

Soluciones basadas en la naturaleza para reducir inundaciones en el sistema de drenaje urbano

Autor

JUAN PABLO VAQUIRO SUAREZ

Director

ING. DIEGO SÁNCHEZ TAPIERO

Ingeniero civil

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA- NORTE DE SANTANDER

AGOSTO -2023

Contenido

Resumen.....	4
Introducción	6
Capítulo 1. Generalidades De Las Soluciones Basadas En La Naturaleza En El Uso De Los Sistemas De Drenajes Urbanos	8
1.1 Áreas De Biorretencion.....	13
1.2 Cunetas Verdes	14
1.3 Franjas Filtrantes	16
1.4 Humedales Artificiales	17
1.5 Techos Verdes.....	19
Capítulo 2 Las Inundaciones.....	24
2.1 Tipos De Inundaciones	25
2.1.1 Inundaciones Repentinass.....	25
2.1.2 Inundaciones Lentas	26
2.2 disminución de los riesgos de inundación.....	26
Capítulo 3 Implementación De Los Sistemas De Drenaje Urbano Basados En La Naturaleza Para Reducir Las Inundaciones.....	27
Capítulo 4. Soluciones Basadas En La Naturaleza En Colombia Para La Disminución De Inundaciones	38
Capítulo 5. Aspectos A Tener En Cuenta A La Hora De Implementar Los Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible	48
conclusiones.....	52
referencias bibliográficas	54

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Comparación de la infiltración del agua en un entorno natural y uno urbano	9
Ilustración 2: ejemplo de área de biorretencion	13
Ilustración 3: Alcorque inundable	14
Ilustración 4: Ejemplo de Cunetas verdes	15
Ilustración 5: Ejemplo de franjas filtrantes	16
Ilustración 6: Ejemplo de humedales artificiales	18
Ilustración 7: Ejemplo techos verdes.....	19
Ilustración 8: Sistema para la fabricación de techos verdes	21
Ilustración 9: Barrio Bon Pastor, Barcelona- España.....	32
Ilustración 10: Nueva sede BBVA-Madrid	33
Ilustración 11: Proyecto indnatur	34
Ilustración 12: parque Centenario de la Universidad de Chulalongkorn	35
Ilustración 13: Distribución parque universidad de chulalongkorn	36
Ilustración 14: Mediana de la Cl. 127 con Autopista Norte	40
Ilustración 15 Levantamiento fotográfico de la zona.....	41
Ilustración 16: Parque metropolitano Simón Bolívar.....	42
Ilustración 17: Parque Timiza Kennedy	43
Ilustración 18: Inundación calles de Cajicá.....	45

Resumen

Los sistemas de drenaje urbano basados en la naturaleza son una forma innovadora y sostenible de enfrentar el dilema de las inundaciones en áreas metropolitanas. Estas tecnologías se fundamentan en la noción de imitar las fases naturales del ciclo del agua para concebir que el líquido pluvial se adentre en el terreno y se recoja en depósitos naturales, como ríos y lagos. En lugar de evacuar rápidamente el agua de lluvia de las zonas urbanas a través de tuberías y alcantarillas, estos sistemas permiten que el líquido se filtre lentamente a través del suelo y se recoja en depósitos naturales, lo que reduce el riesgo de inundaciones. Además de reducir el riesgo de inundaciones, estos sistemas ofrecen otros beneficios importantes. Uno de ellos es el aumento de la calidad del agua, al permitir que el líquido se filtre lentamente en el terreno, se reduce el número de contaminantes que terminan en los ríos y lagos. Esto significa que el agua es más limpia y saludable para los ecosistemas acuáticos y para las personas.

Otro beneficio importante es el aumento de la biodiversidad. Al crear espacios verdes en las zonas urbanas, estos sistemas proporcionan hábitats para una variedad de especies animales y vegetales. Esto ayuda a aumentar la biodiversidad en las áreas citadinas y a crear un entorno más saludable y equilibrado. Además, estos sistemas también pueden ayudar a disminuir la contaminación del aire. Al reducir la cantidad de líquido que se evacúa rápidamente de las áreas urbanas, se reduce la cantidad de partículas y contaminantes que se liberan al aire. Esto puede ayudar a aumentar la sanidad atmosférica en entornos urbanos y a reducir los riesgos para la salud derivados con la contaminación del aire.

Por último, los sistemas de drenaje urbano basados en la naturaleza son más sostenibles y económicos que los sistemas convencionales de drenaje urbano. Al utilizar procesos naturales para manejar el agua de lluvia, estos sistemas requieren menos mantenimiento y tienen costos de

SUDS basados en la naturaleza

operación más bajos que los sistemas convencionales. Además, al crear espacios verdes en las zonas urbanas, estos sistemas pueden proporcionar beneficios adicionales, como la Reducción de la huella ecológica.

Introducción

La urbanización y el aumento de las ciudades alrededor del mundo han llevado a la impermeabilización del suelo y la reducción de las áreas verdes que ayudan a infiltrar el agua proveniente de las precipitaciones tal y como nos lo describe García Jiménez en su informe acerca de los Sistemas de drenaje urbano sostenible aplicados a áreas industriales. Esto ha dado lugar a inundaciones y escorrentías excesivas durante la temporada de lluvias, lo que genera problemas en los métodos de drenaje de las ciudades. En muchos casos, estos sistemas no pueden manejar las enormes cantidades del líquido que se precipita, lo que lleva a crecientes y encharcamientos en las vías y espacios públicos; para abordar este problema, se han desarrollado métodos de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables apoyadas en la ecología como una estrategia de adaptación a las variaciones climáticas. Estas técnicas incluyen la realización de jardines y techos verdes, la utilización de pavimentos permeables, la creación de zonas verdes y humedales urbanos, entre otras. Estas técnicas permiten mitigar el impacto de acontecimientos climáticos extremos como crecientes y olas de calor en las ciudades, el uso de estos mecanismos de drenaje ciudadano sostenible basadas en la naturaleza es una estrategia importante para abordar los problemas ocasionados por el crecimiento urbano y el cambio climático. Estas técnicas no solo ayudan a prevenir inundaciones y otras dificultades derivadas del agua, sino que también mejoran la sanidad atmosférica y disminuyen el fenómeno de aumento de temperatura en zonas urbanas. (García Jiménez, 2021)

Este proyecto se busca dar a conocer sistemas innovadores y tecnologías sostenibles que pueden ayudar a contrarrestar los efectos de las variaciones ambientales en una ciudad. A través de la investigación y el análisis de proyectos realizados anteriormente en otras partes del mundo y del país, se mostrará la variedad de soluciones que existen para enfrentar estos desafíos. En él

SUDS basados en la naturaleza

se abarcará de manera muy amplia todo lo relacionado con sistemas de drenaje urbano sostenible basándonos en la naturaleza, explicando cada uno de los diferentes tipos de sistemas que hay con el fin de dar a conocer ciertos criterios para poder saber cuál es el sistema que más se adapta a cada tipo de ciudad, en cada una de las diferentes problemáticas que puedan presentarse en las diferentes poblaciones; adicional a esto se dará un recorrido con el fin de mostrar cómo se ha venido desarrollando este sistema a lo largo del mundo y como se viene desarrollando en nuestro país, cuáles son las técnicas y medidas para poder desarrollarlos y por último se centrará en los aspectos que se deben tener en cuenta, cuando se van a desarrollar dichos sistemas como medida para combatir las inundaciones, adicional a esto son unas medidas que permite luchar contra los fuertes cambios climáticos, cambios que se puede notar de forma muy fácil como se han venido presentando hoy en día y se han convertido en un problema que afecta el desarrollo de los habitantes allí presentes y debido a que estos sistemas son una iniciativa valiosa que busca solucionar problemas de inundaciones y se encargan de combatir las fuertes olas de calor además de crear zonas más agradables, mejorando la vida de los habitantes y dando a conocer estos sistemas de una manera muy simple y precisa.

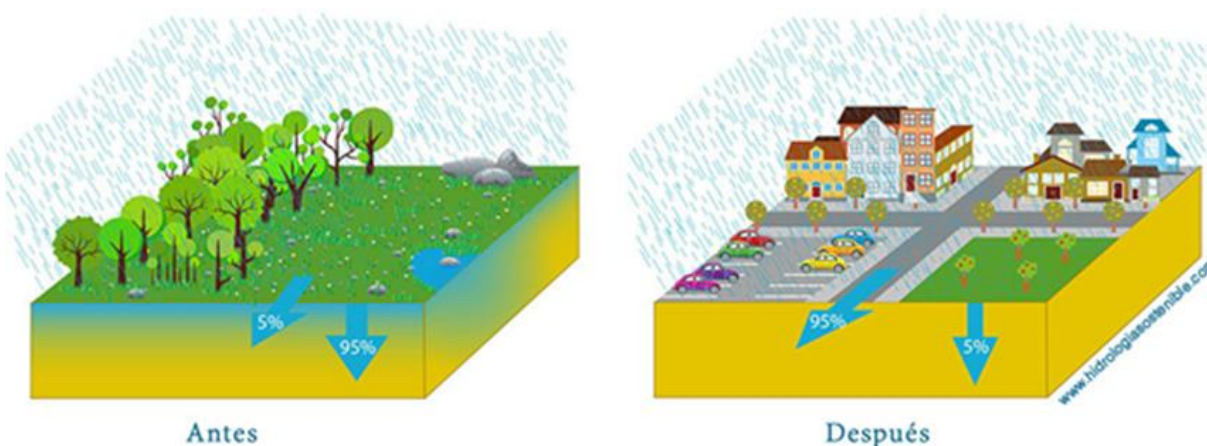
Capítulo 1. Generalidades De Las Soluciones Basadas En La Naturaleza En El Uso De Los Sistemas De Drenajes Urbanos

Mediante el ser humano se ha ido superando u evolucionando y con este incrementando las necesidades para subsistir, se ha visto un aumento en la urbanización de zonas que anteriormente eran de características natural, el desarrollo de dicha urbanización ha dado como resultado la perdida de permeabilidad de la zona, zonas que antes permitían la filtración de la gran parte del agua producida por las lluvias, la cual es un agua que en general no se encuentra contamina y se puede aprovechar, además estas eran zonas que se encargaban de controlar los caudales de escorrentía, evitando de esta manera su acumulación, pero con la urbanización de la zona, se pierde por completo las características hidrológicas del terreno, puesto que cuando se desarrolla la urbanización se tiende a impermeabilizar el terreno, y a partir de ese momento solo una pequeña parte de la lluvia pasa a filtrarse por el terreno, tal y como se puede apreciar en la ilustración número 1; donde se puede ver que la gran mayoría de esta se acumula y produce escorrentías, escorrentías que en ocasiones tienden a ser de gran magnitud y que llevan a originar inundación que ponen en riesgo a las comunidades y sus pertenencias; además como dichas zonas tienden en su mayoría a estar contaminada por el paso de vehículos personas o en varios casos por las industrias, etc.

Dicha contaminación va a parar en nuestras mismas cuencas que posteriormente usamos para el abastecimiento del preciado líquido en las comunidades y es tan alto el grado de contaminación que en algunas ocasiones durante las primeras lluvias tiene un nivel mayor de contaminación que las aguas residuales.

En fin, tenemos que este desarrollo posee un gran número de problemas en los que se encuentra el impedimento de la recarga de los acuíferos, además de una sobrecarga en las redes de drenaje que impiden la correcta depuración del agua por lo que terminamos vertiendo dicha agua sin depurar al medio ambiente, por lo que hay que realizar infraestructuras más grandes, más costosas y que a su vez afectan más al medio ambiente; todos estos problema se le atribuye al ciclo del agua que se da en las ciudades que se suma a el aumento de los volúmenes de aguas en la partes bajas de las ciudades y al poco uso de un recurso tan valioso como lo es el agua. (García Jiménez, 2021).

Ilustración 1: Comparación de la infiltración del agua en un entorno natural y uno urbano



Nota. Tomado de sistemas de drenaje urbano sostenibles, de Kelly Garcés, [en línea], universidad de los andes

Toda la sociedad sabe que una ciudad no puede satisfacer sus necesidades sin desarrollo, por eso es una ciudad pobre. La ciudad debe buscar un desarrollo sostenible que satisfaga sus necesidades sin ir a involucrar los recursos para las futuras generaciones. Una ciudad que se esfuerza por ser sostenible es una ciudad sostenible que es una ciudad que puede aportar a la mejoría de la calidad de vida de los habitantes urbanos revitalizando la vida de sus habitantes y

fomentando la conciencia ambiental. las personas integran el medio ambiente, la cultura, la sociedad.

Las ciudades construidas con concreto poseen muy poca permeabilidad y, por lo tanto, no son sostenibles. La urbanización también contribuye a la contaminación ambiental. Sin embargo, esto no significa que las ciudades deban ser impermeables. Si se adopta un enfoque de desarrollo urbano diferente al actual, que tenga en cuenta el ciclo del agua y permita la restauración de las condiciones hidrogeológicas originales, se podría lograr un equilibrio hidrológico sostenible. Este es el desafío que plantean los SUDS. (Cordoba, 2016)

La mejor manera de combatir la contaminación es evitar que suceda y lo mismo sucede con la escorrentía, es por esto que surgieron los sistemas de drenaje urbano sostenible, también conocidos como SUDS; con el objetivo de que las características hidrológicas del terreno después de la construcción prevalezca y sea muy similar a la que tenía el terreno antes dicha construcción, aumentando la infiltración de dicha zona y prolongando los caudales de esta, puesto que es preferible que los caudales se mantengan por un largo tiempo pero que sean pequeños a que estos sean de corta duración pero con una magnitud mayor, adicional a esto se incluye una mejora en la calidad del agua tanto en la que se infiltra como en la de escorrentía.

Algunas otras definiciones dadas definen los SUDS como:

Los sistemas de control de aguas pluviales están concebidos para explotar al máximo las ocasiones y ventajas que se pueden adquirir de la administración del agua superficial. Hay cuatro grupos de beneficios que se pueden alcanzar con los sistemas de saneamiento ecológico: los volúmenes y la calidad del líquido, la comodidad y la diversidad biológica. (Bermúdez-Valero, 2021).

Los sistemas de control autónomos de aguas pluviales se instalan en áreas urbanizadas para manejar el agua de escorrentía. Estos sistemas filtran, infiltran o almacenan el agua para su reutilización. Se utilizan componentes que se integran en los montajes o como parte del diseño urbano para lograr este objetivo. (Amaya, 2020)

Se trata de un conjunto de soluciones que buscan retener las aguas de lluvia en su lugar de origen durante el mayor tiempo posible, sin causar inundaciones. El objetivo es disminuir los impactos de los crecimientos urbano en términos de volumen y pureza de escorrentía, esquivando así la necesidad de ampliación o dimensiones excesivas en el sistema. (Cordoba, 2016)

Se refiere a los componentes que constituyen parte del sistema de drenaje en áreas urbanas y que no solo reducen el caudal de las lluvias, sino que también disminuyen significativamente la magnitud de contaminantes que se encuentran en la escorrentía. Además de las técnicas convencionales que requieren infraestructuras, este sistema también incluye técnicas no estructurales como la educación ambiental y la limpieza de las calles para reducir la contaminación. (Abellán García, 2014).

El gran número de beneficios que los sistemas de drenaje urbano basados en la naturaleza ofrecen se puede deducir de la siguiente manera:

- La reducción del pico de la línea de agua se debe a factores climáticos y geográficos que afectan la forma de la línea. Estos factores pueden cambiar o disminuir el pico del gráfico.

- Disminución de la escorrentía: La disminución de la escorrentía se debe a una extensión más amplia de suelo permeable, lo que reduce tanto la escorrentía superficial como la subsuperficial. Esto se debe a que el terreno no está tan cargado
- Disminución de la polución en la escorrentía, en especial al inicio de la lluvia, gracias a que el agua fluye más rápidamente hacia un entorno biológico donde los niveles de suelo actúan como filtros drenantes, lo que genera un líquido más puro y con menos contaminación.
- Aprovechamiento del agua de lluvia, ya que el agua que no es absorbida por el terreno puede ser reutilizada para regar cultivos y otros usos domésticos que no requieren un tratamiento complejo, optimizando así su utilización.
- Ahorro en los costos de implementación del sistema de desagüe convencional: El diseño de los SUDS implica una mayor superficie permeable y el uso de materiales más amigables con el medio ambiente, lo que disminuye los costos de implementación del sistema de drenaje convencional. Los SUDS son una nueva forma de construcción y control del agua que se centra en cómo tratarla.
- Desconectar las superficies impermeables: Esto implica dirigir el agua que viene de la lluvia que se recolecta en las canaletas de las cubiertas hacia una técnica SUDS, como las áreas de biorretención, en lugar de conducirla al sistema municipal de alcantarillado. Esta técnica se utiliza para reducir la cantidad de superficies impermeables.
- Mejora ambiental: Cualquier esfuerzo por ahorrar agua y regar el terreno para fomentar la flora y fauna es beneficioso para el medio ambiente. La mejora continua de estos esfuerzos contribuye positivamente al planeta. (García Jiménez, 2021).

Tipos de soluciones que hay para los sistemas de drenajes urbanos basados en la naturaleza

1.1 Áreas De Biorretencion

Este sistema se suele usar para tratar las aguas más contaminadas, puede ser la zona con tráfico de vehículos, en calles o aparcamientos puesto que además de permitirnos infiltrar y almacenar el agua, nos permite filtrarla puesto que la interacción de las plantas con el suelo produce microorganismo, que son el verdadero agente natural encargados de depurar el agua, a este sistema también suele conocerse como jardín de lluvia, un ejemplo de este sistema se puede apreciar en la ilustración número 2 y tal como afirmó José Fernando en el 2022 es un “sistema existente que recolectan pequeñas zonas de drenaje y del que se puedan derivar beneficios para el control de la cantidad de escorrentía, el mejoramiento de la calidad y que brinden amenidad a los espacios urbanos”. (Osorio, 2022).

Ilustración 2: ejemplo de área de biorretencion

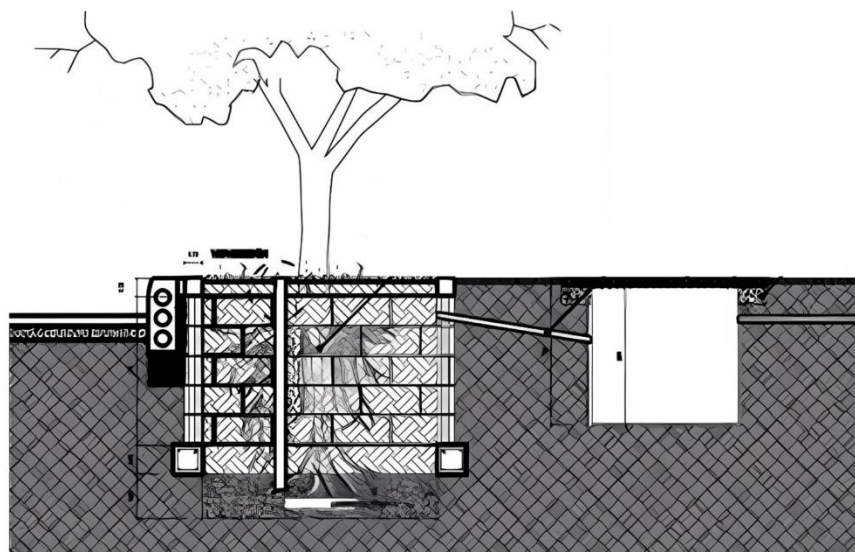


Nota. Tomado de áreas de biorretencion, de Ana Abellán, 2016, sudsostenible

En Colombia, la cartilla de andenes de Bogotá contempla el uso del alcorque inundable como una solución fácil y rápida para mejorar el estado ecológico y contribuir a la resiliencia climática. Esta técnica de biorretencion se construye alrededor de un árbol y se utiliza para capturar y mantener el agua de lluvia a través de una caja perimetral enterrada. El alcorque también incluye un tanque de recolección de agua pluvial y se utiliza como un método de soporte

para la captación del líquido lluvia en carreteras, el cual utiliza sumideros laterales convencionales y un ejemplo de este sistema se aprecia en la ilustración número 3 que se observa a continuación.

Ilustración 3: Alcorque inundable



Nota. Adaptado de lineamientos para el diseño de sistemas urbano de drenaje sostenible, (p.35), por min ambiente 2018

1.2 Cunetas Verdes

Son una versión permeable de las cunetas, conocidas normalmente, de estas existe un gran número y dependen de cómo se encuentren recubiertas, unos ejemplos de esto son: recubiertas por césped, grava, algunas de estas suelen tener una zanja al interior de infiltración con el objetivo de que no solamente conduzcan el agua, sino que también la vayan depurando, una referencia de este tipo de cunetas se puede ver en la siguiente imagen. La planificación de las áreas verdes en los bordes de la carretera debe adaptarse a velocidades que no excedan 1 metro por segundo. Por lo tanto, es importante considerar la pendiente al diseñar esta clase de sistemas sostenibles de drenaje urbano, y asegurarse de que la inclinación sea menor al 4%, como se puede observar en la siguiente ilustración (Cordoba, 2016)

Ilustración 4: Ejemplo de Cunetas verdes

Nota. Tomado de sistemas de drenaje urbano sostenibles, de Kelly Garcés, [en línea], universidad de los andes

Descritas por Carolina García en su proyecto de grado como:

Las cunetas son canales poco profundos que se utilizan para transportar la escorrentía. Estos canales pueden ser naturales o artificiales y tienen una pendiente lateral y longitudinal. Su objetivo es atrapar contaminantes, fomentar la absorción y disminuir la velocidad del caudal del agua de lluvia. Las cunetas están cubiertas de vegetación, por lo general césped, que actúa como filtro y reduce el flujo. Por lo general, tienen forma de triángulo o de trapecioide y se utilizan en terrenos con pendientes para asegurarla reducción de la velocidad de la escorrentía y su infiltración. (García, 2016)

Existen tres tipos de cunetas verdes

1. Las cunetas convencionales, que son canales forrados de pasto y se emplean para el transporte del agua de lluvia.
2. Las cunetas sin agua o secas, que tienen un filtro hecho con un material bastante impregnable que permite la infiltración del agua a través de la parte baja del canal, y se conocen así porque por lo general no contienen líquido.

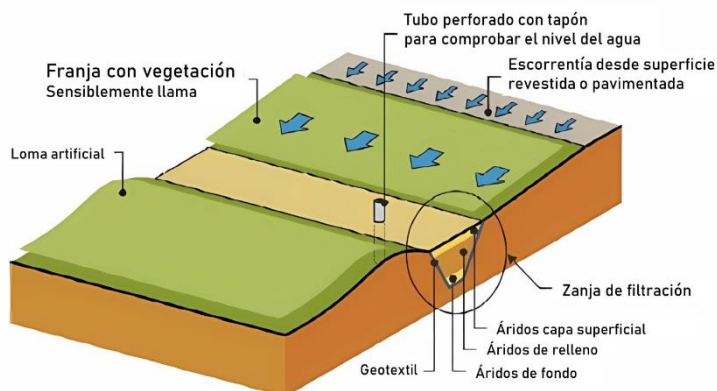
3. Las cunetas húmedas, que conservan agua permanentemente y se realizan en terrenos con alto nivel freático o suelos impermeables. (García, 2016).

1.3 Franjas Filtrantes

Las franjas de filtración son extensiones de terreno con cobertura vegetal y con una anchura considerable, cuya pendiente es baja. Se ubican entre superficies impermeables y cuerpos de agua o sistemas de gestión de aguas residuales. Estas franjas son utilizadas para ayudar a filtrar y depurar el agua, así como a reducir la cantidad de contaminantes que se arrastran con la escorrentía. Por lo tanto, las franjas de filtración son un método efectivo para el control de la potabilidad del preciado recurso.

El funcionamiento de estas franjas es relativamente sencillo: cuando el agua fluye por la superficie impermeable, se acumulan los contaminantes y sedimentos en la misma. Sin embargo, cuando el agua llega a las franjas de filtración, la vegetación ayuda a retener los contaminantes y sedimentos, permitiendo que el agua fluya más lentamente. De esta manera, La deposición de las partículas y sustancias contaminantes transportadas por el líquido se ve beneficiada, al igual que la penetración del agua en el suelo, tal como se observa en la ilustración número 5.

Ilustración 5: Ejemplo de franjas filtrantes



Nota. Tomado de carreteros, 2016, norma 5.2-ic "drenaje superficial"

Es fundamental que las franjas tengan pendientes suaves y una anchura lo más extensa posible. Cuanto mayor sea la amplitud y cobertura vegetal, se logrará una capacidad de filtración y un nivel de purificación superiores. La vegetación en estas franjas puede ser diversa, desde prados hasta pequeños bosques, siempre y cuando estén tomados de s al entorno local.

Estos métodos se utilizan en la parte superior de un sistema de evacuación o como receptores de las corrientes de cuencas reducidas. Asimismo, pueden emplearse como tratamiento previo para eliminar sólidos y sustancias infecciosas jalados por las aguas de escorrentía antes de ser transferidas a otros medios. También es posible tratar los fluidos de escorrentía que provienen de carreteras, aunque es necesario tener cuidado para evitar obstruir la vía con la banda filtrante.

1.4 Humedales Artificiales

Estas estructuras artificiales se diseñan para aumentar la calidad del agua, al igual que los estanques de retención, pero con una densidad vegetal superior a la que se encuentra en pantanos y humedales. El gran número de flora emergente aumenta significativamente los niveles de depuración biológica de agentes contaminantes al proporcionar una superficie mayor para que las bacterias y otros organismos que habitan en las plantas puedan descomponer los agentes infecciosos. Además de su gran eficacia en el seguimiento de la pureza del agua, estos elementos también son útiles para controlar el caudal de escorrentía.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos elementos artificiales necesitan un flujo base constante para poder conservar con vida la flora y la fauna y que se encuentra en el humedal, especialmente durante períodos de sequía. Por lo tanto, es importante asegurar un flujo constante adecuado para mantener estas estructuras funcionando correctamente.

Estos elementos no solo son altamente efectivos para mejorar la calidad del agua, sino que también tienen un gran capacidad ecológico, estético, educativo y recreativo como se puede observar en la

ilustración número 6. Al crear un ambiente natural y atractivo para la fauna y flora local, estos humedales artificiales pueden ser una fuente invaluable de educación y recreación para las comunidades locales. Los elementos más importantes del diseño incluyen áreas de drenaje de alrededor de 10 hectáreas, una pendiente longitudinal que no supere el 8%, una diferencia de altura de entrada y salida entre 90 y 150 centímetros, y la impermeabilización del terreno si hay alguna reserva de agua cercano. Para asegurar un rendimiento adecuado, cualquier humedal debe ser diseñado con cuatro áreas interdependientes de diferentes profundidades. Estas 4 áreas son descritas por Abellán García como:

- La zona de aguas profundas se ubica a una profundidad que oscila entre los 50 y 180 centímetros y alberga flora sumergida y flotante.
- La zona baja de vegetación emergente se encuentra a una profundidad que varía entre los 6 y 50 centímetros.
- La zona alta de vegetación emergente se extiende a partir de los 0.06 m hasta la altura normal del estanque, y requiere la inclusión de diversas especies vegetales en una extensión mayor que la zona baja.
- La zona inundable, la cual está por arriba del volumen permanente, se inunda en los capítulos de mayor intensidad de agua. (Abellán García, 2014)

Ilustración 6: Ejemplo de humedales artificiales



Nota. Tomado de Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales, de Juan José Salas, 2018, iagua

1.5 Techos Verdes

Estos son superficies vegetales en la cubierta de los edificios son una técnica de construcción sostenible que consiste en cubrir el techo de un edificio con una capa de vegetación y sustrato. Además de proporcionar un atractivo aspecto natural, los techos verdes tienen muchas ventajas ambientales y económicas, como la disminución del problema de isla de calor citadina, la absorción de las precipitación y la depuración atmosférica, aunque de la misma forma estos sistemas cuentan con varias limitación puesto que no pueden almacenar mucha agua en edificios no diseñados con este objetivo por el peso que esta produciría, además de que no pueden infiltrarla en el terreno natural pero a su favor , ocupa un espacio que suele desaprovecharse normalmente, además que como anteriormente se dijo sirve para reducir la sensación térmica de las viviendas, el cual es un gran problema hoy en día debido a las altas temperaturas que con cada año que pasa van en aumento, a este sistema se le puede añadir un sistema de drenaje que conduzca el agua a los bajantes del edificio.

Ilustración 7: Ejemplo techos verdes



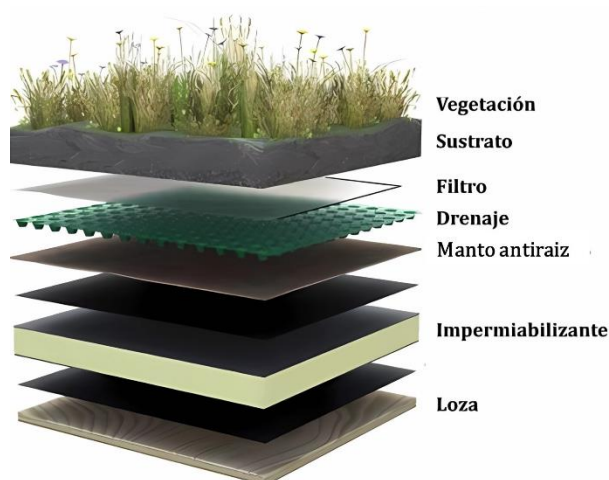
Nota. Tomado de Las mejores plantas para techos verdes, de Nikola Tomic, 2018, geoplastglobal

Y de estos existen varios tipos, tales como:

Intensivos: son jardines accesibles que posibilitan el desarrollo de una diversidad de plantas, incluyendo comestibles, arbustos y árboles. Sin embargo, requieren una capa de sustrato de más de 30 cm, lo que eleva significativamente la masa del sistema y los costos de montaje y sostenibilidad. Además, se recomienda instalar este tipo de sistemas en construcciones nuevas debido al cálculo estructural detallado necesario para soportar la masa del sistema, que oscila entre 250 y 400 kg/m², un ejemplo de este tipo se ve en la ilustración número 7 anteriormente presentada. (Zielinski, García Collante, & Vega Paternina, 2012)

Semi- intensivos: intermedios cuando se habla de grosor del sustrato, que oscila entre 12 y 30 cm. Aunque limitan la cantidad de diversidad vegetal que pueden ser cultivadas en comparación con los sistemas intensivos, ofrecen más opciones que los sistemas extensivos. Además, estos sistemas necesitan mantenimiento regular y su masa es de aproximadamente de entre 120 y 250 kg/m². (Zielinski, García Collante, & Vega Paternina, 2012)

Extensivos: son considerados de baja sostenibilidad y se construyen comúnmente en lugares de acceso difícil. Estos sistemas utilizan varios tipos de vegetales que requieren poco riego y tienen un grosor de sustrato de solo 5 a 15 cm, lo que les permite subsistir con agua de lluvia. La flora acostumbra a ser de pequeño tamaño y está compuesta por especies autóctonas o adaptadas a las condiciones ambientales, lo que implica un mantenimiento mínimo. La masa del sistema es de alrededor entre 60 y 140 kg/m², lo que los convierte en óptimos para su utilización en edificios ya construidos, ya que requieren refuerzos mínimos en la estructura para soportar el peso adicional. (Zielinski, García Collante, & Vega Paternina, 2012).

Ilustración 8: Sistema para la fabricación de techos verdes

Nota. Tomado de Techos Verdes, de Marco Busca, 2014, arquitectura y empresa

A la hora de realizar la instalación de techos verdes en cualquier construcción, esta deberá prepararse con una serie de capas las cuales se observan de manera ordenada en la ilustración anterior, estas capas se encargan de garantizar el bienestar de la cubierta de la estructura como el de las vegetaciones que se proceden a instalar; comenzando con un impermeabilizante el cual evita que el fluido se filtre en la losa y posteriormente en la casa comprometiendo el bienestar de esta, además afectando a las personas que habitan la construcción esta puede realizarse con un geomembrana, el cual garantice la impermeabilidad de la losa; la segunda capa es un manto anti raíz el cual se encarga de asegurar la sostenibilidad del sistema puesto que sin esta capa las raíces podrían romper la geomembrana y se podría comenzar a filtrar el agua entre la losa; la capa número tres se conoce como drenaje, en esta es la capa en donde se va a almacenar la gran parte del agua que se recolecte, además de evitar la saturación del sustrato; la siguiente capa se conoce como filtro y su importancia se debe a que esta es la capa que evita que el sustrato de las plantas llegue a la capa de drenaje y obstruya sus canales, posterior a esta se encuentra la capa del sustrato, este debe ser una mezcla de suelo orgánica y mineral, además debe ser de bajo peso, tener un buen drenaje y un alto índice de nutrientes para garantizar el bienestar de las plantas y

por último se tiene la capa vegetal, estas deben ser plantas nativas del lugar de alta resistencia a las altas temperaturas y de fácil adaptación, además debe ser de poco consumo de agua.

Las soluciones basadas en la naturaleza para los sistemas de drenaje urbano, como todo sistema cuentan con un tipo de ventajas u beneficios como de desventajas las cuales se describen a continuación:

Los beneficios se clasifican dependiendo el tipo y estos los podemos clasificar en 3, Beneficios sociales, ambientales y económicos y son:

- Beneficios sociales

- | | |
|--|---|
| ➤ Bienestar humano | ➤ Vida social |
| ➤ Sanidad pública | ➤ Embellecimiento del espacio publico |
| ➤ Áreas de esparcimiento y entretenimiento | ➤ Adaptación al cambio climático |
| ➤ Posibilidades educativas | ➤ Mayor accesibilidad a fuentes de agua |
| ➤ Progreso sostenible | |
| ➤ Cultivo urbano | |

- Beneficios ambientales

- | | |
|--|---|
| ➤ Mejora de la calidad del aire y del agua | ➤ Adherencia al ciclo hidrológico |
| ➤ Embellecimiento del paisaje | ➤ Reducción del escurrimiento superficial |
| ➤ Fomento de la biodiversidad | ➤ Reposición de los acuíferos subterráneos Reduce tratamiento de aguas residuales |
| ➤ Reducción de la contaminación acústica | |
| ➤ Prevención de inundaciones | |

- Beneficios económicos
 - Evaluación de la infraestructura y propiedades
 - Creación de empleos
 - Incremento de la competitividad urbana
 - Eficiencia energética

Desventajas

- Falta de datos hidrológicos: Especialmente la precipitación, ya que este dato es fundamental para dimensionar ciertos tipos de SUDS en función de la capacidad de retención requerida.
- Falta de mantenimiento: El mantenimiento es crucial para garantizar la vida útil de la infraestructura verde.
- Escala muy grande: Algunos tipos de SUDS requieren una escala muy grande para instalarse y comenzar a funcionar, lo que a veces puede ser difícil debido a las limitaciones de terreno.
- Nivel freático y pendiente: Algunos tipos de SUDS no actúan correctamente cuando el nivel freático está cerca de su ubicación o si se encuentran en una pendiente demasiado alta.

Como se pudo observar previamente los SUDS basados en la naturaleza son una alternativa cada vez más popular a los sistemas de drenaje convencionales, puesto que estos sistemas naturales se basan en la idea de que la naturaleza puede ayudar a gestionar el agua de una manera más efectiva; siendo una de sus principales ventajas la gran variedad de métodos que ofrecen para gestionar el agua de lluvia, lo que permite adaptarse a diferentes situaciones y necesidades. Por ejemplo, la infiltración en el suelo es un método efectivo para zonas

urbanas con suelos permeables, mientras que la retención en humedales es ideal para áreas con suelos más arcillosos o donde hay espacios verdes disponibles. La filtración a través de vegetación también es una opción popular, ya que ayuda a mejorar la calidad del agua y puede ser un complemento útil para otros métodos. Además, los sistemas de drenaje basados en la naturaleza suelen ser más sostenibles y económicos a largo plazo que los sistemas convencionales. Al no requerir tantos materiales y equipos costosos como tuberías y bombas, estos sistemas pueden ser más rentables en términos de construcción y mantenimiento.

Capítulo 2 Las Inundaciones

En un término un tanto coloquial las inundaciones son fenómenos naturales en los que se produce la acumulación de agua en áreas que normalmente están secas, este fenómeno puede ocurrir por diversos factores, como lluvias intensas, deshielo de nieve, desbordamiento de ríos, marejadas o incluso ruptura de presas. Las inundaciones pueden tener diferentes niveles de gravedad, desde pequeñas acumulaciones de agua hasta inundaciones catastróficas que causan daños significativos a las propiedades y ponen en peligro la vida de las personas. Además de los impactos físicos, las inundaciones también pueden tener consecuencias sociales y económicas importantes

Esto sucede principalmente cuando el suelo no cuenta con una cobertura vegetal adecuada (árboles, arbustos, hierba y cultivos bien ubicados). Como resultado, el agua se filtra menos y se forman corrientes rápidas que descienden por las pendientes, provocando desbordamientos de ríos y arroyos e inundando las áreas llanas circundantes.

Aunque este proceso no causa daño al medio ambiente, ya que ha ocurrido durante mucho tiempo, tiene grandes beneficios para la tierra. El agua transporta nutrientes (material orgánico) que, al ser depositadas en las zonas inundadas, las transforma en áreas altamente productivas y llenas de vida. Pero para los seres humanos las inundaciones representan un gran problema socioeconómico puesto que muchas personas y poblaciones especialmente vulnerables viven cerca de ríos turbulentos que usualmente suelen crecerse o en zonas que son parte de cuencas activas, que suelen verse ocupadas por los ríos de forma repentina o de forma lenta a mediados que se incrementan las lluvias

2.1 Tipos De Inundaciones

2.1.1 Inundaciones Repentinas

Como su nombre lo indica las inundaciones repentinas son las que suceden de manera muy rápida en un periodo muy corto de tiempo, ocasionalmente menores a dos horas estas son producto de fuertes aguaceros sobre las cuencas que poseen unos pendientes muy inclinados con lo que el agua descende de manera muy rápida y se concentra en los arroyos y quebradas que se encuentran debajo de dichas zonas montañosas ocasionando fuertes crecientes.

En algunos casos estas crecientes repentinas suelen ser producto del rompimiento de alguna presa o tanque que el mismo sistema hídrico ha creado producto de la acumulación de sedimentos, este problema se encuentra presente en todas las zonas montañosas del país y es mayor en zonas con un alto nivel de deforestación donde la capa de vegetación que protege la zona es muy mínima y donde no se desarrollan técnicas para el cultivo adecuadas,; zonas como el Tolima, Risaralda y Cundinamarca son ejemplo de este fenómeno.

2.1.2 Inundaciones Lentas

Este tipo de inundaciones ocurren cuando el agua proveniente de precipitaciones o del desbordamiento de un cauce fluvial gradualmente cubre áreas cercanas a su curso, inundando las llanuras y valles circundantes junto con las viviendas, edificaciones, terrenos agrícolas, entre otros. Esto ocurre principalmente durante la temporada de lluvias, cuando intensas lluvias caen de forma prolongada sobre áreas planas y extensas, y el agua puede ser absorbida por el suelo como una esponja, pero si las lluvias son demasiadas la esponja natural se saturará y comenzara a encharcarse, encharcamiento que posteriormente pasara a convertirse en inundación; también la actividad humana es un gran factor para producir este tipo de inundaciones puesto que el producto de actividades humanas causan erosión en el suelo, dichos sedimentos van siendo arrastrados por la corriente y posteriormente se acumulan en las zonas de menor altitud de los ríos, estas acumulaciones ocasionan una reducción en la capacidad del cauce y generan nuevas inundaciones y modificaciones en la dirección del curso. Algunas zonas del país tales como Córdoba o el bajo Cauca son más susceptibles a las inundaciones lentas (Sarmiento Prieto, 1990)

2.2 disminución de los riesgos de inundación

Tal como afirma el IDIGER (instituto Distrital de Gestión de Riesgos Y Cambio Climático) en Colombia cada ente territorial debe establecer un plan de medida que le permita estar preparado para responder a cualquier contingencia ocasionada por inundación, adicional a esto debe adoptar medidas para disminuir dicho riesgo, estas medidas van desde obras para la adecuación y evitar el desbordamiento de los ríos o la construcción de embalses para atenuar las crecientes en las partes altas de los ríos, adicional de programas de limpieza y de manteniendo en los cauces, la gran parte de estas medida generan grandes costos, es por esto que la idea con SUDS es

combatir esta problemática haciendo uso de recursos naturales que ofrece los ecosistema y que a su vez mejoran el entorno de las ciudades y la calidad de vida de sus ciudadanos.

De lo que podemos afirmar que es fundamental tomar medidas para prevenir y mitigar los efectos de las inundaciones, puesto que a pesar de ser un fenómeno natural que ocurre cuando hay una acumulación excesiva de agua en un área determinada, estas pueden tener consecuencias devastadoras, como la destrucción de viviendas, infraestructuras y cultivos, así como la pérdida de vidas humanas y animales. Además de los impactos físicos y materiales, las inundaciones también pueden generar problemas de salud pública, ya que el agua contaminada puede propagar enfermedades transmitidas por bacterias, es por esto que estas soluciones basadas en SUDS resultan muy contribuyentes a la problemática puesto que ayudan a prevenir las inundaciones al reducir la cantidad de agua que ingresa rápidamente al sistema de drenaje urbano. Además, fomentan la recarga del acuífero subterráneo y contribuyen a mejorar la calidad del agua al filtrar los contaminantes antes de que lleguen a los cuerpos de agua cercanos.

Capítulo 3 Implementación De Los Sistemas De Drenaje Urbano Basados En La Naturaleza Para Reducir Las Inundaciones

En el presente, métodos de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables se han transformado en la mejor alternativa para atenuar las crecientes en diversas urbes del planeta. Esto se debe a que su desarrolló no implica costos tan elevados como lo señalan Juan Muñoz y Zaida Acuña en su tesis universitaria, además, contribuyen con el embellecimiento de las zonas donde se lleva a cabo el proyecto. Una de las mayores fortalezas de estos sistemas es que sus diseños hidráulicos son ecológicos y no generan un impacto ambiental significativo. Asimismo,

permiten una disminución de los precios de operación y sostenibilidad, así como de su realización. Además, estos sistemas posibilitan el tratamiento del agua para un futuro uso humano, lo que representa una ventaja importante en áreas donde el agua potable es escasa. También permiten conservar un drenaje constante de los lugares donde se desarrolla dicho sistema, lo que ayuda a prevenir futuras inundaciones y preservar el ecosistema natural del área. (Muños Rodriguez & Acuña Ostios, 2015)

Los sistemas de drenaje urbano sostenible basados en la naturaleza son muy habituales en muchos países, incluyendo Alemania, Suecia, Malasia, Australia, Holanda, Estados Unidos, Reino Unido, Francia y Nueva Zelanda. Además, están ganando popularidad en China, donde se ha adoptado el concepto de "Ciudades Esponja".

“Ciudades como Nueva York, San Francisco, Filadelfia, Chicago y Washington DC cuentan con gran variedad de planes y programas, y una larga experiencia en el desarrollo de SUDS” (Momparker, 2018).

Inicialmente, estos sistemas se crearon para abordar la contaminación, pero no fue hasta 1970 cuando Estados Unidos reconoció y evidenció el problema de la contaminación. Lo que llevo a que en 1972 se aprobó la primera ley sobre control de vertidos contaminantes, el Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (NPDES en inglés). Posteriormente, en 1990, comenzó la etapa número 1 del plan de control de las aguas pluviales, que requería permisos de descarga pluvial para poblaciones con más de cien mil ciudadanos. En 1999 se completó este plan al extender esta medida obligacional a todas las comunidades. En este contexto, surgió la cultura de Mejores Prácticas de Gestión como una alternativa adicional para la gestión del fluido proveniente de lluvia. (Momparker, 2018)

Para crear un sistema de drenaje efectivo en una zona específica, se han establecido ciertos criterios que brindan un marco de referencia. Estos criterios tienen como objetivo proteger tanto el medio ambiente como la sociedad. Los principales criterios se basan en la normativa ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, 2004) y en los desarrollados por la organización británica de calidad en construcción CIRIA (2007).

Estas normas por lo general son dependientes del país en el que se encuentren pero por lo general comparten cierta similitud, adicional a esto cada país crea su propio reglamento por ejemplo en España existe la Normativa Técnica sobre Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), que establece los requisitos técnicos y medioambientales para la planeación y elaboración de estos sistemas, otro ejemplo es Colombia en donde existen varias normas y regulaciones que rigen la construcción de sistemas de drenaje urbano sostenible, incluyendo la Ley 99 de 1993 que trata sobre el medio ambiente y el desarrollo sostenible o la Resolución 631 de 2015 la cual especifica los requisitos para la planeación de estudios de afectación natural para grandes proyectos de gestión de aguas residuales, incluidos los proyectos de drenaje urbano sostenible o la Resolución 6311 de 2007 la cual resolución establece los requisitos técnicos para la última disposición de los fluidos residuales en Colombia, también la Norma Técnica Colombiana NTC 6001 la cual establece los requisitos técnicos para la planeación y edificación de sistemas de drenaje urbano sustentable en el país además de las regulaciones locales dependiendo del lugar donde se va a ejecutar el proyecto para por medio de estas garantizar que los métodos de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables sean construidos de manera segura y efectiva.

Tomando como referencia el artículo "Sistemas urbanos de drenaje sostenible: una opción para el manejo del agua de lluvia", se señala que el acelerado desarrollo de las urbes en Europa ha trastocado el ciclo natural del agua y ha provocado una amplia impermeabilización del terreno. Para solucionar este problema se han concebido los SUDS (sistemas urbanos de drenaje sostenible) que buscan replicar el ciclo hidrológico de manera más eficiente

En Europa, la prioridad en la supervisión de las crecientes ciudades ha sido el control de estas. No obstante, en la última década ha surgido una mayor conciencia sobre el problema de la contaminación. A partir de ese momento, se han empezado a adoptar criterios que combinan tanto el volumen como la calidad del líquido, con el objetivo de aumentar la armonización con el entorno natural y la mejora del bienestar social y ambiental de las intervenciones. En este sentido, el proyecto Porte des Alpes en Lyon (Francia) es un buen ejemplo de cómo se pueden implantar técnicas SUDS de manera integral en una actuación urbanística, combinando varios sistemas con el objetivo de dar solución a diversos desafíos como la ausencia de una salida natural de drenaje

En Europa se han identificado distintos tipos de SUDS, y entre las propuestas para espacios ya afianzados, sobresalen las de Nijmegen (Holanda). Estas intervenciones se centran en desvincular áreas impermeables, como techos y superficies pavimentadas, de la red de alcantarillado. En cambio, se emplean soluciones similares a los SUDS para el manejo de las escorrentías, tales como techos verdes, pavimentos porosos y depósitos para su posterior utilización en depósitos para sanitarios y riego de jardines, entre otros.

O como por ejemplo España en donde se han implementado 10 depósitos de agua en la ciudad de Barcelona con una posibilidad de almacenar de "400.000 m³" encontrándolo como una opción viable, para espacios multifamiliares y de enormes tamaños. Se pueden ver otras

situaciones similares a esto, como por ejemplo en Madrid, donde se llevó a cabo un plan para aumentar la calidad del líquido del río Manzanares. El proyecto incluyó la construcción de 28 depósitos con la misma capacidad que el que existe en Barcelona, lo que permitió poseer un hábitat acuático saludable y de alta calidad zonas abajo mediante el mejoramiento de los diseños de las zanjas filtrantes en toda la zona habitada, con el fin de optimizar su funcionamiento. Además, se busca crear depósitos de agua para mejorar el abastecimiento de agua y promover la adopción de tecnologías sostenibles en la planificación urbana. Se están difundiendo publicaciones que comparten experiencias exitosas en diversos países, como el Manual de Diseño: La Ciudad Sostenible. También se están estableciendo regulaciones locales que establecen requisitos básicos para aceras, bulevares, medianas, plazas y zonas verdes urbanas para fomentar la sostenibilidad en las ciudades.

Un ejemplo del uso de sistemas de drenaje urbano sostenibles basados en la naturaleza se puede encontrar en el barrio Torre Baró de Barcelona. Este barrio es una zona residencial recién construida en la parte montañosa de la ciudad, con fuertes pendientes y muchas zonas verdes. Debido a esto, la gestión de la escorrentía es complicada ya que converge en espacio inferior. En este caso, se emplearon las inclinaciones naturales de las vías para guiar el agua hacia dos áreas que incluyen árboles, utilizando pavimento permeable para capturar, filtrar y conducir el agua hacia depósitos modulares reticulares de polipropileno con gran capacidad de almacenamiento.

Estos depósitos están conectados por tuberías que ayudan la retención momentánea del líquido, generando una reducción de la crecida de los caudales a lo largo de la trayectoria. Además, el líquido de las cubiertas de los edificios circundantes se recolecta en arquetas conectadas a los depósitos descritos anteriormente. (Amaya, 2020)

Ilustración 9: Barrio Bon Pastor, Barcelona- España



Nota. Tomado de aplicaciones de los SUDS Barrio Bon Pastor, Barcelona- España de Ane Alarcia, 2021 drenaje sostenible

En los últimos tiempos, la ciudad de Barcelona ha estado realizando importantes intervenciones en varios de sus barrios para implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Dos ejemplos destacados son los barrios de Can Cortada y Bon Pastor, una pequeña parte de dicha intervención de este último se observa en la anterior ilustración número 9, puesto que allí se han creado comisiones específicas para la implementación de estos sistemas. Además, se han reunido prácticas locales y se está elaborando un compendio de mantenimiento que servirá como guía para futuras intervenciones. Un caso de aplicación de los SUDS se puede observar en la Avenida del Greco en Sevilla. La intención de este proyecto es el aumento ambiental de la zona a través de distintas iniciativas en el diseño ciudadano, que abarcan la instalación de SUDS. La inclusión de estos sistemas ha convertido a esta avenida en una de las áreas pioneras en Sevilla en cuanto al aprovechamiento eficiente del agua pluvial. El proyecto ha

sido llevado a cabo mediante un proceso colaborativo que ha implicado a diversos expertos y ha recibido más de treinta propuestas diferentes. Además, se han implementado varios sistemas, como áreas de recolección y retención, así como mejoras en la calidad del riego por medio de un método de almacenamiento. (Amaya, 2020).

En Madrid capital de España, se destaca la construcción del estacionamiento permeable en el nuevo estadio del Atlético como una de las obras más significativas. Sin embargo, también se han llevado a cabo otros proyectos notables, como los SUDS en la urbanización de la actual sede del BBVA en el año 2015, los cuales pueden ser apreciados por medio de la siguiente ilustración

Ilustración 10: Nueva sede BBVA-Madrid



Nota. Tomado de Oficinas de la sede BBVA Madrid, Herzog & de Meuron, por distritooficina,2023

Otro proyecto adicional sobresaliente es INDNATUR, el cual se observa en la ilustración número 11, que tiene como meta mejorar el entorno urbano de las zonas industriales mediante la aplicación de soluciones naturales. Este proyecto persigue el mejoramiento de las condiciones ambientales del área a través de intervenciones naturales que potencien la comodidad en los espacios urbanos, optimicen el funcionamiento del ciclo hídrico para lograr un mayor ahorro energético, aumenten la variedad biológica y la capacidad de reutilización de zonas duras como

el espacio industrial del Polígono Argalis en Valladolid, y eleven la clase estética del espacio.

(García Jiménez, 2021)

Ilustración 11: Proyecto indnatur



Nota. Tomado de Acciones indnatur, de Pedro Lasa, 2020, Indnatur

Se ha concebido una zona de tránsito verde-azul con flora y métodos de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables que favorezca un aumento en la absorción del líquido pluvial en el espacio del polígono Argales. El proyecto se enfoca en una de los principales carriles del polígono y contempla la plantación de nuevos árboles, la creación de áreas verdes, pavimentos permeables, un jardín de lluvia y un estanque para retener agua. Es fundamental que los propietarios del polígono se involucren en la iniciativa para alcanzar una mayor eficacia. La adopción de medidas como la siembra de nueva materia vegetal, muros naturales, cubiertas verdes, enredaderas que cubran paredes, zanjas verdes, árboles o suelos permeables en sus terrenos podría disminuir la aspereza del entorno industrial y mejorar la competitividad, la apariencia visual y la incorporación de los espacios productivos en el tejido urbano. (García Jiménez, 2021)

Una manera de conseguir nuestro objetivo y lograr el mayor aprovechamiento del agua es por medio de la combinación de estos sistemas con la idea que entre ellos se complementen, Un excelente ejemplo de esto se puede observar en el Parque Centenario de la Universidad de Chulalongkorn, presentado en la ilustración 12 y donde se han colocado tres depósitos subterráneos del tamaño de una piscina olímpica, ubicados a unos 15 metros de profundidad. Su propósito es almacenar el sobrante de agua generado por las copiosas lluvias durante la temporada de precipitaciones. Asimismo, sobre la superficie del parque se han establecido zonas húmedas y una elevación artificial para facilitar el flujo del agua hacia los depósitos subterráneos.

Ilustración 12: *parque Centenario de la Universidad de Chulalongkorn*



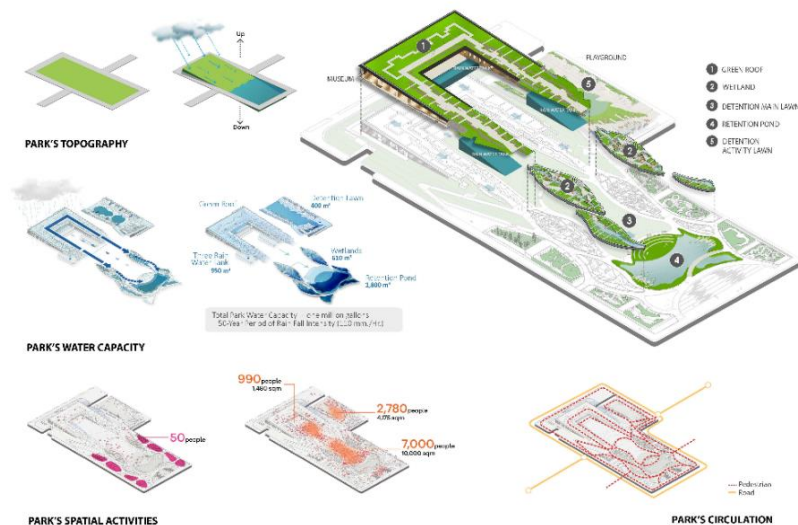
Nota. Tomado de Zonas verdes de Bangkok, por turismotailandes,2022

Este parque fue una respuesta frente al llamado de advertencia que dio la naturaleza por medio de las inundaciones 2011 acerca del efecto del cambio climático. La planificación del parque es una forma de demostrar a la ciudad cómo enfrentar los retos venideros declaró Kotchakorn Voraakhom, arquitecta tailandesa; dicho parque consta de una superficie inclinada la cual se divide en 4 puntos clave los cuales se encargan de la recolección de toda el agua y trabajan como un solo sistema integrado; él primero es un techo verde, la cual es una gran cobertura vegetal que se encarga de almacenar una gran parte del agua en los tanques que se

SUDS basados en la naturaleza

encuentran debajo de esta, el exceso de agua que no pueda ser infiltrado se dirige al segundo punto, los humedales, estos se encargan de filtrar el agua de lluvia por medio de especies nativas, que redireccionan el agua al tercer punto el cual es un estanque de retención o laguna artificial, que permite almacenar toda esta agua y por ultimo tenemos la 4 parte del sistema la cual es un césped de detención el cual funciona como un jardín inundable que sirve para almacenar el excedente de agua de lluvia, cada una de los sistemas anteriormente mencionados se ven en la siguiente ilustración.

Ilustración 13: *Distribución parque universidad de chulalongkorn*



Nota. Tomado de Parque Centenario de la Universidad de Chulalongkorn, de Kotchakorn Voraakhom ,2020, landscape

En América Latina se pueden encontrar situaciones similares, como en Buenos Aires, Argentina, donde hay dificultades con las inundaciones y su control por parte de los métodos de evacuación de aguas residuales urbanas. Se ha propuesto una alternativa viable para esta problemática, la cual consiste en aprovechar los recursos naturales del lugar afectado mediante la creación de franjas filtrantes en las zonas donde se sitúen los jardines de los espacios urbanos.

Para poder desarrollar estos sistemas de manera efectiva se debe considerar las particularidades del clima y los cambios en todo el planeta. Según un artículo titulado "Los impactos del cambio climático y la urbanización en el drenaje de Helsingborg, Suecia: sistema de alcantarillado combinado", se han producido inundaciones de aguas residuales y un aumento de las precipitaciones en varias áreas de Suecia debido al crecimiento urbano. Como resultado, se ha implementado una herramienta informática que permite a los expertos determinar el impacto del cambio climático basándose en las características demográficas, lo que les permite prevenir inundaciones y controlar las precipitaciones.

En el artículo "Modelado del rendimiento hidrológico de techos verdes para aplicaciones de drenaje urbano", se menciona el uso de SUDS en Dinamarca, donde se han implementado techos verdes como una alternativa popular en ciudades en desarrollo que carecen de terreno para la vegetación que ayude a recolectar el agua pluvial. Los techos verdes permiten la creación de superficies porosas utilizando las azoteas de edificios elevados. Además, se emplean para disminuir el peligro de inundaciones y recuperar la armonía natural del agua, lo que a su vez disminuye la carga infecciosa del agua en los sistemas de saneamiento.

Vemos a través de estos ejemplos como por medio de este sistema de drenaje se ha logrado solucionar diferentes problemáticas que tenían cada uno de las ciudades intervenidas, por lo que podemos concluir que estos sistemas son muy adaptables a las diferentes características del entorno en el cual se deseen desarrollar simplemente se debe realizar un buen análisis de la zona y su problemática, con el fin de escoger la mejor solución.

Capítulo 4. Soluciones Basadas En La Naturaleza En Colombia Para La Disminución De Inundaciones

Colombia es un país que a lo largo de su historia se ha venido desarrollando en grandes lagos que con la intervención del ser humano estos se han venido secando y convirtiendo en los pequeños ríos y arroyos con los que contamos en la actualidad, tal y como nos explica Mauricio Pinilla profesor del departamento de arquitectura en la Séptima entrega de la serie “ La ingeniería de las cosas “ de la universidad de los Andes y un gran ejemplo de esto es Bogotá, el cual para los anteriores a 1600 fue un enorme lago, un gran lago que por evolución geológica y distintos factores, se fue drenando y del quedó el valle aluvial del río Bogotá y sus humedales.

Nuestros antepasados tenían una idea muy distinta a sobre la que hemos venido desarrollando en cuanto a formar parte del medio aprovechando sus recursos, pero no cuidando de estos; las creencias de los indígenas los colocaba como parte de un sistema, un elemento más que interactúa en este y que interactúa con otros sistemas mientras que se encuentra en equilibrio con todos ellos.

Colombia es país número 3 del planeta con mayores cantidades de recursos hídricos, pero ha mediado que se van adelantando más procesos de urbanización, estos recursos se desaprovechan o en casos peores se intervienen, canalizan y posteriormente se vierte en el sistema de alcantarillado, desaprovechando y desperdiciando todo su potencial, como por ejemplo el río San Francisco en Bogotá.

“En la ciudad de Bogotá, se experimenta una gran cantidad de precipitaciones a lo largo del año. Es durante los periodos comprendidos entre abril y mayo, así como entre octubre y

noviembre, cuando se presentan niveles medios de hasta 142 mm” (Camargo Ramirez & Lozada Chamorro, 2018)

Bogotá, se ubicado en una meseta sin regularidad en la parte norte de los Andes, en la cordillera oriental. La ciudad está ubicada en un área de intersección intertropical que atraviesa el año en dos ocasiones, lo que impacta en el preder de las precipitaciones. La topografía de Bogotá afecta la forma en que caen las lluvias y se manifiesta en dos periodos consecutivos de espesas lluvias durante los meses 3, 4, 5 y 9, 10, 11 del año. La mayor dificultad es que el área urbana de Bogotá carece de bastante cubierta natural debido a la participación humana, lo que provoca que la precipitación se convierta en esorrentía con enormes crecidas del caudal, generando pérdidas económicas, de infraestructuras y vidas humanas. El gobierno está invirtiendo plata para mejorar las infraestructuras y adaptarlas a las subidas del caudal que se producen; no obstante, esto conlleva a impermeabilizar aún más el terreno. A pesar de los aportes económicos destinados a los sistemas de drenaje que se encuentran el día de hoy en las ciudades, el volumen de agua pluvial es demasiada y necesita una gestión apropiada y sostenible en los sistemas urbanos de drenaje.

Es por estos factores contribuyentes como su ubicación en la zona de resiliencia y el cambio climático como posibles razones del aumento de las precipitaciones en Bogotá y en todo el mundo que Bogotá ha sido una de las ciudades pioneras a la horade llevar a cabo estos proyectos, por ejemplo, está el caso de del diseño realizado en la calle 127 con autopista norte:

Para llevar a cabo el proyecto, se requirieron visitas al terreno que proporcionaron un punto de vista extenso y detallada sobre los problemas en la zona. El valor de estas inspecciones y la averiguación de contenido técnico del lugar radica en que permiten la viabilidad del diseño. Dado que hay un problema en la zona, es necesaria una intervención para evitar mayores

afectaciones debido a las crecientes en la autopista norte con calle 127 para esto se realizó un levantamiento topográfico a lo largo de toda la calle el cual puede apreciarse de manera muy sutil en la ilustración 14 y 15 respectivamente. (Camargo Ramirez & Lozada Chamorro, 2018)

Ilustración 14: Mediana de la Cl. 127 con Autopista Norte



Nota. Tomado de diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte, de Camargo Edgar Andrés, 2018

Es muy importante destacar la relevancia que tienen para la ciudad esta clase de proyectos que tienen un impacto positivo. Se han creado diseños adecuados gracias a la colaboración con experiencias de proyectos similares que ya se han realizado en la ciudad. De esta manera, se obtienen cálculos y diseños finales que satisfacen de la forma más adecuada posible la problemática de un método no usual.

El planteamiento del sistema SUDS (Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible) en la calle 127 con Auto Norte está diseñado con el fin de ahorrar 103,70 m³ de aguas residuales, lo que reduce el agua en el área de estudio en un 30,93%. Para ello, se realizó una prueba hidráulica a la tubería de 36 pulgadas existente en el tramo de Transmilenio. La capacidad hidráulica de la bomba se determinó en 93 m³/s. Dado que la parte del curso desde la calle 127 hasta la calle 170 está confinada a la red con un cable de 36 pulgadas,

la bomba debe operar a una velocidad de 141 m/s necesitando un desagüe completo de toda su sección, cuando lo preferible es del 85% de la misma.

El área de implantación ha sido evaluada y se determinó que la magnitud total de agua que corre es de 283,99 m³ en 60 minutos, con un caudal límite de 221,13 l/s. Debido a la cantidad de agua que se manejará, es importante contar con estructuras adecuadas de SUDS para evitar inundaciones en acontecimientos naturales de precipitaciones con elevados picos de lluvia. Estas estructuras permitirán la conducción del agua de escorrentía y evitarán la presentación de inundaciones como las que ocurren actualmente.

Ilustración 15 Levantamiento fotográfico de la zona



Nota. Tomado de diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte, de Camargo Edgar Andrés, 2018

La intención de este proyecto no solo se evidencia en la disminución y eficacia del manejo de los líquidos proveniente de la lluvia y la disminución de los niveles de polución en ellas, sino también en los precios asociados en comparación con un sistema de desagüe común, como las redes de alcantarillado, que generan mayores gastos durante su construcción. (Camargo Ramirez & Lozada Chamorro, 2018)

Otros ejemplos de SUDS en Colombia son:

El parque Simón Bolívar, situado en la capital de nuestro país, es el más significativo de la ciudad debido a su gran tamaño y es conocido como el "pulmón de la ciudad" gracias a su posición clave en el centro de Bogotá. El parque cuenta con amplias áreas verdes que contienen una gran número de varias especies de árboles y dispone de varias zonas para el disfrute de las personas. Además, cuenta con una laguna que se extiende por 11 hectáreas, como puede verse a continuación

Ilustración 16: Parque metropolitano Simón Bolívar



Nota. Tomado de Parque Metropolitano Simón Bolívar, por Instituto Distrital de Recreación y Deporte, [en línea]

El Parque Metropolitano Timiza es uno de los sitios más emblemáticos de la ciudad de Bogotá. Este parque se posiciona en la localidad de Kennedy y posee un tamaño de alrededor de 29.8 hectáreas, en las que se recalcan extensos prados, gran arborización y un hermoso lago y cual se observa en la siguiente imagen y que le da un gran atractivo al lugar. Tanto la contemplación del paisaje como la realización de actividades físicas son actividades muy populares entre los visitantes del parque

La historia del parque Timiza es muy interesante y se centra en su lago, el cual fue construido en terrenos que pertenecían a la familia del ex presidente Alfonso López

Pumarejo después de la creación de Ciudad Kennedy en 1961. En sus inicios, se construyeron juegos mecánicos alrededor del lago, como carruseles, tazas y ruedas panorámicas, lo que lo convirtió en un lugar muy popular entre los jóvenes y niños del lugar. Posteriormente, a principios de los años 70, se ofrecieron servicios de botes, comida popular e incluso un pequeño zoológico que complementaron aún más la oferta turística del parque. En 1983 se inauguró su estadio de fútbol, el cual fue renovado y mejorado para ofrecer un espacio deportivo adecuado para los habitantes de la localidad.

Ilustración 17: Parque Timiza Kennedy



Nota. Tomado de Parque Timiza, por Instituto Distrital de Recreación y Deporte, [en línea]

Hoy en día, el Parque Metropolitano Timiza sigue siendo uno de los lugares con mayor número de visitas por los habitantes de Bogotá y sus alrededores. El parque cuenta con senderos peatonales y ciclorrutas, áreas de picnic, canchas deportivas y áreas de juegos infantiles, lo que lo transforma en un lugar ideal para gozar en familia o con amigos. Además, el lago sigue siendo uno de sus principales atractivos y es posible realizar paseos en bote y observar la fauna y flora que lo rodea. (Instituto Distrital de Recreación y Deporte, 2023)

Uno de los lugares más afectados en la temporada de lluvias por el tema de las inundaciones barranquilla puesto que en esta ciudad cerca de 100 kilómetros de la malla vial, se

transforman en ríos urbanos, los cuales alcanzan caudales de hasta 100m³/s lo cual en ocasiones causa pérdida de patrimonios e incluso de vidas y a mediados que la ciudad sigue creciendo este problema sigue en aumento es por esto que en el año 2015 Amarís Castro, Gloria Estefany realizan un estudio por medio de la universidad del norte con el objetivo de investigar la aceptación que tendría en la comunidad la puesta en práctica de los métodos de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables como alternativa para poder contrarrestar la creciente del aumento de los caudales de los arroyos en barranquilla.

Adicionalmente en el país existe un problema, principalmente en los municipios más antiguos donde los sistemas de alcantarillados no responden a las necesidades que se presenta en ellos y menos al futuro de estos; por ejemplo, el municipio de Cajicá el cual es un lugar de gran importancia en el departamento de Cundinamarca, ubicado en la Región Sabana Norte, al norte de la ciudad de Bogotá. Este municipio cuenta con un tamaño territorial de 53 km² y sus habitantes superan los 70.000, lo que lo convierte en una de las zonas urbanas más cruciales del lugar. Además, se encuentra a una diferencia de 39 km aproximadamente de la capital colombiana. En cuanto a su clima, la región de Cajicá cumple un régimen bimodal de lluvias, lo que significa que hay dos temporadas de lluvias al año. La cantidad promedio de lluvia anual es de 692 mm, y los meses con mayores lluvias son el 3, 4 y 5 en la primera parte del año, y el 10 y 11 en la segunda parte. Abril es el mes con mayores precipitaciones con un promedio de 90 mm. Además, el municipio cuenta con varias quebradas que trascurren desde la zona de ladera del municipio. Entre ellas se encuentran la Quebrada Pozo Hondo, la del Campo, La de la Cruz y otras como la de las Manas, la de San Roque y la Quebrada de la “M”. Estas corrientes fluviales pueden aumentar su caudal durante las temporadas de lluvia y generar inundaciones en algunas zonas del municipio.

Las inundaciones son el fenómeno más recurrente en la zona, y en la ilustración 18 se puede apreciar cómo se saturan sus calles por causa de esta problemática. Por esta razón, el municipio ha tomado medidas para prevenir y minimizar los riesgos de inundaciones, como la limpieza y el mantenimiento de las quebradas, la realización e implementación de obras de drenaje puesto que esta situación es la que más afecta a la comunidad. (Pescador, 2022)

Ilustración 18: Inundación calles de Cajicá



Nota. Tomado de Semana, por CAR Cundinamarca, 2011

A pesar de que la mayoría de las inundaciones en Cajicá están relacionadas con desbordamientos de cuerpos de agua, también se presentan inundaciones causadas por la obstrucción de las redes de drenaje durante las temporadas de lluvias, cuando las magnitudes de estas se elevan significativamente. Esto se debe a un sistema de alcantarillado insuficiente, esto se debe a que sus primeros tramos se realizaron en 1949 para la zona urbano del municipio, y posteriormente se aumentó la red en extensión y volumen con la ayuda del INAS. Para solucionar esta problemática, se han implementado los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), el cual es una alternativa al sistema de drenaje tradicional e integra parte del sistema de gestión de residuos sólidos urbano. Estos sistemas buscan seguir el orden natural del ciclo del agua en condiciones no desarrolladas para de esta manera mermar los efectos negativos de los

cambios hidrológicos debidos al desarrollo urbano y así reducir los efectos causados por inundaciones causadas por un control inadecuado de aguas pluviales.

En Colombia, se ha creado un documento llamado "Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS". Este documento habla sobre un modelo de proyecto tipo para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible orientado a las entidades territoriales que tienen escurrimientos en la superficie por lluvia y requieren solucionar problemas relacionados con una gestión inadecuada de las mismas.

Este tipo de proyecto se divide en 3 etapas: la de diagnóstico, la de diseño y la de ejecución y funcionamiento. Durante la etapa de diagnóstico, se evalúa la problemática existente en el territorio en relación con la dirección de aguas lluvias, se determinan los objetivos del proyecto y se identifican los posibles sitios para la implementación del sistema. En la fase de diseño, se establecen los componentes del sistema, tales como elementos vegetales, suelos permeables, estructuras hidráulicas y otros elementos necesarios para el manejo adecuado del agua lluvia. Es necesario destacar que las partes las características de cada entidad territorial deben ser consideradas para validar y ajustar el diseño del proyecto. En la fase de ejecución y funcionamiento, se establecen los procedimientos constructivos para ejecutar el proyecto y se hace un análisis de la estimación de costos. También se indican lineamientos primordiales en cuanto a los precios del proyecto para desarrollarlo a lo largo de cada una de sus fases de operación.

Este documento fue presentado en 2018 por la Dirección General de Planeación Nacional y el Ministerio de Ambiente del país. La creación de este documento es un gran avance en el control adecuado del agua pluvial en Colombia, ya que permite a las entidades territoriales diseñar y

construir sistemas de drenaje sostenibles que reduzcan la probabilidad de inundaciones y mitiguen los efectos del cambio climático

Adicional a este documento existe un gran número de normas que se ocupan de regular la construcción de sistemas de drenaje urbano sostenibles entre los que destacan:

- La Resolución 631 de 2015: Este reglamento especifica los requisitos para la planeación de estudios de afectación natural para grandes proyectos de gestión de aguas residuales, incluidos los proyectos de drenaje urbano sostenible.
- La Resolución 6311 de 2007: Esta resolución establece los requisitos técnicos para la última disposición de los fluidos residuales en Colombia. La resolución incluye requisitos para la planeación y construcción de sistemas de drenaje urbano sostenible.
- La Norma Técnica Colombiana NTC 6001: Esta norma establece los requisitos técnicos para la planeación y edificación de sistemas de drenaje urbano sustentable en Colombia. La norma incluye requisitos para el control del agua de lluvia, la infiltración del precipitado líquido en el terreno y la gestión del agua residual.

Además de las normas nacionales, cada municipio o región puede tener sus propias regulaciones específicas para la construcción de sistemas de evacuación de aguas residuales urbanas sustentables.

A partir de lo anterior podemos ver como en Colombia los sistemas de drenaje urbano sostenible basados en la naturaleza ha tenido un buen desarrollo que va desde la implementación de varios sistemas a lo largo del país como la implementación de normas las cuales se encargan de garantizar la excelente ejecución de dichos mecanismos como de su respectivo mantenimiento

Capítulo 5. Aspectos A Tener En Cuenta A La Hora De Implementar Los Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible

A la hora de implementar cualquier tipo de los sistemas de drenaje urbano sostenible se debe tener en cuenta un numero de factores los cuales se encargan de garantizar el perfecto funcionamiento de dicho sistema, adicional a esto busca que el sistema solucione el problema en si, por el cual es que se está desarrollando, dando un adecuado uso a los recursos tanto ecológicos del medio como económicos, dichos factores son descritos por Martínez Acosta en su trabajo de grado como:

1. Diseño que imite el ciclo natural del agua: la idea del diseño de un sistema de drenaje sostenible debe imitar el ciclo natural del agua, permitiendo que la lluvia se infiltre gradualmente en el suelo y se evapore. Para poder lograr esto se debe realizar un estudio del terreno en el cual se va a desarrollar el sistema por ejemplo si es en un conjunto de casas unifamiliares lo mejor sería un sistema en conjunto de techos verdes o si es en una gran avenida lo mejor es utilizar técnicas como la construcción de zanjas de infiltración, la creación de áreas verdes permeables o la instalación de pavimentos porosos.

2. Uso de materiales permeables: Los materiales permeables son aquellos que permiten que el agua pase a través de ellos, puesto que no todos los tipos de vegetación retienen la misma cantidad de líquido como por ejemplo los lirios de la paz o las palmeras de bambú. Estos materiales reducen la cantidad de escorrentía y aumentan la capacidad del suelo para absorber agua. Además, de cierto modo debe buscarse la que mejor se adapte al medio ecológico donde se va a desarrollar para prolongar su vida y desarrollo.

3. Captación y reutilización del agua de lluvia: La captación y reutilización del agua de lluvia consiste en recolectar el agua de lluvia para su posterior uso en actividades

preferiblemente no potables, como riego o limpieza. Esto reduce la demanda sobre los recursos hídricos convencionales y puede ser especialmente útil en climas áridos o regiones con escasez de agua, adicionalmente también sirve como un alivio económico para las personas.

4. Aumentó de la vegetación y biodiversidad: La vegetación es fundamental para un sistema de drenaje sostenible, ya que ayuda a retener el agua y reducir la erosión del suelo. Además, las plantas pueden mejorar la calidad del agua al filtrar contaminantes y proporcionar hábitats para la fauna local. Es importante seleccionar especies nativas y adaptadas al clima local para maximizar sus beneficios.

5. Medidas de control de erosión y sedimentación: La erosión del suelo y la sedimentación son problemas comunes en los sistemas de drenaje convencionales, pero se pueden prevenir mediante técnicas de conservación del suelo. Estas incluyen la construcción de barreras vegetales, la creación de terrazas o el establecimiento de prácticas agrícolas sostenibles.

6. Participación ciudadana y educación ambiental: La participación ciudadana es esencial para el éxito de un sistema de drenaje sostenible, ya que involucra a la comunidad en la planificación y ejecución del proyecto. Además, la educación ambiental es fundamental para crear conciencia sobre la importancia del drenaje sostenible y fomentar prácticas responsables entre los ciudadanos. Esto puede incluir campañas de divulgación, talleres o programas educativos en escuelas locales. (Martínez Acosta, 2017)

Este es un sistema que requiere una participación conjunta de todos los entes que conforman una sociedad y que solo saldrá a flote cuando las personas demos nuestros pequeños granitos de aporte, a crear ambientes más naturales más limpios y a su vez más saludables para sí mismos, no existe un método que sea mejor que el otro, solamente hay unos que se adaptan mejor

a las necesidades de la comunidad y para saber escoger cual es el que mejor satisface nuestra problema hay que evaluar cada uno de los casos por separado, logrando de esta manera dar una solución más integra y concisa al problema, también se pueden ir adaptando cada uno de los viejos sistemas con los que contamos hoy en día como por ejemplo las aceras de la metrópolis y las mediana de las vías; para mí lo mejor sería crear zonas de biorretencion del tipo alcornoque inundable y del tipo zonas de infiltración; remplazando las aceras con concreto permeable con el objetivo de mitigar los fuertes caudales y evitar que se formen escorrentías, toda esta agua puede ser vertida en pozos de filtración y acortar su recorrido para llegar a las subcuencas internas del terreno, además las zonas de biorretencion como los alcornoques inundables son muy viables en la mayoría de la ciudad, debido al espacio de las aceras adicional a esto fomentaría la siembra de árboles en las ciudades, los cuales no alterarían la imagen de la ciudad, ni su flujo vehicular y que por otro lado daría un muy medio de circulación al agua para que esta pueda realizar su ciclo de la mejor manera posible, además que debido a la gran cantidad de estos, podría formarse una especie de red de mini tanques la cual podría controlar grandes cantidades de agua y dar solución a la problemática de la ciudad, además que los espacios que se encuentran entre árbol y árbol podrían remplazarse por zonas verdes de infiltración, reduciendo aún más los caudales de escorrentía, combatiendo la problemática de las inundaciones y a su vez reduciendo las temperaturas de la ciudad, convirtiéndola en espacios más agradables para los ciudadanos, puesto que adoptar este sistema no solo disminuye de manera significativa las inundaciones y todos los problemas que esta acarrea sino que también enverdece las ciudades lo cual ayuda a aumentar la pureza del aire al disminuir la contaminación y proporcionar oxígeno fresco. Además, los espacios verdes también colaboran en la reducción del efecto de isla de calor citadina, que es producto de la retención de más calor por parte de las ciudades respecto a

SUDS basados en la naturaleza

las zonas rurales debido a la falta de flora y el exceso de superficies pavimentadas, adicional a esto son espacios que brindan un ambiente natural para la fauna y la flora autóctona, lo que ayuda a mantener la variedad biológica en los espacios urbanos y el acceso a estos espacios verdes puede mejorar el bienestar integral de las personas, lo que hace que adoptar estos sistemas de drenaje basados en la naturaleza sea un factor indispensable con el propósito de elevar los niveles vida en las urbes.

conclusiones

En conclusión, los sistemas de drenaje urbano basados en la naturaleza son una solución efectiva y sostenible para abordar los problemas causados por la urbanización y el cambio climático en las ciudades modernas, empezando por que existen una gran variedad de soluciones lo que les permite adaptarse de la mejor manera a las condiciones requeridas del lugar donde se desean construir, adicional a esto pudimos ver que entre los diferentes métodos se pueden combinar con el objetivo de contrarrestar las falencias que pueda tener cada tipo de sistema, obteniendo como resultado un método más eficiente.

También se pudo observar que es un método que aunque actualmente no se logra observar en el día a día, su implementación en países del viejo continente se ha vuelto muy común, principalmente en países como Suecia ,Holanda, España, entre otros; de estos países podemos aprender que así como es un sistema que entre más grande sea las intervenciones que hagan mejores es la manera de observar los resultados como por ejemplo el parque centenario en Tailandia , también se pueden hacer pequeñas intervenciones como en la ciudad de Holanda donde se han realizado intervenciones pequeñas por medio de sistemas eficientes como el de los techos verdes que en conjunto forman un gran sistema que contrarresta problemáticas como el cambio climático y las inundaciones

En Colombia ya se ha avanzado bastante con la implementación de estas técnicas en comparación a Latinoamérica, pero se puede avanzar más, puesto que es un país que por sus condiciones térmica y climatológicas cuenta con un gran potencial para la implementación de estos sistemas

Estas técnicas permiten reducir el impacto de eventos climáticos extremos como inundaciones y olas de calor, mejorar la pureza del aire y aumentar la biodiversidad en las ciudades, lo que son unas razones muy importantes para comenzarlas a implementar y como se dijo anteriormente, no solo se debe esperar que el estado realice las intervenciones sino que las personas del común pueden hacerlo, que si juntos se unen se formaría un gran sistema que mejoraría el ambiente desde pequeños niveles en las casas como a nivel regional a lo largo de la ciudad. Además, estos sistemas también tienen la capacidad para aumentar la calidad de vida y fomentar el bienestar de los habitantes ciudadanos. Al proporcionar espacios verdes y atractivos para la recreación y el ocio, estos sistemas contribuyen a crear ciudades más habitables y saludables. También reducen los costos asociados con el mantenimiento y reparación de los sistemas de drenaje tradicionales. En resumen, los sistemas de drenaje urbano basados en la naturaleza son una estrategia importante para lograr ciudades más sostenibles, resilientes y habitables en el futuro.

referencias bibliográficas

- abellán garcía, a. i. (2014). *sistemas de drenaje urbano sostenible: aplicación práctica a un tramo de la diagonal de barcelona*. barcelona: universitat politècnica de valència. servicio de alumnado - servei d'alumnat. obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/40238>
- abellán, a. (2016). *áreas de biorretencion*. obtenido de sudsostenible : <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/areas-de-biorretencion/>
- alarcia, a. (2021). *tomado de aplicaciones de los suds barrio bon pastor, barcelona- españa* . obtenido de drenajesostenible: <https://drenajesostenible.com/bon-pastor-evolucion-a-suds/>
- amaya, j. c. (2020). *sistemas urbanos de drenaje sostenible: una realidad sistemática a corto plazo*. sevilla. obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/101702>
- bermúdez-valero, m. l. (2021). *sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds) en américa latina: ¿una solución basada en la naturaleza con criterio social?* bogotá d.c. obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/59039>
- busca, m. (2014). *techos verdes*. obtenido de arquitectura y empresa: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/techos-verdes>
- camargo ramirez, é. a., & lozada chamorro, j. (2018). *diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en bogotá, calle 127 con autopista norte*. bogota. obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/16424>
- carreteros. (2016). *norma 5.2-ic "drenaje superficial"*. obtenido de http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic2016/apartados/3.htm
- cordoba, j. d. (2016). *descripcion de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevencion de inundaciones*. bogota. obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/5102>

- distritooficina. (2023). *oficinas de la sede bbva madrid, herzog & de meuron*,. obtenido de <https://distritooficina.com/espacios/bbva-madrid-herzog-de-meuron/>
- garces, k. (s.f.). *sistemas de drenaje urbano sostenible*. obtenido de <https://misovirtual.virtual.uniandes.edu.co/codelabs/iot-piloto-mysuds/index.html?index=..%2f..internet-de-las-cosas#3>
- garcía jiménez, e. (2021). *sistemas de drenaje urbano sostenible aplicados a áreas industriales. el caso del polígono de argales valladolid*. valladolid, españa: universidad de valladolid. escuela técnica superior de arquitectura. obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50458>
- garcía, c. c. (2016). *modelación hidrológica de cunetas verdes caso de estudio: parque san cristóbal, bogotá - colombia*. bogota. obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15192/u753912.pdf?sequence=1>
- instituto distrital de recreación y deporte. (2023). obtenido de <https://www.idrd.gov.co/parques/parques-metropolitanos/parque-timiza>
- instituto distrital de recreación y deporte. (s.f.). *tomado de parque metropolitano simón bolívar*. obtenido de <https://www.idrd.gov.co/parques/parques-metropolitanos/parque-metropolitano-simon-bolivar>
- lasa, p. (2020). *tomado de acciones indnatur*. obtenido de indnatur: <https://www.indnatur.eu/descargas/>
- martínez acosta, j. a. (2017). *metodología para determinar el potencial de implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds) en áreas residenciales, a partir de análisis de sistemas de información geográfica (sig) : caso de estudio bogotá, colombia*. bogota. obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/13937>
- minambiente. (2018). *de lineamientos para el diseño de sistemas urbano de drenaje sostenible*. obtenido de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/lineamientos-pt-suds-v1-261218.pdf>

- momparler, s. p. (2018). *soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del ciclo urbano del agua*. zaragoza. obtenido de <https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2018/11/ponencia-sara-perales.pdf>
- muños rodriguez, j. p., & acuña ostios, z. e. (2015). *sistemas urbanos de drenaje sostenible “suds” como alternativa de regulación y control de inundaciones en nechí un municipio de la mojana*. bogota. obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/aba72c52-d4af-4979-aca6-032672d332c1/content>
- osorio, j. f. (2022). *diseño de sistema zona de bio-retención en el campus de la universidad colegio mayor de cundinamarca, bogotá*. bogota: producción + limpia. doi: <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a5>
- pescador, t. m. (2022). *sistemas de drenaje urbano sostenibles (sud's), como solución para el drenaje de agua de escorrentia en el municipio de cajicá*. cajica. obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/41387>
- salas, j. j. (2018). *tomado de introducción a los humedales artificiales como tratamiento de las aguas residuales*. obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>
- sarmiento prieto, j. p. (1990). *inundaciones*. servicio nacional de aprendizaje (sena). obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/3428/inundaciones.pdf?sequence=1>
- semana. (2011). *cundinamarca enfrenta la emergencia más grave de los últimos 100 años*. obtenido de <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a5>
- tosic, n. (2018). *las mejores plantas para techos verdes*. obtenido de geoplast: <https://www.geoplastglobal.com/es/blog/las-mejores-plantas-para-techos-verdes/>
- turismotailandes. (2022). *zonas verdes de bangkok*. obtenido de <https://www.turismotailandes.com/zonas-verdes-de-bangkok/>
- voraakhom, k. (2020). *parque centenario de la universidad de chulalongkorn*. obtenido de landscape: <https://landscape.coac.net/parque-universidad-de-chulalongkorn>

zielinski, s., garcía collante, m. a., & vega paternina, j. c. (2012). *techos verdes: ¿una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del rodadero, santa marta?* medellín: revista gestión y ambiente. obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424101008.pdf>