceso se siembra la muestra en 15 tubos de ensayo en cada proceso, para los resultados si se origina gas en las primeras 48 horas quiere indicar que la muestra positiva de coliformes totales (Trujillo, s.f).

Medición de pH y humedad. “Para la medición de estos parámetros se adquirió un sensor BRISCO, por medio del cual se logró tener algunos datos que permitieron corroborar algunos resultados obtenidos con las otras sondas HACH. El uso de este sensor es bastante sencillo por medio de la penetración de los sensores en el suelo”. (Trujillo, s.f, pág. 28)

3.8 Clasificación de los techos verdes en Bogotá

De acuerdo con Nieto et al. (2011) de Bogotá esta tipología de drenaje se cataloga según:

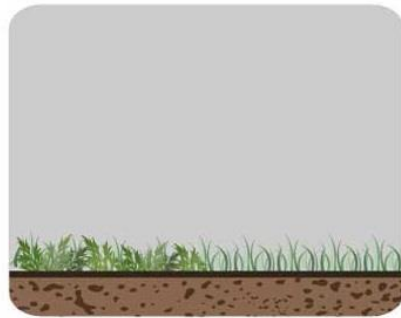
- La tecnología que se emplea
- La clasificación general: entre estos tenemos los primarios y los secundarios

En la clasificación primaria se cuentan con los techos verdes autorregulados, ajardinado, ecológico especializado y verde huerta. Para la clasificación secundaria se cuenta de tipo liviano, moderado y robusto.

3.8.1 Tipos de cubiertas verdes tradicionales

Cubiertas extensivas. Este método es el más ligero y el más económico, este también cumple de igual forma su funcionamiento social, económica y ecológica. Por su cubierta ligera

se generan menos costos en mantenimiento, este tipo es más usado en sitios que tengan dificultad en acceso y de pendientes muy grandes (Buitrago, 2019).



Extensivo
Espesor: 10 - 20 cm.
Peso: 70 - 160 kg/m².
Vegetación: Sedums, Musgos,
Gramíneas y Herbáceas.
Mantenimiento: Bajo

Figura 5. Características de cubiertas extensiva.

Fuente:(Perú S.A.C., 2012).

Los techos extensivos demandan de un “sistema ligero, el sustrato tiene poco espesor y por lo tanto hay una mínima concentración de nutrientes. Por ello se solicita de tipos de especies resistente y de bajo mantenimiento en riego, fertilizantes”. (Buitrago, 2019, pág. 32). por ello se recomienda el uso de especies como lo son las plantas vivaces, algunas gramíneas y algunas sedum. Estas especies tienen la característica es que son de crecimientos rápidos y denso, de la **Figura 5** se puede observar las condiciones de este tipo.

Cubiertas intensivas. Para este sistema requiere medidas más complejas por que en su instalación se tiene grandes capas de vegetación haciendo uso de especies muy diversas como ejemplo tenemos jardines o parques que son usados como espacios de esparcimiento, por estos requiere de elementos de mayor envergadura como lo es un mayor espesor en la capa del sustrato para retener el agua necesaria y mantenimientos que requiera el sistema por ellos se tiene cargas estructurales significativas, estas son más aplicada en espacios públicos ya que ayudan a las estructuras en la reducción del consumo de energías, en la **Figura 6** se puede observar las características requeridas (Buitrago, 2019).



Intensivo

Espesor: 40 - 100 cm.

Peso: Superior a 400 kg/m².

Vegetación: Gramíneas,
Herbáceas, Arbustos y Árboles

Mantenimiento: Alto

Figura 6. Características de cubiertas intensiva. Fuente: (Buitrago, 2019)

“Cubiertas semi- intensivas. Combinan los sistemas de cubiertas intensivas y extensivas. Estas tienen una profundidad y espesor medio y pocas necesidades de mantenimiento. Su uso se da especialmente en techados que son delgados y con un acceso parcial con propósitos paisajísticos. Las cubiertas semi intensivas admiten mayor biodiversidad que las cubiertas extensivas como plantas herbáceas, matorrales pequeños y/o césped”. (Buitrago, 2019, pág. 35), la **Figura 7** muestra los requerimientos de este tipo.



Semi Intensivo

Espesor: 15 - 35 cm.

Peso: 120 - 250 kg/m².

Vegetación: Gramíneas,
Herbáceas, Arbustos

Mantenimiento: Bajo

Figura 7. Características de cubiertas semi intensiva. Fuente: (Buitrago, 2019)

3.8.2 Tipos de sistemas de techos verdes según a la tecnología empleada

Sistema tipo multicapa monolíticos. Este tipo es reconocido a nivel mundial ya que radica en descansar sobre la cubierta impermeabilizada directamente diversas capas de

continuidad horizontal sobre un techo impermeabilizado que actúan como una sola unidad, este sistema se puede observar en la **Figura 8** (Helecho, 2018).

Sistema de multicapa elevados. Para este se aplican pedestales sobre la capa impermeabilizante, elevándolo y apoyando las demás sobre está creando un espacio intermedio continuo en medio de estas, ubicando luego sobre estos las capas como el sistema drenante, el geotextil, el sustrato y la vegetación como se observa en la **Figura 8** (Nieto et al., 2011).

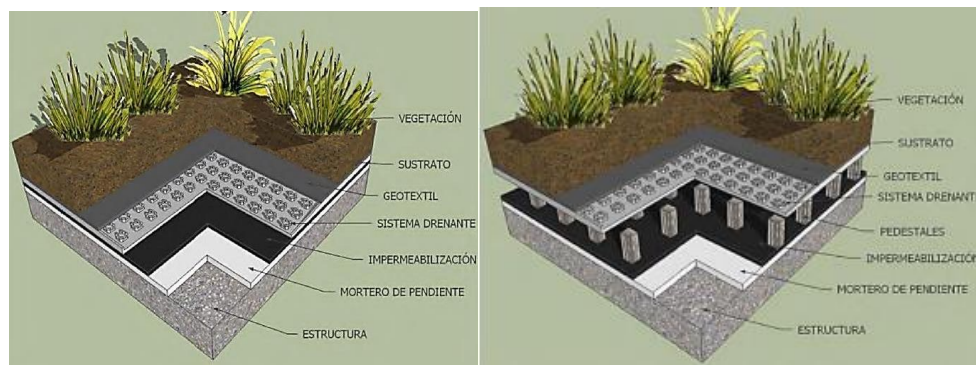


Figura 8. Techos verdes de sistema multicapa monolítico y de multicapa elevada. Fuente: (BEJARANO, 2016)

Sistema tipo receptáculo. Este tipo de cubierta cuenta con las mismas capas que los demás sistemas, al cual se le implementan cajones individuales en los cuales se aloja el sustrato y la vegetación, estos elementos se implementan y funcionan como un sistema de techo verde puede ser bandejas, materas o sacos, tal y como se observa en la **Figura 9** (Nieto et al., 2011).



Figura 9. Techos verdes de sistema tipo receptáculo. Fuente: (BEJARANO, 2016).

Sistema de tipo monocapa. Se compone de tapetes pre-sembrados que se incorporan en una sola capa todos los mecanismos y se fijan sobre la cubierta impermeabilizado, tal cual se observa en la **Figura 10** (Nieto et al, 2011).

Sistema aeropónico. Es un tipo que, a diferencia de la anteriormente mencionada, su medio de crecimiento es también el medio de nutrición y soporte, tiene una escasez de sustrato para su desarrollo; se solicita un mecanismo que soporte la vegetación, su nutrición es mediante riego directo en forma líquida o vapor en las raíces de las plantas, las capas que componen este sistema se observan en la **Figura 10** (Nieto et al, 2011).

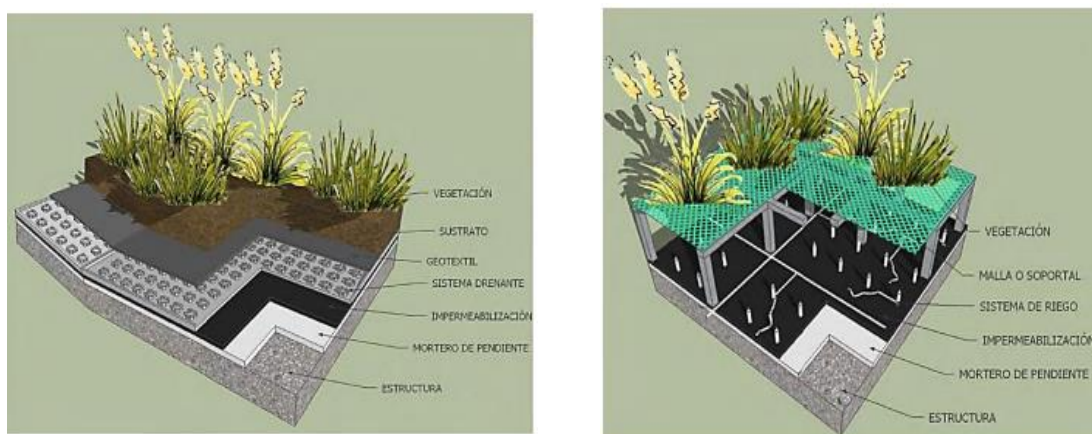


Figura 10. Techos verdes de sistema monocapa y de sistema aeropónico. Fuente: (BEJARANO, 2016)

3.8.3 Clasificación general de las cubiertas verdes en Bogotá

Clasificación general primaria.

Cubierta verde autorregulado. Consiste en el uso de técnicas y orgánica optima en el mantenimiento de la cubierta, su principal función es hacer uso de la mínima cantidad de recursos en material, inversión y peso, ya que este se implementa para ser poco transitable ya este no es su fin solo será para realizar limpieza y revisiones esporádicas, esta cobertura debe de ser liviana y económica, incorporando plantas o vegetación que se adecúe al ambiente del lugar, para que la cobertura se mantenga sin necesidad de agregar riegos diferentes al que suministran las lluvias sus principales rasgos es que son autosuficientes, autosostenibles y livianos Nieto et al (2011). El espesor del sustrato se considerará entre 20 – 120 mm, este se tendrá en cuenta de acuerdo con las especies que se adecuen en la cubierta, la vegetación que se implemente debe de ser de baja necesidad de materia orgánica, con un crecimiento menor a 50 centímetros (Nieto et al, 2011).

Cubierta verde ajardinado. Este sistema tiene como función ser un espacio de para uso común de las personas con sitio de recreación o meditación puede ser de uso público o privado según las características de la edificación se pueden emplear arbustos o vegetación ornamental no se cuentan en este tipo con restricciones de tamaño, este sistema requiere de mayor espesor en el sustrato para su crecimiento adecuado, requiere así también de riegos en época de poca lluvia y cuidados específicos como la poda, inspección y limpieza. El espesor de medio orgánico estará entre los 120 – 1500mm esto depende de la vegetación a implementar, en este tipo de cubierta se puede implantar arbustos, pasturajes, árboles y otras especies que tengan características similares a estas. No se debe de tener ninguna restricción en su altura; pero si se

debe tener en cuenta que la cubierta de tipo ajardinado no exceda los valores diseñados de carga muerta que pueden ser soportados la estructura o edificación (Nieto et al., 2011).

Techos verdes ecológicos especializados. El objetivo principal de estos techos es reproducir y preservar un paisaje de biotopo muy técnico en la cubierta para integrarse con los componentes de la infraestructura ecológica básica y formar un medio para la especies y flora de ahí. La altura superior de la habitación es 200 cm, el peso máximo es 450 kg; todo esto en estado de saturación. Se requiere un acompañamiento especial posterior a la instalación, que consiste en manipulación accidental y seguimiento especial. La elección de un techo verde ecológico especial en un predio en Bogotá debe ser coordinada con el Jardín Botánico, la Secretaría Regional de Medio Ambiente o la Secretaría de Planificación (Nieto et al., 2011, pág. 16).

Techo huerta. Su función principal es la obtención de productos agrícolas para la implementación de los cultivos se deberá hacer una elección adecuada de las especias a plantar, para estas coberturas la estanqueidad y protección por el desgaste del suelo. Se requiere de la instalación de sistemas de protección para disminuir la exposición al viento, sol de la huerta, garantizando así sistemas de riego los cuales se pueden implementar mediante el reciclaje de las aguas lluvias en tanque luego de un tratamiento requerido para el riego de los cultivos en es pocas de poca lluvia para así mantener productividad en la siembra. Se pueden implementar estrategias de cultivo como lo son la hidroponía, sistemas de bandejas o siembra en contenedores o elementos que den facilidad para la manipulación y cuidado extra para la capa impermeabilizante. Para la implementación de este tipo de cubierta se debe de avalar por el jardín botánico de la ciudad (Nieto et al., 2011).

Clasificación general secundaria.

Techos livianos. Estos en según su clasificación primaria tiene sus requerimientos en cuanto peso saturado y altura de la vegetación (Nieto et al., 2011).

Techos de peso moderado. Cuenta con una robustez media para los cuales se cuenta con las siguientes especificaciones para cada tipo según (Nieto et al, 2011).

Techo robusto. Solo cuentan con peso mayores al de los moderados

En la **Tabla 5** se tiene de manera más resumida la clasificación secundaria de los:

Valores de carga muerta estado de saturación y altura máxima de acuerdo a la clasificación de cubiertas verdes			
Clasificación primaria	Clasificación secundaria		
	Liviano	Moderado	Robusto
Techo verde autorregulado	Altura de 20 centímetros y peso total de hasta 80 kg/m ²	Altura de 50 centímetros y peso total de mas 80 kg/m ² y menor a 120 kg/m ²	Altura de 50 centímetros y peso total de mas 120 kg/m ² y menor a 150 kg/m ²
Techo biótico ajardinado	Altura de 50 centímetros y peso total de hasta 150 kg/m ²	Altura de 200 centímetros y peso total de mas 150 kg/m ² y menor a 250 kg/m ²	No tiene limitacion en su peso total ni en su altura maxima
Techo bótico ecológico especial	Altura de 50 centímetros y peso total de hasta 200 kg/m ²	Altura de 150 centímetros y peso total de mas 200 kg/m ² y menor a 300 kg/m ²	Altura de 200 centímetros y peso total de mas 300 kg/m ² v menor a 450 kg/m ²
Techo huerta	Altura de 50 centímetros y peso total de hasta 150 kg/m ²	Altura de 100 centímetros y peso total de mas 150 kg/m ² y menor a 250 kg/m ²	Altura de 150 centímetros y peso total de mas 250 kg/m ² v menor a 350 kg/m ²

Tabla 5. Valores de carga muerta estado de saturación y altura máxima de acuerdo a la clasificación de cubiertas verdes. Fuente: (Nieto et al., 2011).

3.9 Mantenimiento de las cubiertas verdes

El mantenimiento se realiza con la intención de mantener las condiciones óptimas y funciones básicas que se implementaron al principio de la instalación, el encargado de la instalación se debe hacerse cargo del mantenimiento y también suministrar un manual de mantenimiento y operatividad (Buitrago, 2019).

A continuación, se definen los grados de mantenimiento según Buitrago (2019):

3.9.1 Mantenimiento de grado 1

Este es el mínimo mantenimiento el cual se estipula las dos actividades que se pueden implementar; inspección y limpieza de los desagüaderos, drenajes para la evacuación de la escorrentía del agua pluvial esta se realiza de manera esporádica cada vez que se vea necesaria; deshierbe esta actividad se realiza con el fin de eliminar toda la vegetación que no se desea en el techo verde esto se realiza primeramente en los primeros meses de la instalación, esta diligencia se ejecuta en todos los tipos de cubiertas verdes (Buitrago, 2019).

3.9.2 Mantenimiento de grado 2

En este proceso se realizan dos actividades de manera regular como lo son; poda y corta de la plantas y arbustos para que no exceda las cargas muertas permitidas de diseño, esto debido al crecimiento excesivo, corte de las ramas o plantas enfermas y seguimiento del reproducción del pastos o follajes; irrigación o riego esto se realiza de acuerdo a los requerimientos de humedad de la capa vegetal implementada, esto se debe realizar de manera moderada con el fin de evitar absorción en exceso y encharcamientos para evitar el desperfecto de los elementos de la cubierta, de la misma manera estos son aplicables a cualquier tipo de cubierta (Buitrago, 2019).

3.9.3 Mantenimiento de grado 3

Este proceso especial también contiene 2 tipos de actividades aplicadas; acondicionamiento esporádico esta se realiza cada vez que se requiera para mantener la vegetación más óptimas condiciones realizando actividades tales como la poda, el riego, corte y fertilización; monitoreo especial en este se realiza seguimiento constante para la mantener la vegetación esto aplicando fertilizantes y riego continuamente para tener el cuidado apropiado

con cada especie esto se realiza especialmente en los tipos ajardinado y de huertas que son los de mayor cuidado (Buitrago, 2019).

3.9.4 Mantenimiento de grado 4

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo en dos actividades preparación intacta de la vegetación a través de procedimientos habituales de poda, corte, riego y fertilización; fertilización para así fortificar y optimizar la nutrición del sustrato. Esté mantenimiento es más periódico según requerido por la capa vegetal con características y necesidades particulares (Buitrago, 2019).

También se considera significativo mantener garantía de la calidad de la capa vegetación y se deben llevar a cabo acciones como la replantación, reparación o reemplazo de los mecanismos o especies que se van estropeando con el tiempo (Buitrago, 2019).

3.10 Especies aptas para la implementación de techos verdes

En la **Tabla 6**, se encuentran las plantas recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado.

Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado



Nombre: Coralito o Kalanchoe

se aplica mas en cubierta autoregulada

Requerimientos: sustrato con arena o triturado de ladrillo con materia organica, sensible al el exceso de agua,es resitente al las plagas, es de poco mantenimiento.



Nombre: Helecho arboreo

se aplica mas en cubierta tipo ajardinada

Requerimientos: sustrato drenado con Ph neutro o acido, sencible a la falta de agua necesita riego en epoca de verano,el follaje joven es susceptible a babosas y caracoles, se debe proteger los follajes juvenes al frio y mantener la humedad necesaria para su crecimiento.



Nombre: Anturio o espatifilo

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato de arena con materia organica, es necesario en tiempo de siembra y verano un riego frecuente, es necesario la fertilizacion en tiempo de floracion y es propenso a varios tipos de plagas.



Nombre: Orquidea con flor de mazorca

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato con mucha materia organica y carbon, bien drenado,es necesariomantenaer un ambiente de gran humedad, es de poco mantenimiento solo requiere eliminacion de ramas secas.

Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado



Nombre: Orchidea pecosa

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato debe ser poroso y debe garantizar buena aireacion, es necesaria el riego en tiempo de verano de manera mas costante, es propensa al las plagas, necesita de un cuidado mas especial como la poda constante.



Nombre: Helecho pequeño

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato arenoso poroso rico en humus, es necesaria una abundante humedad, es resistente al las plagas, mantenimiento minimo como eliminacion de hojas secas y fertilizantes en epoca de crecimiento.



Nombre: Helecho peine

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato arenoso poroso rico en humus, es necesaria una abundante humedad, es resistente al las plagas, mantenimiento minimo como eliminacion de hojas secas y fertilizantes en epoca de crecimiento.



Nombre: Sedum

se aplica mas en cubierta autoregulada

Requerimientos: sustrato normal de jardin mezclada con arena lavada y tierra arcillosa, es de poca cantidad de agua, es resistente al las plagas, es de poco mantenimiento solo requiera fertilizante en epoca de crecimiento .



Nombre: Tubalgia

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato ricodrenado acido neutro o alcalino, es de riego regular de agua, es resistente al las plagas pero propenso a caracoles u babosas, es de poco mantenimiento requiere abono mineral



Nombre: Clivia

se aplica mas en cubierta ajadinada

Requerimientos: sustrato de tierra de bosque de buena calidad, es necesario una abundante cantidad de agua , es propensa a plagas como la cochinillaalgalnosa , hogos y roya, es de mantenimiento moderado.

Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado



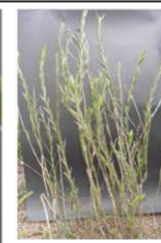
Nombre: Diefembaquia
se aplica mas en cubierta ajardinada
Requerimientos: sustrato con PH acido de una mezcla de turba, tierra y arena, necesita una cantidad abundante de humedad, es muy propensa a plagas, requiere mantenimiento como abono y fertilizantes.



Nombre: Orquidea estrella o Epidendrum
se aplica mas en cubierta ajardinada
Requerimientos: sustrato poroso y aireado, en tiempo de verano requiere riego, es propensa al las plagas, requiere de mantenimiento como poda y inspecciones regulares.



Nombre: Orquidea o masdevallia coriacea
se aplica mas en cubierta ajardinada
Requerimientos: sustrato de corteza fina y musgo, requiere de espacio ya que se expande a los lados, es necesario el riego moderado, es propensa al las plagas como pulgones y cochinilla, requiere fertilizantes.



Nombre: Epidendrum
se aplica mas en cubierta ajardinada
Requerimientos: sustrato poroso y aireado, es necesario el riego en epoca de verano, es propenso al las plagas, requiere mantenimiento como la poda.



Nombre: Bella a las once o clavel chino
se aplica mas en cubierta autoregulada
Requerimientos: sustrato cualquiera solo debe de ser drenado, requiere de poco riego, es resistente al las plagas, es de poco mantenimiento solo fertilizacion en epoca de floracion.



Nombre: Pescotia
se aplica mas en cubierta ajardinada
Requerimientos: sustrato de cultivacion drenado, necesita suelos humenos, es propenso al las plagas, es de mantenimiento regular como fertilizantes cuando se considere necesario.

Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado



Nombre: Gazania

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato ligero arenoso con buen contenido de fosforo, sensible al el exceso de agua,es propensa al las plagas comunes, es de poco mantenimiento solo se requiere la eliminacion de hojas secas.



Nombre: Helecho

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato con arenoso poroso y bien drenado rico en humus, es necesario mantener humedad abundante,es resitente al las plagas, es de mantenimiento moderado.



Nombre: Gomphichis

se aplica mas en cubierta ajardinado

Requerimientos: sustrato poroso y bien aireado, riego seguido en verano,es propenso a plagas, es de poco mantenimiento solo abono mineral de manera regular.



Nombre: Anturio

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato con tierra de jardin suelta con mezcla de arena, es necesaria la humedad relativa alta,es propenso al las plagas, es de poco mantenimiento como abonos.



Nombre: Cytochilum

se aplica mas en cubierta ajardinada

Requerimientos: sustrato poroso y bien aireado, es necesario el riego en epoca de verano,es propenso a plagas, es de poco mantenimiento es necesaria la poda.

Tabla 6. Listado de especies recomendadas para techos verdes de tipo autorregular y ajardinado. Fuente: (Nieto et al., 2011).

4. Factores e implementación de los techos verdes en Bogotá

4.1 Ventajas de los techos verdes como alternativa de sistemas de drenaje urbano sostenible (Bogotá)

De acuerdo con Pacheco, (2017) están son algunas de las ventajas de este sistema

- Incremento del ciclo de vida de la cubierta impermeabilizante esto sucede debido a que la vegetación cubre estas superficies logrando que dichas cubiertas no se vean expuestas a los cambios de temperatura y clima, los techos verdes pueden mantenerse por hasta 25 años con sus debidos mantenimientos logrando así que se reduzcan costos por reparaciones.
- Logran una reducción de ruidos esto debido a los componentes de la estructura de los techos verdes como la vegetación la profundidad y la composición del sustrato.
- Reducción del efecto isla de calor el cual trata del aumento de temperatura en la ciudad debido al efecto que ocasiona el cambio de las zonas verdes por lugares como asfaltos o zonas de industria, creando esto un aumento de temperatura ya que las zonas con vegetación normalmente no sobrepasan los 26°C.
- Se logra una mejor condición del aire disminuyendo la presencia de monóxido y dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y monóxido de azufre debido a la polución de lo anteriormente nombrado está asociada a enfermedades respiratorias afectando sobre todo a niños y adultos mayores, un metro cuadrado de esta vegetación remueve hasta dos kilogramos de dicho material particulado, también se generan oxígeno y reduce el material de polución en el aire.
- Se genera una mejora en el control de las aguas de escorrentía, debido a que en algunas temporadas se presentan lluvias intensas ocasionando así que las redes de alcantarillado

se satures y rebosen debido a las cantidades de escorrentía que se genera ya que esto se presenta debido a que en la ciudad hay menos áreas verdes y más de hormigón lo que disminuye el paso del agua en el suelo y también que algunas redes no se diseñaron para soportar el caudal que se ocasiona en un periodo de lluvia.

4.2 Limitantes de la implementación de techos verdes en la ciudad de Bogotá

Por otra parte, los principales obstáculos para el empleo de los techos verdes son los grandes costos, el nivel de dificultad al momento de instalarlos en techos inclinados, la carencia de equipo calificado en esta área, el poco conocimiento de los beneficios que este sistema tiene, la falta de incentivos, reconocimientos y normativas por parte del gobierno para la construcción y uso de estos techos (Ávila, 2012).

Para profundizar un poco más los limitantes Díaz Marín (2017), nos dice de acuerdo a las encuestas realizadas en la ciudad de Bogotá que no se tiene conocimiento de esta tipología y ni de las entidades delegadas de la instalación de estos, además que se presentan costos muy altos en los materiales, instalación y mantenimientos, por consiguiente no es posible emplear los techos verdes en todas las estructuras debido a que muchas no están diseñadas para sostener las cargas de estos; asimismo se presentan amenazas como profesionales no expertos en el tema y el poco apoyo de parte del gobierno en esta tipología, aunque existe la disposición por parte de la población de implementar estos techos, en consecuencia a los limitantes anteriores se hace muy difícil ya que prefieren continuar haciendo uso de métodos ya conocidos como el reciclaje y demás.

4.3 Implementación de los techos verdes en el distrito capital de Colombia

En efecto estas son algunas de las innovaciones en estructuras verdes que se encontraran en la ciudad esto según (Groncol, s.f.).

- Edificio 80-once ubicado en el barrio nogal con carrera 11 su construcción se dio por terminada en el año 2019 aplicando la tipología de techos o cubiertas verdes se compone de cuatro cubiertas verdes en distintos niveles diseñado con diferentes vegetaciones contando con áreas en pasto, jardines con vegetación vertical y vegetación arbustiva.
- Clínica santa fe ubicado en la carrera 7 fue construida en el año 2017 cuenta la plazoleta en el segundo piso con un piso flotante prefabricado que se entrelazan con vegetación de bajo mantenimiento, también tiene jardines colgantes de las habitaciones creando un ambiente excelente para la recuperación de los pacientes, también contribuyendo con la buena arquitectura por su diseño con vegetación.
- Los Cobos medical center se construyó en el 2018 en la avenida carrera 9 en Bogotá cuenta con la mayoría de sus cubiertas con vegetación compuesta con volúmenes de distintas alturas generando jardines y áreas con vegetación nativa, su diseño cuenta con formas orgánica que son alusivas a estructuras biológicas.

A continuación, otras estructuras con cubiertas verdes en Bogotá según Arquitectura mas verde (2021) son:

- Valsesia 129 ubicado en la cra 7 en Bogotá
- Ecotower cuenta con tres son el de la calle 93, en Usaquén contando con esta tipología de drenaje sostenible.
- Los edificios gold 1 y 2 y el gold 6,7 es un proyecto de ecosistemas de negocios en la transversal 2ª y la carrera 4 cuenta con un sistema de arboleo en las cubiertas.
- Conecta ubicado en la avenida calle 26 con cr 92 del grupo terranum edificado en el año 2016 cuenta con una arquitectura sostenible y espacios pensando en su calidad de vida, se logró también el ahorro del consumo de agua entre el 30% y 70% ya que se logró la

utilización de aguas retenida mediante las cubiertas verdes para el uso de equipos sanitario. (EQUIPAR , s.f.)

- Edificio Terpel se encuentra en la carrera séptima está en uno de los sectores más importantes de Bogotá, se cuenta con una cubierta exterior en el piso 12 de 533 m2 que hace uso de gramíneas como un sistema de drenaje, la cual mantiene la cantidad suficiente de agua luego va a un tanque de almacenamiento que provee al espejo de agua presente en la edificación y también nos sirve para el sistema de riego.
- Midtown, centro corporativo en la localidad de chapinero en la calle 92 con carrera 11 tiene un diseño y técnicas que se implementan con el fin de prevalecerse y perfeccionar los recursos como el agua, para el uso de las aguas pluviales contando de la azotea con especies de crasuláceas funcionando como un sistema de recopilación y filtración de las aguas que se conecta a un tanque de almacenamiento de donde se distribuye a aquellas zonas no requieren agua potable.
- Embajada de Ecuador se localiza en la carrera 13 con calle 89 cuenta con cubiertas verdes las cuales tienen como función recolectar las aguas lluvias en las cubiertas la cual va a un tanque de almacenamiento donde pasa por una planta de reciclaje y purificación para un sistema alternativo para el uso de los aparatos sanitarios.
- Bio-hotel orgánico suites estos diseños fueron pensando, teniendo en cuenta el valor de perdurar los recursos naturales, cuenta con jardines verticales y cubiertas verdes que sirven como aislamiento termoacústico, aportando a la disminución de la contaminación del aire a través de la captación de partículas de polvo, se emplearon algunas especies llamadas plantas aéreas.

- Edificio eco empresarial en el distrito puente largo de la localidad de suba cuenta con el 41% del área de las cubiertas en vegetación (ECONET, 2020).

A continuación, se observa en la **Figura 11** un mapa de Bogotá con la ubicación de algunas estructuras que cuentan con cubiertas y techos verdes en Bogotá extraídos del visor geográfico ambiental; tanto nombradas anteriormente, como algunas que no se encontró descripción necesaria para enunciarlas.

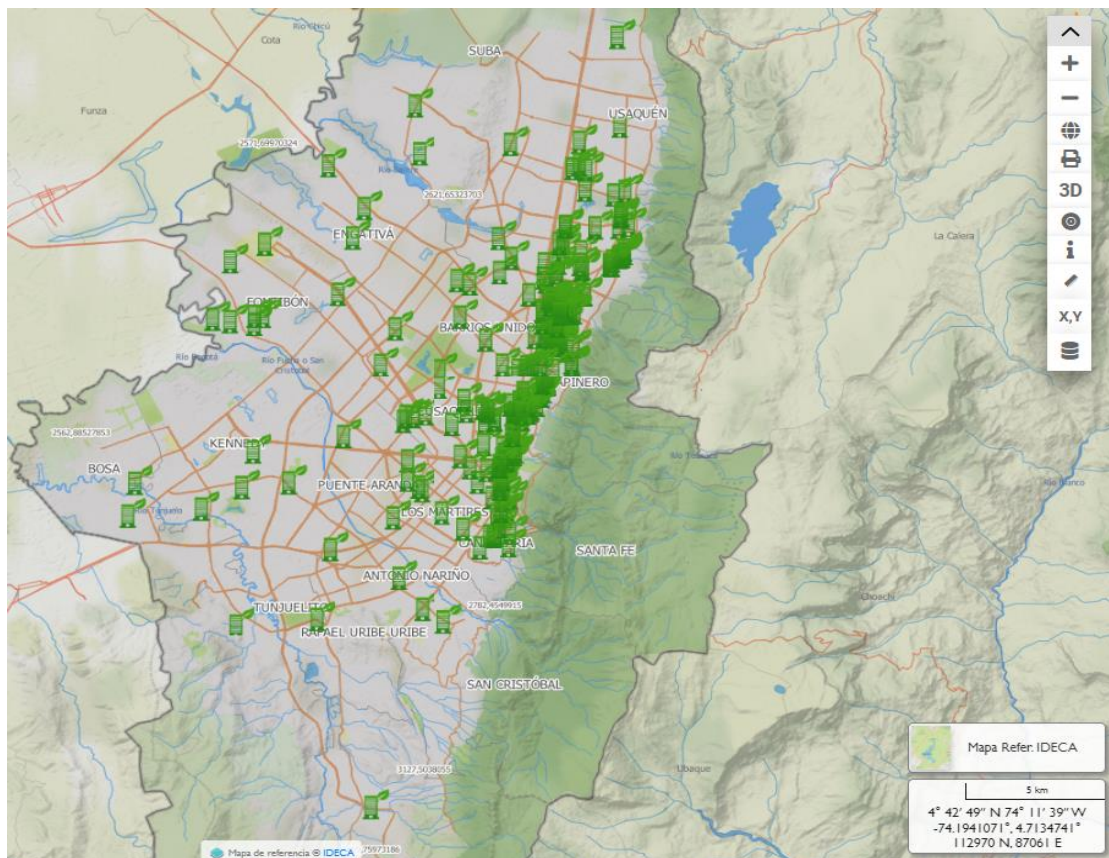


Figura 11. Ubicación de estructuras con cubiertas verdes en Bogotá. Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022).

5. Conclusiones

Acorde a la información que se plasmó en la presente monografía se puede concluir que de acuerdo con esta se dio a conocer las cubiertas verdes como una alternativa de drenaje urbano sostenible para la ciudad de Bogotá, exponiendo ahí las funciones, los tipos, la composición, los requerimientos para llevar a cabo la implementación de estos, las ventajas, las limitaciones y las aplicaciones de dichos sistemas que se han realizado en la ciudad.

Se logró establecer que los techos verdes como SUSDS son muy eficientes en cuanto duración, ya que pueden llegar a tener una durabilidad de hasta 25 años, asimismo son de ayuda fundamental en las zonas urbanas de la ciudad para mejoramiento de la calidad del aire, reducir el efecto isla de calor, disminuir el ruido y mejorar el control de las aguas pluviales obteniendo así una disminución de esta.

Y aunque este sistema presente diversas ventajas al implementarlo y sea necesario para contribuir con el medio ambiente y con los sistemas de drenaje urbano convencionales que se han visto afectados por el aumento de la urbanización y el cambio climático, no cuenta con la relevancia, ni los estudios e investigaciones suficientes para que le sea establecida la normativa adecuada para su aplicación a nivel nacional, asimismo se requiere de un personal altamente calificado en esta área y de una amplia capacidad de recursos debido a sus elevados costos; lo cual hace más difícil el uso de los techos verdes.

El tipo de cubierta que se implementa con mayor facilidad es la autorregulada ya que estos son autosuficientes y hacen uso de especies que requieren sustrato normales; siendo posible aplicarlos en estructuras con cubiertas de capacidad de carga estructural normal ya que los componentes de estos tipos son livianas en su clasificación secundaria lo máximo permitido de carga muerta para estas cubiertas es de 120 kg/m² esta carga muerta se debe tener en cuenta



previo a la instalación de este o de cualquiera de los otros tipos de techos ya que no se debe exceder la carga muerta diseñada estructuralmente para la cubierta, su mayor ventaja es que para su instalación no es necesaria una gran inversión y se usa una mínima cantidad de material.



6. Bibliografía

Centro de investigaciones en acueductos y alcantarillados-CIACUA. (30 de 11 de 2015). Drenaje urbano y cambio climático: hacia los sistemas de alcantarillado del futuro. *Seminario internacional Sistemas sostenibles de drenaje urbano, Stormwater* (págs. 4-7). Bogotá D.C: Universidad de los Andes.

Abellán, A. (2015). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Obtenido de SuD Sostenible: <http://sudsostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/>

Agua Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (2016). *Buen uso del sistema de alcantarillado*. Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/wcm/connect/EAB2/cce5c143-78f1-4763-90c0-158dd4b82f5a/cartilla_buen_uso.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_K862HG82NOTF70QEKDBLFL3000-cce5c143-78f1-4763-90c0-158dd4b82f5a-mJDioZ9

Aguirre, & Garcia, N. B.-A. (2014). *Techos verdes y jardines verticales*. Bogota: creative commons colombia. Obtenido de https://issuu.com/ambientebogota/docs/guia_de_techos_verdes_y_jardines_ve

al, M. e. (Diciembre de 2011). *ISSUU*. Obtenido de https://issuu.com/ambientebogota/docs/sistema_urbanos_de_drenaje_sostenib

Ambiental, O. d. (2022). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Bogota: OGA. Obtenido de <https://colibri.veeduriadistrital.gov.co/sites/default/files/2022-03/Contextualizaci%C3%B3n%20SUDS%20Contrucci%C3%B3n%20Rincon%20pptx.pdf>

Ana Abellán. (s.f.). *SuD Sostenible*. Obtenido de <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cubiertas-vegetadas/>

- Arquitectura mas verde. (2021). *Arquitectura más Verde*. Bogota: KOI. Obtenido de <https://www.arquitecturamasverde.com/proyectos-cubiertas-vegetales.html>
- Ávila, D. C. (2012). *Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible. (Tesis pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- BEJARANO, O. C. (2016). *DISEÑO DE PROTOTIPO DE TECHO VERDE COMO SOLUCIÓN* A. Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13899/4/Dise%C3%B1o%20de%20prototipo%20de%20techo%20verde%20como%20solucion%20a%20problemas%20de%20inundacion%20caso%20de%20estudio%20Usaquen%20Colombia..pdf>
- Beltrán, D. (2022). Transformación hacia la sostenibilidad. *XXXVI Congreso Nacional de Ingeniería*, (págs. 49-50). Ibagué.
- Bonells, J. E. (12 de Mayo de 2021). *Construcción y mantenimiento de cubiertas verdes*. Obtenido de Jardines Sin Fronteras : <https://jardinessinfronteras.com/2021/05/12/construccion-y-mantenimiento-de-cubiertas-verdes/>
- Buitrago, O. I. (2019). *PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y CUIDADO DE LAS CUBIERTAS VERDES EN EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Bogota : Universidad gran Colombia .
- Butler, D., & Davies, J. W. (2004). *Urban drainage* (Segunda ed.). Londres: Spon Press.
- Camacho, T. L., & García, L. P. (2019). Evaluación experimental de la capacidad de retención de agua lluvia de coberturas vegetales mixtas, en un prototipo de techo verde, bajo la dinámica climática de la localidad de Engativá en Bogotá. *(Tesis pregrado)*. Universidad de la Salle, Bogotá D.C.

- Canal Capital. (8 de abril de 2021). *Capital sistema de comunicacion publica*. Obtenido de <https://conexioncapital.co/estas-son-las-zonas-en-bogota-que-cuentan-con-techos-verdes-y-jardines-verticales/>
- Cardozo, L. F. (2018). Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con mejor adaptación a las condiciones de la Universidad El Bosque y su relación a la prevención de inundaciones en la cuenca del río el Salitre. (*Tesis de pregrado*). Universidad El Bosque, Bogotá.
- Carmona, R. P. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Consejo de Bogotá. (2009). *Acuerdo 418 del 2009*.
- Contreras, O. (2016). Diseño de prototipo de techo verde como solución a problemas de inundación caso de estudio: Chapinero Colombia. (*Tesis pregrado*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Cordoba, J. D. (2016). Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones. (*Monografía de tecnólogo*). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Cubides, E. D., & Santos, G. E. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42. doi:10.31908/19098367.3813
- Delgado, P. (14 de Abril de 2015). *Colombia, el tercer país más vulnerable al cambio climático*. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/archivo/colombia-el-tercer-pais-mas-vulnerable-al-cambio-climatico-2243441>

Díaz Marín, K. A. (2017). Implementación de techos verdes en el Centro Comercial Palatino de Bogotá. *Universidad Militar Nueva Granada*.

ECONET. (16 de Septiembre de 2020). *Econet*. Obtenido de <https://econetdesatascos.com/cuando-se-construyeron-las-primeras-alcantarillas-de-la-historia/>

EQUIPAR . (s.f.). *EQUIPAR CONECTA NEGOCIOS* . Obtenido de <https://www.revistaequipar.com/colombia/contenido-editorial/connecta-grupo-terranum>

Equipo de Construyored. (27 de noviembre de 2016). *Construyored*. Obtenido de <https://construyored.com/noticias/1104-que-es-un-techo-verde-y-cual-es-su-funcion-con-el-medio-ambiente>

Fernández, A. F. (2020). Estudio de implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible en el parque fluivial de viesques, Gijón . (*Tesis de maestría*). Universidad de Oviedo, Gijón.

Formaggio, L. F. (03 de 05 de 2021). *¿Qué es el ciclo hidrológico?* Obtenido de Revista ciencias de la tierra: <https://revistacienciasdelatierra.com/geociencias/el-ciclo-hidrologico/9149/>

Franco Mesa, X. M., & Hincapié López, D. E. (2015). Evaluación del balance hídrico de un jardín de lluvia a escala piloto en el campus piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias.

García, K. F. (2015). Diseño de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano. (*Tesis de pregrado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.

GreenBlue URBAN. (14 de Junio de 2021). *La historia del drenaje urbano y la necesidad de cambio*. Obtenido de GreenBlue URBAN: <https://greenblue.com/es/la-historia-del-drenaje-urbano-y-la-necesidad-de-cambio/>

- Groncol. (s.f.). *Groncol-infraestructura verde*. Obtenido de <https://groncol.com/80-once/>
- Hack, J. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza para la restauración de ríos en áreas metropolitanas: El proyecto Visión Urbana del Agua en la cuenca Quebrada Seca-Río Burío, Costa Rica. *Ambientico: revista mensual sobre la actualidad ambiental*(280), 42-49.
- Helecho. (6 de Junio de 2018). *Helecho*. Obtenido de <https://helecho.co/boletin-tecnico-tecnologias-de-techos-verdes-y-clasificacion-recive/>
- IPCC. (2022). *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexto-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Jaramillo, C. D. (2015). Valoración Económica de Techos Verdes en Bogotá.
- Juan Nicolas Rincon. (2021). *secretaria de ambiente Bogota Construcion Sostenible*. Obtenido de crecimiento verde estrategia digital: <https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/2913440/publicacion+crecimiento+verde+-+2022.pdf/d2df4d5f-eb25-4cf5-ab85-57925e9c37bc>
- Lavandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2012). Energías renovables y cambio climático. *Cuadernos económicos de ICE*(83), 37-60.
- Lochner, A., Sorolla, A., Mota, B., Rueda, I., & Sorolla, G. (2019). *Soluciones basadas en la Naturaleza (NBS) como una nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica*.
- López, M. I., & Melgarejo, J. M. (2020). Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes. (U. d'Alacant, Ed.) 1329.

Maderey Rascón, L. E., & Jiménez Román, A. (2005). *Principios de hidrogeografía, estudio del ciclo hidrológico*. México.

Martinez, A., & Molina, M. (2020). *SISTEMAS mURBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE*.

Bogota. Obtenido de

<https://www.idiger.gov.co/documents/20182/855477/SUDS++2020.pdf/3f4ead30-f06c-4850-a48a-69abc5dd397b>

Molina et al. (Diciembre de 2011). *ISSUU*. Obtenido de

https://issuu.com/ambientebogota/docs/sistema_urbanos_de_drenaje_sostenib

Molina, M. p., Gutierrez, L., & Salazar, J. (Diciembre de 2011). *ISSUU*. Obtenido de

https://issuu.com/ambientebogota/docs/sistema_urbanos_de_drenaje_sostenib

Momparler, S. P., & Domenech, I. A. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua lluvia. *Revista técnica de medio ambiente*, 21(124), 92-104.

Nieto- Castañeda et al. (2011). *Guia de techos verdes en Bogota*. Bogota. Obtenido de

<https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/Guia-de-techos-verdes-Bogota.pdf>

Nieto et al. (2011). *Guia de techos verdes en Bogota*. Bogota. Obtenido de

<https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/Guia-de-techos-verdes-Bogota.pdf>

ONU/EIRD. (09 de 2008). *El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres*. Nota Informativa N°1, Ginebra. Obtenido de

https://www.unisdr.org/files/32189_rrdcambioclimatico.pdf

OROMAPAS. (2021). *Ciclo hidrológico*. Obtenido de Organismo operador municipal de agua potable alcantarillado y saneamiento: <https://www.oromapas.gob.mx/cultura-del-agua/ciclo-hidrologico/#>

- Pacheco Rivas, I. (19 de enero de 2017). *abouthaus*. Obtenido de <https://about-haus.com/beneficios-construir-un-techo-verde/>
- Rivas, I. P. (19 de Enero de 2017). *Abouthaus*. Obtenido de <https://about-haus.com/beneficios-construir-un-techo-verde/>
- Roldán, A. J. (2015). Sistemas urbanos de drenajes sostenibles. Una alternativa de futuro. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Ruiz, G. I. (2021). Sistemas de drenaje urbano sostenibles. (*Tesis de maestria*). Universidad de Alcalá.
- Secretaria distrital de ambiente. (Noviembre de 2011). *Opamss.org*. Obtenido de <https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/Guia-de-techos-verdes-Bogota.pdf>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (Octubre de 2022). *Visor Geográfico Ambiental*. Obtenido de IDECA: <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.136887&lat=4.640126&z=12&l=5:1|95:1>
- Soriano, L., del Moral, L., Lara, Á., Martínez, J., & Sánchez, L. (2017). Los sistemas de drenaje urbano sostenible: Desarrollo actual y tendencias de futuro. (*Proyecto de investigación*). Fundación nueva cultura del agua, Zaragoza.
- Soto, J. P. (22 de Octubre de 2007). Servicios ambientales, agua y economía. *Revista de Ingeniería*, 8. Obtenido de <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/epdf/10.16924/revinge.26.11>
- Tarazona Tobo, L., Bonilla Granados, C. A., & Rojas Suárez, J. P. (2021). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias. *Mundo FESC*, 11(21), 140-155. Obtenido de <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/1124>

Torres, A., Galarza, S., & Molina, L. F. (2019). Bogotá, una ciudad sensible al agua: elementos de reflexión. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(23).

doi:<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.bcsa>

Trujillo, F. T. (s.f). *DESARROLLO DE SUSTRATOS EFICIENTES PARA CUBIERTAS VERDES EN EL ÁREA DE BOGOTÁ*. Investigacion , Bogota.

Valbuena Lesmes, S., & Tibasosa Bolívar, A. P. (2016). Estudio de prefactibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la Castellana de Bogotá. (*Tesis pregrado*). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Valero, M. L. (2021). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en América Latina: ¿Una solución basada en la naturaleza con criterio social? (*Tesis de maestría*). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Villegas-Contreras. (Noviembre de 2016). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329758504_Disenio_de_prototipo_de_techo_verde_como_solucion_a_problemas_de_inundacion_caso_de_estudioChapinero_Colombia

Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcántara, T., & Gonzales , P. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático: prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*.