

Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias

Urbans sustainable drainage systems (SUDS): an integral alternative for the rainwater management

^aLeidy Vanessa Tarazona-Tobo, ^bCarlos Alexis Bonilla-Granados, ^cJhan Piero Rojas-Suárez

 ^a Ingeniero Civil, leidyvanessatt@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia
 ^b Magister en Tecnologías para el Manejo de Aguas y Residuos, carlosalexisbg@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia.
 ^c Magister en Ingeniería Civil, jhanpiero Rojas@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Recibido: Julio 22 de 2020 **Aceptado:** Diciembre 20 de 2020

Forma de citar: L.V. Tarazona-Tobo, C.A. Bobilla-Granados, J.P. Rojas-Suárez. "Sistema de drenaje sostenible (SUDS); una alternativa integral para el manejo de aguas lluvias", *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 140-155, 2021

Resumen

El eficiente manejo de la escorrentía se ha constituido como un factor de gran importancia en la constante búsqueda de entornos urbanos sostenibles que integren equitativamente el ámbito social, económico y ecológico; aunque dicho manejo comúnmente se realiza a través de sistemas de drenaje convencionales, estas alternativas cada día están más lejos de cumplir con su objetivo, a causa de factores como la impermeabilización de los suelos y las ampliaciones de red requeridas para el uso de dichas zonas de expansión, los cuales generan aumentos en los caudales punta, superando los previstos durante la concepción de dichos sistemas, lo que desencadena en inundaciones a causa del desbordamiento de las estructuras; esto sumado al cambio climático, el efecto de isla calor y la contaminación difusa, crea una gran problemática y con ella, la necesidad de darle una solución eficaz, gestionando este recurso de una forma distinta, haciendo uso de alternativas no convencionales como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), esto con el fin de reproducir el ciclo hidrológico natural, integrando los aspectos sociales, paisajísticos y ambientales de las zonas intervenidas; con el fin de conocer a profundidad estos sistemas, sus ventajas y desventajas, se realizó una búsqueda bibliográfica, con el objetivo de obtener información relevante sobre los SUDS, las tipologías existentes y su implementación en múltiples proyectos urbanos; con la cual se observó que su uso se remonta a comunidades como el imperio Romano y el imperio Maya, que ante la precariedad de recursos hídricos se vieron en la necesidad de crear técnicas de recolección de aguas lluvias para su uso en distintas actividades, con el tiempo, dichos métodos se han tecnificado, convirtiéndose en símbolos de sostenibilidad e innovación a nivel nacional e internacional en países como en España, Australia y Francia.

Palabras clave: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, manejo, aguas lluvias, impermeabilización, contaminación difusa.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: leidyvanessatt@ufps.edu.co



Abstract

Abstract: The efficient management of runoff has become a great important factor in the constant search for sustainable urban environments that equitably integrate the social, economic and ecological sphere; Although such management is commonly carried out through conventional drainage systems, these alternatives are increasingly far from fulfilling their objective, due to factors such as the waterproofing of soils and network extensions required for the use of such expansion areas, which generate increases in peak flows, exceeding those expected during the design of such systems, which leads to flooding due to the overflowing of structures; This added to climate change, the heat island effect and diffuse contamination, creates a great problematic and with it, the necessity to provide an effective solution, managing this resource in a different way, making use of non-conventional alternatives such as Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), this with the purpose of reproducing the natural hydrological cycle, integrating the social, landscaping and environmental aspects of the intervened areas; In order to know in depth these systems, their advantages and disadvantages, a bibliographic search was carried out, with the aim of obtaining relevant information about the SUDS, the existing typologies and their implementation in multiple urban projects; It was found that its use dates back to communities such as the Roman and the Mayan empire, which, given the precariousness of water resources, found it necessary to create rainwater harvesting techniques for use in different activities. Over time, these methods have become technical, becoming symbols of sustainability and innovation at a national and international level in countries such as Spain, Australia and France.

Keywords: Sustainable Urban Drainage Systems, management, rainwater, waterproofing, diffuse contamination.

Introducción

Desde la antigüedad, las civilizaciones plasmaron por medio de manuscritos, jeroglíficos y textos religiosos, el papel decisivo que jugaban las aguas lluvias en la provisión de recursos hídricos [1], ya que debido a la carencia de ríos u alguna fuente de agua superficial que proporcionara el líquido necesario para suplir las necesidades básicas de las comunidades, la reutilización de esta era su única alternativa, por ende se vieron en la necesidad de crear técnicas empíricas basadas en la recolección de dicho líquido para toda su comunidad [2]; con el paso de los años y la implementación de redes de acueductos capaces de proveer agua potable a cada vez más comunidades, se fue dejando de lado la necesidad de aprovechamiento de las aguas pluviales y como consecuencia, esta empezó a ser tratada como un desecho que debía ser evacuado, para no generar inconvenientes en la comunidad, con este propósito se implementaron los sistemas urbanos de drenaje convencionales, los cuales tienen como filosofía de diseño, la conducción de la escorrentía superficial

generada durante los eventos de lluvia, a través de distintas estructuras de captación hacia sitios fuera de la población donde no representen un peligro para los habitantes de las zonas de donde provienen [3], [4], usando con menos frecuencia estas técnicas de recolección y aprovechamiento de aguas pluviales.

Sin embargo aunque los sistemas urbanos de drenaje convencionales por muchos años fueron calificados como la mejor alternativa para los problemas de contaminación e inundaciones causados por el agua lluvia, en la actualidad presentan diversos contras, generados por factores como el cambio climático que se presenta en la actualidad, el cual es causante de desequilibrios en los periodos de lluvias [5] y el aumento exponencial en el desarrollo urbano, causante de ampliaciones en ocasiones superiores a las previstas en las redes de alcantarillados pluviales existentes y alteraciones en las condiciones naturales del ciclo del agua a causa de la pérdida significativa de vegetación [6], creando una fractura en el ciclo natural del agua debido a la desaparición de los principales mecanismos de

depuración natural e infiltración al terreno, aumentando los volúmenes de escorrentía superficial en dichas zonas [7]; estos dos factores en conjunto, generan caudales punta netamente mayores a los de diseño previstos para los sistemas de drenaje convencionales existentes, provocando inundaciones por la sobresaturación de los mismos; esto sumado a la problemática de contaminación difusa, [8] llamada así por provenir de fuentes de contaminación que se encuentran dispersas sin un único origen la cual es captada y transportada por la escorrentía [9] y las conexiones erradas, nombre que se le da a aquellas conexiones fuera de lugar que se realizan a los alcantarillados separados (conexión de los sifones de aguas lluvias conectados a colectores de aguas residuales o de algún aparato sanitario al alcantarillado pluvial) y que en épocas de lluvias superan la capacidad de las redes a las cuales se conectan, causan inundaciones que además arrastran una gran carga de contaminantes, los cuales son transportados y descargados directamente en los cauces naturales cercanos contribuyendo en la extensión de la contaminación y la degradación de los mismos) [10].

Con el fin de dar una solución integral a estas circunstancias, se han planteado alternativas como los SUDS, con los cuales se da un nuevo enfoque a la gestión de la escorrentía, optimizando ingenierilmente aquellas técnicas empíricas usadas en la antigüedad, con el fin de obtener sistemas de drenaje basados en la recolección, transporte y reutilización de aguas pluviales, que reproduzcan el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización lo máximo posible, integrando los aspectos sociales, paisajísticos y ambientales de cada zona donde se desee implementar [11]; estos sistemas están compuestos por distintas tipologías que tienen como fin retener las aguas lluvias el mayor tiempo posible en su punto de recolección sin generar inundaciones, minimizando el

impacto urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía, como por ejemplo, los tanques de almacenamiento de aguas lluvias, techos verdes, drenes filtrantes, cunetas verdes, zonas de biorretención, superficies inundables, entre otras, las cuales se implementan individualmente o en conjunto, dependiendo de las condicionantes que se tengan en las zonas a intervenir [8].

Este artículo busca profundizar en los SUDS, desde sus orígenes hasta la actualidad, dando a conocer cada una de sus tipologías al igual que sus ventajas, desventajas, usos e implementaciones realizadas a nivel mundial, esto con el objetivo de dar a conocer los SUDS como una solución integral capaz de abarcar las problemáticas mencionadas anteriormente por medio de un manejo equitativo de los ámbitos sociales, medioambientales y económicos, hidrológicos e hidráulicos [12]. Se realizó una búsqueda bibliográfica por diversas fuentes digitales como bases de datos de suscripción, de libre acceso y revistas científicas, de las cuales se seleccionaron aquellos documentos que tienen relación directa con el tema de estudio, publicados en los últimos 33 años (1987-2020), los cuales aportan conocimiento relevante, como las tipologías existentes y su implementación tanto en la antigüedad, como en múltiples proyectos urbanos realizados en los últimos años a nivel nacional e internacional en países como España, Australia, Francia, Dinamarca, Alemania y Reino Unido, entre otros, donde los SUDS se encuentran ampliamente establecidos, convirtiéndose en símbolos de sostenibilidad e innovación en el manejo de aguas lluvias [13].

Los SUDS en la antigüedad

El aprovechamiento de las aguas lluvias es una práctica surgida desde la época de la revolución neolítica (VIII milenio a.C.), donde gracias a la aparición de la economía

productora basada en la agricultura, la alfarería y la ganadería, entre otras actividades, las civilizaciones dejaron de lado su vida nómada para dar paso a una sedentaria, lo que implicó un crecimiento demográfico considerable [14] y con esto la ampliación de los asentamientos hacia terrenos áridos y semiáridos, en los que el agua superficial era escasa o nula, pues no existían fuentes cercanas de las cuales proveerse, por ende para subsistir se vieron en la necesidad de recurrir a técnicas que les permitiesen recolectar toda el agua lluvia posible tanto para su uso básico, como para las plantas y animales [15].

El uso de cisternas es una de las técnicas de recolección de agua lluvia más antiguas, datan su origen en la Edad de Bronce Medio y Tardío (2200-1200 a.C.) [16], posteriormente se observó su implementación en civilizaciones como la Minoica, griega y la Romana, en las que hacían parte de un sistema de recolección completo, el cual consistía en captar el agua lluvia por medio de los tejados de las viviendas y conducirla por medio de canales y ductos hacia las cisternas donde era almacenada; igualmente fueron implementadas en el desierto de Negev, Israel hace 4000 años atrás, donde el agua lluvia era transportaba por medio de pequeños lomeríos hasta estas estructuras, las cuales tenían una capacidad de almacenamiento de 200 a 300 m³ [17] y en ciudades completas como Venecia, que por muchos siglos fue abastecida, por medio de más de 6700 cisternas subterráneas filtrantes construidas en la edad media (Figura 1), las cuales en su interior tenían un lecho de arena que funcionaba como filtro y mantenía el agua fresca y pura [18]; aunque actualmente existen un poco más de 200 pozos en esta ciudad, ninguno se encuentra en uso.



Figura 1. Esquema representativo de las cisternas de aguas lluvias construidas en Venecia

Fuente: [18]

Entre el siglo III y IV a.n.e., en Roma se construyeron las primeras viviendas tipo domus

Figura 2), las cuales pertenecían a la clase alta del imperio romano [19] y contaban con todo un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, compuesto por un estanque situado en el atrium a la entrada de la vivienda llamado impluvium, donde se almacenaba las aguas lluvias que eran recogidas por cubiertas con pendientes por cubiertas con pendientes ubicadas hacia el interior, estos depósitos eran conectados hacia las cisternas que proveían de agua toda la residencia; además las cubiertas cercanas al patio ajardinado tenían una pendiente hacía este, de manera que al recoger las aguas pluviales, estas eran conducidas hacia el jardín, siendo este su sistema de riego [15].



Figura 2. Vivienda romana tipo Domus

Fuente: [18]

Entre los siglos VIII y XV d.C. en los países mediterráneos, la reutilización del agua lluvia se realizó por medio de aljibes árabes, estas estructuras eran depósitos de agua más elaborados, los cuales se encontraban enterrados o semienterrados y con cubierta abovedada, construidos con ladrillo y argamasa y recubiertos en su interior con cal, arena y demás materiales en busca de evitar las filtraciones y conservar la calidad del agua; eran alimentados de manera distinta dependiendo de su tamaño, mientras que los aljibes de gran capacidad se alimentaban por medio de extensas laderas montañosas cubiertas de vegetación natural, con el fin de reducir el arrastre del suelo y por ende la turbidez del agua recolectada, las estructuras pequeñas eran abastecidas por el agua lluvia captada por cubiertas y cortos canales sin vegetación [20]; en cualquiera de los dos casos, estos sistemas eran tan eficaces que tenían la capacidad de abastecer con agua ciudades completas durante siglos, [15]; muchas de estas estructuras eran consideradas verdaderas obras de arte y aunque la calidad del agua almacenada no era la mejor para el consumo humano a causa de la inexistencia de verdaderos mecanismos que garantizaran el filtrado de sedimentos que arrastrados por la escorrentía, un tratamiento bacteriológico del agua, ni elementos que impidieran el ingreso de animales [21], [22] estas fueron las fuentes de abastecimiento principales hasta que fueron implementados los sistemas de agua potable a mediados del siglo XX; en los últimos años, ciudades como Maretas del Estado y Granada en España, realizaron la restauración de varias de estas estructuras, para ser usadas como atractivos turísticos, como la que se observa en la Figura 3, encontrada en el ayuntamiento Cáceres, España.



Figura 3. Aljibe árabe ubicado en el Palacio de las Veletas – España.

Fuente: [23].

Por su parte en América, más exactamente en México, alrededor del año 1600 a.C. los mayas, luego de expandirse por distintos territorios como la Península de Yucatán donde se hacía presente la carencia de ríos y por ende de agua superficial, se vieron en la necesidad de suplir la escasez de esta, por medio de la recolección de aguas lluvias, esta vez por medio de lagunas superficiales a cielo abierto conocidas como aguadas, donde era almacenada toda el agua lluvia proveniente de las edificaciones y zonas urbanizadas vecinas [24], estos elementos, son conocidos por diversos autores como “piscinas menos permanentes que los cenotes antiguos con lados inclinados” [25] o “grandes depresiones de poca profundidad” [26]; su sistema consistía en reconducir la escorrentía superficial recogida por cubiertas, calles y elevaciones de terreno utilizando la gravedad como aliada, a través de canalizaciones que eran las encargadas de finalmente descargarla a las aguadas para ser almacenada y posteriormente ser usada por toda la comunidad para suplir sus necesidades [15]; en la Figura 4 se puede observar la sección transversal de una aguada tipo construida por los mayas.

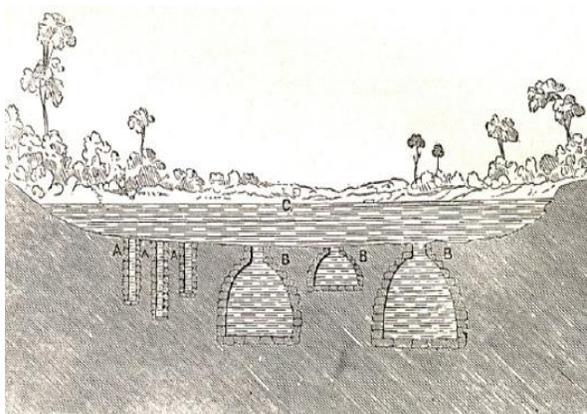


Figura 4. Sección transversal de una aguada maya.

Fuente: [15]

A pesar del papel importante que jugó el agua lluvia para la subsistencia de las civilizaciones, la reutilización de esta quedó a un lado con la llegada de los sistemas de acueductos capaces de darle un tratamiento a las aguas superficiales y abastecer grandes ciudades; esto obligó a cambiar el enfoque dado a estas aguas, convirtiéndola en un desecho el cual era necesario evacuar por medio de sistemas de alcantarillado para no causar inundaciones y con esto, estragos en la población [3]; con este fin se implementaron los sistemas de alcantarillado pluvial o sistemas de drenaje convencionales, que cumplían con este objetivo recurriendo a elementos como conductos, estructuras de captación y obras complementarias, los cuales en conjunto lograban captar la escorrentía caída sobre las cubiertas, vías y zonas verdes de las zonas tratar y transportarla hasta los canales naturales donde finalmente eran descargadas [27], logrando mitigar en un buen porcentaje las inundaciones y con esto los peligros e incomodidades que estas causaban.

Resurgimiento de los SUDS

Con el transcurrir de los años se han presentado factores que afectan los tres ejes en los que se basan estos sistemas (cantidad, calidad y servicio), los cuales se enuncian a continuación:

Escasez de agua potable. un elemento fundamental para la existencia de vida en el planeta, ya que además de ser indispensable para la configuración de los sistemas medioambientales, juega un papel importante en el sostenimiento y la reproducción de los seres vivos; En la actualidad es sabido que este es un recurso finito y que además, aunque el volumen de agua existente en el mundo se encuentra alrededor de 1386 millones Km³, el 96.5% es agua salada, no apta para el consumo humano, solo el 3.5% es agua dulce y de este porcentaje, el 70% se encuentra congelada ya sea en glaciares, nieve o hielo, el 30% es subterránea, el 1% se encuentra en las cuencas hidrográficas y tan solo el 0.025% es considerada agua potable accesible para el ser humano, es decir solo este porcentaje es apta para suplir las necesidades básicas del ser humano, un valor pequeño, comparado con la cantidad de habitantes en el planeta [28].

Impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico del agua. según estudios realizados por la ONU en el año 2018 el 55% de las personas vivían en ciudades y se previó que el aumento será hasta de un 13% para el 2050 [29]; dicho crecimiento ha traído consigo la impermeabilización de la superficie terrestre, para dar paso a la construcción de edificaciones, vías, etc. Lo que significa una disminución importante de las superficies de alta permeabilidad, provocando una variación importante entre el ciclo hidrológico urbano y el de los entornos naturales [30], pues disminuye el proceso de infiltración, aumentando así la escorrentía superficial hasta en un porcentaje mayor al 55% [31], lo que genera un aumento de los caudales punta en un tiempo de respuesta menor y acrecienta el riesgo de inundaciones.

Insuficiencia en estructuras de drenaje. aunque los alcantarillados tanto pluviales como combinados, son diseñados teniendo en cuenta un periodo de retorno (número

de años promedio en que la magnitud de un evento de precipitación extremo es igualada o excedida), el cual según la normativa de Colombia, se encuentra entre el rango de los 3 a 100 años dependiendo de las características del área a drenar [32], la capacidad de muchas de estas estructuras se han visto superadas por el aumento en el caudal pico que se genera a partir de las ampliaciones realizadas a estos sistemas a causa del crecimiento exponencial de los entornos urbanos y la necesidad de evacuar la escorrentía de estas zonas [9].

Insensibilidad social. el origen de la gran mayoría de contaminantes, son principalmente causados por la irresponsabilidad e inconciencia de los habitantes respecto al cuidado del medio ambiente, en gran parte de los entornos urbanos se pueden apreciar vertidos descontrolados de basuras, fugas de vehículos a motor, vertidos accidentales de químicos a las vías, la degradación de los materiales presentes en la ciudad (asfalto, metales, baldosas, material petreo, etc) y vertidos ilegales que producen algunas industrias [9], [33] esto colabora en gran parte a la existencia de la contaminación difusa, la cual es arrastrada por la escorrentía generada en los eventos de precipitación y finalmente descargadas a los ríos, generando en este transcurso, la degradación de los ecosistemas en algunos casos irreversibles [34].

El conjunto de todos estos factores, los cuales son predominantes en el mundo, han hecho que los sistemas convencionales pierdan gran parte de su eficacia, ya que actualmente no dan una solución global a todas las problemáticas presentes alrededor del manejo de las aguas lluvias; en busca de esta, en los últimos años la ingeniería civil ha venido reestructurando aquellas prácticas utilizadas en la antigüedad, para dar paso a los SUDS, esta vez integrando los aspectos hidrológicos, ambientales,

económicos y sociales, dando como resultado sistemas eficientes y a su vez amigables con el ambiente enmarcando el concepto de desarrollo sostenible, el cual nace en 1987 por medio del documento *Nuestro futuro común*, que lo define como “*el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” [35], esto implica dar soluciones que promuevan el avance social, económico y medio ambiental de forma equitativa, generando beneficios integrales a largo plazo.

Según el “The SUDS manual” publicado en el año 2007, Los SUDS son aquellos sistemas de drenaje de aguas superficiales, desarrollados teniendo en cuenta los ideales del desarrollo sostenible, su filosofía es recrear lo más fielmente posible el ciclo hidrológico presente en la zona, antes de ser realizada la urbanización [36].

El artículo “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage” publicado en el año 2015, los describe como una secuencia de prácticas, técnicas y tecnologías entorno a las aguas pluviales que trabajan conjuntamente para formar un tren de gestión de aguas lluvias denominado “tren de SUDS” [12].

Dada estas definiciones, los SUDS engloban una serie de técnicas que buscan dar soluciones tanto en el planeamiento, como en el diseño de sistemas que gestionen las aguas pluviales de manera eficaz, abarcando de manera equitativa los tres conceptos del triángulo de sostenibilidad del drenaje urbano establecido por D’arcy en el año 1998 (calidad, cantidad y servicio) [37]; además abarcan 5 de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), adoptados en el 2015 por todos los países miembros de las Naciones Unidas, con el fin de acabar con la pobreza,

proteger el planeta y que los habitantes gocen de paz y prosperidad para el año 2030 [38].

Para cubrir todas la problemáticas y cumplir con los objetivos requeridos, estos sistemas cuentan con una serie de tipologías adecuadas para la captación, transporte y almacenamiento de la escorrentía superficial, las cuales trabajan en conjunto formando un tren de SUDS adecuado según las características de las zonas a intervenir, que logre abarcar toda la cadena de gestión de los SUDS (Figura 5), la cual según el “The SUDS manual” se maneja de manera escalonada bajo los principios mencionados a continuación [36]:

Prevención. el uso adecuado de los SUDS, previenen los altos caudales punta en la escorrentía superficial y con ello, los agentes contaminantes arrastrados por la misma.

Control en el origen. gestiona la escorrentía superficial lo más cerca posible de su fuente, mediante distintos métodos de infiltración con capacidades menores, como pavimentos permeables, techos verdes, jardines verticales, entre otras.

Control en la zona. eso se logra implementando tipologías de capacidad media como cuencas de infiltración o cuencas de retención.

Control regional. en esta etapa se hace uso de aquellas tipologías con la capacidad de abarcar la escorrentía superficial de grandes zonas de drenaje, como estanques de retención o humedales superficiales.

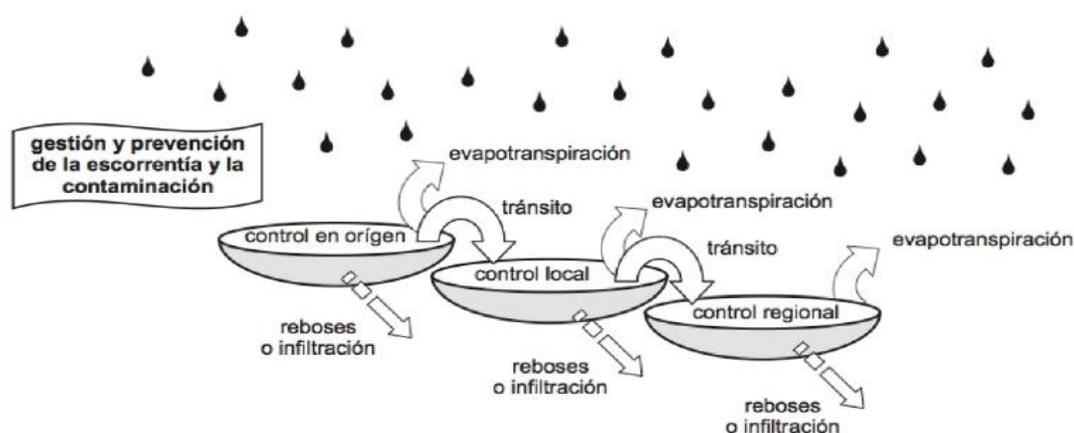


Figura 5. Cadena de gestión del agua lluvia.

Fuente: [[36]]

Para el cumplimiento de cada uno de los principios mencionados anteriormente se implementaron distintas tipologías clasificadas según su función en 3 etapas fundamentales:

Sistemas de infiltración y control en el origen. encargados del retener en el inicio la formación de escorrentía superficial, por medio de superficies permeables y zonas verdes [39], si su implementación es cerca de una edificación o de una vía no debe situarse a menos de 5m de distancia de ellas, para evitar que el agua infiltrada genere repercusiones en la cimentación de dicha estructura; al ser la infiltración uno de las principales funciones de estas tipologías, es necesario la realización de estudios de suelos, en los que se implementen ensayos para la obtención de valores como la capacidad de infiltración del terreno, la

permeabilidad, el nivel freático existente en la zona, entre estos sistemas se encuentran las superficies permeables, los pozos o zanjas de infiltración, los depósitos de infiltración y las cubiertas verdes [9].

Sistemas de captación y transporte. como su nombre lo dice se encarga de captar y transportar las aguas lluvias, hasta las zonas de tratamiento o de descargas, este transporte se realiza de manera lenta para que, en el camino la escorrentía tenga la posibilidad de realizar procesos de infiltración, filtración, evaporación y oxigenación, con el propósito de disminuir la lámina de agua e incrementar la calidad del agua [40], entre estas tipologías se encuentran los drenes filtrantes, cunetas verdes, franjas filtrantes.

Sistemas de tratamiento y almacenamiento. estos permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de agua y su depuración por procesos naturales, para posteriormente ser aprovechada o vertida en las cuentas naturales, además de agregar un valor paisajístico a los sitios donde se implementan, entre estos se identifican los depósitos de detención, estanques de retención, humedales artificiales, los estanques de almacenamiento y tanques de tormenta [31].

Los SUDS en la actualidad

En la ciudad de Melbourne-Australia se creó el “Green our city strategic action plan 2017-2021”, un plan estratégico que habla sobre la importancia de la implementación de técnicas que ayuden a la gestión de agua en este territorio, creando estrategias de sostenibilidad que tienen como objetivo expandir el reverdecimiento de la ciudad por medio de las cubiertas verdes y jardines verticales, dos de las tipologías usadas en los SUDS [41], por medio de este plan se realizaron varias intervenciones, entre estas

la implementación de un muro verde al aire libre hidropónico a gran escala, ubicado en el recinto artístico y cultural de Melbourne (Figura 6), eso con el propósito de revestir el exterior del área de un estacionamiento de varios niveles y con esto controlar la entrada de luz al mismo, además le dió un plus paisajístico a la edificación, aumentó la diversidad de plantas nativas y exóticas y permitió la reutilización del agua lluvia recolectada en el riego de dichas plantas.



Figura 6. Implementación del Green our city strategic action plan 2017-2021 en el recinto artístico y cultural de Melbourne

Fuente: [41]

En Madrid-España se realizó la intervención del Parque Gomeznarro, ya que a causa de las precipitaciones continuas presentadas por el tipo de clima de la zona, junto con las fuertes pendientes que poseía, eran causa de erosiones en el interior del parque, además las pendientes en dirección a las residencias con las que este colindaba, generaban empozamientos en las vías y las zonas de acceso a dichas viviendas; como solución se realizó un cambio del pavimento impermeable existente por pavimento permeable sobre

celdas de drenaje en polipropileno, también se aprovechó la topografía marcada del sitio para crear áreas de captación en las zonas bajas, en las que se instalaron cajas modulares de polipropileno que funcionan como depósitos de infiltración, estas fueron conectadas al alcantarillado pluvial para realizar su descarga y por último se realizó una revegetación de todo el parque; a partir de numerosas inspecciones realizadas luego de su inauguración, se observó que los procesos de erosión causados por la escorrentía desaparecieron, ya no se producen empozamientos en las zonas de acceso de las viviendas, se redujo la temperatura ambiental y hay una mejor integración paisajística y medioambiental en la localidad [42], en la Figura 7 se observa parte del proceso realizado en la zona intervenida y el resultado final.



Figura 7. Instalación de celdas de drenaje bajo pavimento permeable-parque Gomeznarro.

Fuente: [42]

En Tokio, Japón fue construido el megaproyecto G-Cans entre los años 1992-2009, esta ciudad por estar ubicada en una zona tropical, tiene una precipitación promedio mensual de 1533 mm y una intensidad alta, por lo que es víctima de torrenciales precipitaciones y catástrofes naturales frecuentemente [43], debido a esta problemática se ejecutó el proyecto G-Cans, Tokio, compuesto por distintas canalizaciones, un tanque principal de 78m de profundidad, 5 silos conectados por túneles a lo largo de 6.4 km y 59 columnas conectadas a 10MW bombas con la capacidad de evacuar 200 toneladas de agua hacia el río Edogawa; fue construido con el fin de prevenir las grandes inundaciones ocurridas a causa de las fuertes lluvias o de las catástrofes naturales frecuentes, algo frecuente en conduciendo la escorrentía captada por los pequeños pozos a través de los ductos, para ser canalizada bajo tierra a

través de los grandes silos y ser conducida por un túnel subterráneo, lo suficiente grande para recibir magnos volúmenes de agua, la cual es captada y ralentizada en la cisterna reguladora de presión y finalmente descargada al río dispuesto para este fin, mitigando así hasta una décima parte los daños causados por las inundaciones. Su construcción empezó en el año 1992, con una duración de 17 años debido a sus grandes dimensiones y la complejidad de su implementación; aunque este sistema no es considerado como un SUDS, ya que no promueve la reutilización del agua lluvia, cabe resaltarla, considerado que es el alcantarillado más sofisticado a nivel mundial y un gran símbolo de innovación [44].

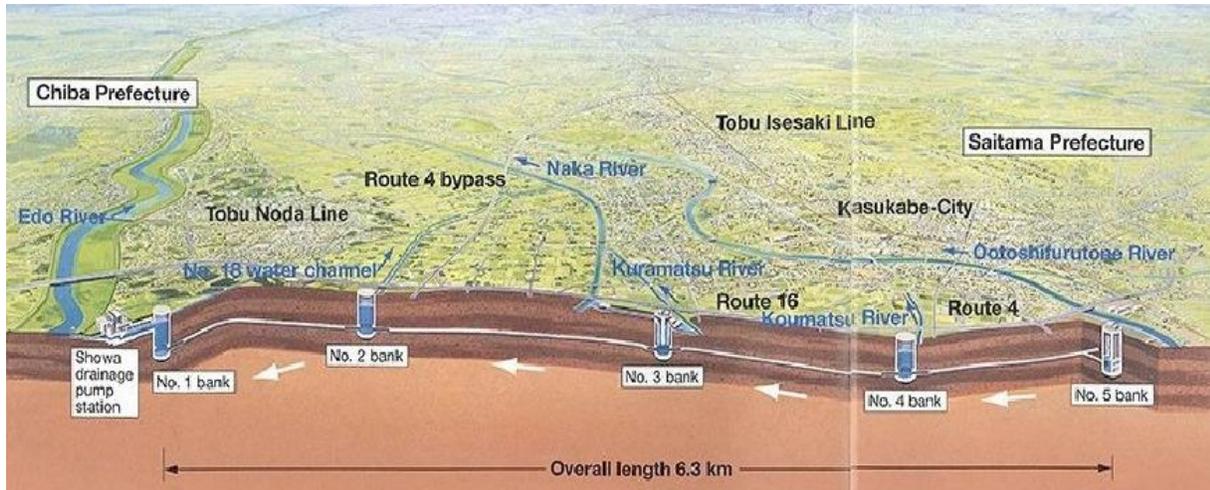


Figura 8. Esquema representativo del sistema G-Cans-Tokio, Japón.

Fuente: [44]

A nivel nacional no son muchas las aplicaciones de los SUDS realizadas en los últimos años, pues a pesar de la clara necesidad de darle un manejo integral a las aguas lluvias, en muchas zonas del país esta sigue siendo tratada como un desecho, sin tener en cuenta los beneficios que traería consigo la reutilización de la misma;

Sin embargo, la construcción del humedal en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana se encuentra en esa reducida lista de proyectos, este fue construido a un costado norte de la cancha de fútbol ubicada dentro de las instalaciones de esta universidad, el sistema implementado tiene como objetivo es la captación y recolección de las aguas lluvias recogida por las cubiertas de los edificios cercanos, zonas verdes y la cancha sintética de fútbol para su posterior aprovechamiento (Figura 9) está compuesto por dos desarenadores que cumplen la función de remover las partículas sólidas de mayor tamaño del agua captada y posteriormente conducirla al interior del sistema, un humedal que se encarga de darle un tratamiento constante al agua con un bajo consumo de energía por medio de las plantas empleadas y un taque regulador que almacena el agua para luego ser usada para el lavado de zonas duras y del mismo

tanque, ya que por medio de ciertas pruebas de laboratorio realizadas, se determinó que el agua recolectada no contaba con las características necesarias para ser usadas en actividades de riego, agrícolas, en duchas y en sanitarios sin un tratamiento previo [45].

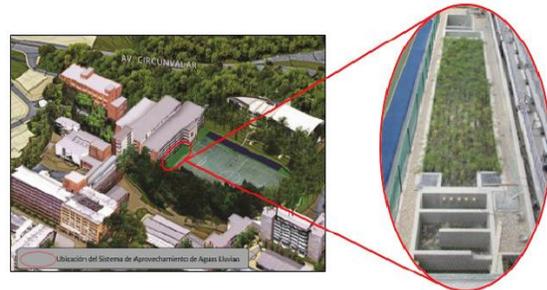


Figura 9. Ubicación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, Pontificia Universidad Javeriana.

Fuente: [45]

Anterior proyecto se le sumó la intervención realizada al Parque San Cristóbal ubicado en el suroriente de Bogotá, en la localidad de San Cristóbal, ya que por medio del proyecto Piloto SUDS (convenio establecido entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) se intervino con el objetivo de darle un manejo adecuado a la escorrentía superficial recibida, haciendo uso de las distintas tipologías existentes, teniendo en cuenta las características propias de

la zona; el sistema está compuesto por una tubería que recoge la escorrentía recolectada por el alcantarillado pluvial existente y la transporta hacia una cuneta verde, la que es retenida, infiltrada una fracción del agua y la restante transportada hasta una cuenca seca de drenaje extendida, en la que esta es almacenada temporalmente para luego ser entregada al río Fucha situado a un costado del parque; este sistema se encuentra en monitoreo, para determinar los beneficios del mismo [46]; en sistema mencionado se puede apreciar en la Figura 10.



Figura 10. Cuenca seca de drenaje extendida – parque San Cristóbal.

Fuente: [46]

Además de estos, se rescatan algunos casos en los que se han implementado algunas tipologías individuales que a pesar de no haber sido pensadas en un principio como SUDS, cumplen con las filosofía de estos sistemas, como lo son el parque Metropolitano Simón Bolívar y el Metropolitano Timiza, los cuales poseen lagos artificiales que funcionan como estanques húmedos, una de las tantas tipologías de SUDS [47] y la presa seca de retención de Cantarrana, con la cual se minimiza el riesgo a inundaciones por las crecientes presentadas en el río Tunjuelo y también funciona como sitio turístico [48]. Además de las aplicaciones ya mencionadas, los SUDS cuentan con algunas normativas y lineamientos como el “The SuDS manual” [36] a nivel mundial, el cual ha sido base para varias de las guías o lineamientos referentes al tema, la “Resolución 0330 del 08 de junio del 2017” [32] y “50 Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS” [49] a nivel nacional y la “EAAB-Norma Técnica, NS-166 – Criterios

para diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)” [50] a nivel regional.

Conclusiones

El aprovechamiento del agua lluvia jugó un papel importante para la subsistencia de la humanidad desde la antigüedad y a pesar de perder gran auge con el surgimiento de las redes de acueducto y la accesibilidad al agua potable que estos brindaban, en la actualidad con las distintas problemáticas medioambientales y la necesidad de brindar soluciones de manera eficaz, ha resurgido, ahora más tecnificado y con múltiples tipologías que se adaptan a las condiciones específicas de cada zona a tratar, que además de aumentar su utilidad dan un plus paisajístico en los entornos aplicados.

Hoy en día se puede observar la aplicación de estos sistemas en distintos países a nivel mundial, en los cuales se han realizado tanto

nuevos proyectos, como el mejoramiento de proyectos existentes que contaban con problemáticas entorno al manejo inadecuado de la escorrentía, los cuales afectaban a los habitantes de la zona y sus alrededores y luego de ser intervenidas se pudo apreciar los beneficios que estas técnicas trajeron para los distintos entornos, haciendo notable la eficacia de las tipologías implementadas en cada caso y por ende de los SUDS en general.

Aunque este tipo de sistemas toman cada vez más fuerza, su implementación tanto a nivel nacional como a nivel regional es muy escasa, por ende, es necesario además de tomar conciencia sobre la necesidad de emplear técnicas sostenibles que no solo brinden una solución inmediata a las problemáticas que se presenten, sino que también la den a largo plazo y no generen repercusiones negativas para el medio ambiente en el futuro, investigar más a profundidad sobre las tipologías que más se adaptan a las características y necesidades de esta zona y los beneficios particulares que traerían la implementación de estas que como ya se ha visto en otros casos, pueden ser muchos.

Referencias

- [1] S.M. Charlesworth, L.A. Sañudo Fontaneda y L. W. Mays, "Back to the Future? History and Contemporary", de *Sustainable surface water management: A handbook for SUDS*, Coventry, Wiley Blackwell, 2016, pp. 11-30
- [2] A. Rodríguez Arbelo, *SUDS: Hacia una gestión integral del ciclo urbano del agua*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2017
- [3] L.J. Franco Calderón, *Elementos convencionales y no convencionales para la captación del drenaje urbano de aguas lluvias*, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2015
- [4] L.F. Ródriguez Yepes, *Revisión bibliográfica los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*, Bogotá: Universidad de los Andes, 2011
- [5] J. Amestoy Alonso, *Planeta tierra en peligro: calentamiento global, cambio climático y soluciones*, Editorial ECU, 2013
- [6] E. D. Cubides y G.E. Santos, "Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración"» *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, n° 24, pp. 32-42, 2018
- [7] G. Martínez Candelo, *Sistemas urbanos de drenaje sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la Ciudad de Palmira*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014
- [8] M.P. Molina León, L. Gutiérrez y J. Salazar, *Documento técnico de soporte SUDS "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte POZN*, Bogotá: Secretaría Distrital del Ambiente, 2011
- [9] L.A. Sañudo Fontaneda, J. Rodríguez Hernández y D. Castro Fresno, *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*, 2012-2013 ed., Cantabria: Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cantabria., 2012, p. 149
- [10] C.A. Bonilla Granados, J.C. Barrera Triviño y G. Cifuentes Ospina, "Una revisión sistemática del monitoreo de Aguas Residuales y sus aplicaciones en

- sistemas de drenaje urbano", *Respuestas*, Vol. 24, N°3, pp. 54-64, 2019
- [11] S. Perales Momparler y I. A. Doménech, "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua lluvia", *Equipamiento y servicios municipales*, n° 133, pp. 66-77, Enero 2007
- [12] T.D. Fletcher, W. Shuster, W.F. Hunt, R. Ashley, D. Butler, S. Arthur, S. Trowsdale, S. Barraud, A. Semadeni-Davie, J.-L. Bertrand-Krajewski, P. S. Mikkelsen, G. Rivard, M. Uhl, D. Dagenais y M. Viklander, "SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainag", *Urban Water Journal*, vol. 12, n° 7, pp. 525-542, 2015
- [13] E.A. Camargo Ramírez y J. Lozada Chamorro, "Diseño de Sistema Urbano de Drenaje Sostenible en Bogotá, Calle 127 con autopista Norte" 2018
- [14] H.G. Almudena, "El proceso de neotilización, perspectivas teóricas para el estudio del Neolítico", *ZEPHYRUS*, vol. 46, pp. 123-142, 1993
- [15] I. Fernández Pérez, Aprovechamiento de aguas pluviales, Catalunya: Universidad Politecnica de Catalunya, 2009
- [16] A. Negev y S. Gibson, archaeological encyclopedia of the holy land, Ilustrada Revisada ed., 2005, p. 332
- [17] M. Anaya Garduño, Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe, México : Agencia de Cooperación Técnica IICA-MEXICO, 1998
- [18] R. Torres Hugues, "La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XL, n° 2, pp. 125-139, 2019
- [19] J.A. Ballén Suárez, M. Á. Galarza García y R. O. Ortió Mosquera, "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia", VI SEREA - *Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*, Brasil, 2006
- [20] M. Box Amorós, "Un aprovisionamiento tradicional de agua en el Sureste Iberico: Los Aljibes", *Revistas - Investigaciones Geográficas*, n° 13, pp. 91-106, 1995
- [21] M. Basán Nickisch, L. Sánchez, R. Tosolini, F. Tejerina Díaz y P. Jordan, "Sistemas de captación de agua lluvia para el consumo humano, sinónimo de agua segura", *Aqua-LAC*, vol. 10, n° 1, pp. 15-25, 2018
- [22] L. Reklaityte, "Importancia y aprovechamiento del agua en el mundo medieval islámico,» Saldvie", *Estudios de prehistoria y arqueología*, n° 7, pp. 159-174, 2007
- [23] Ayuntamiento de Cáceres, 2020. [En línea]. Available: <https://www.ayto-caceres.es/>
- [24] V.L. Scarborough, "Ecología y ritual: gestión del agua y los mayas", *Cambridge University*, vol. 9, n° 2, pp. 135-159, 2017.
- [25] L.J. Cole, "The Caverns and People of Northern Yucatan". *The Caverns and People of Northern Yucatan. Bulletin of the American*, vol. 42, n° 5, pp. 321-336, 1910.
- [26] A. Flores Nava, "Some limnological data from five water bodies of Yucatan as a basis for aquaculture development",

- Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* - UNAM, vol. 21, nº 1-2, pp. 87-98, 1994
- [27] R. Pérez Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras, Primera ed., ECOE EDICIONES, 2013
- [28] Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., "¿Cuánta agua hay en el planeta?", 2020
- [29] Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, "Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo", 2018
- [30] J.W. Davies y S.M. Charlesworth, "Urbanisation and Stormwater," de *Recursos hídricos en el entorno construido: problemas de gestión y soluciones*, Coventry, Wiley Blackwell, 2014, pp. 211-222
- [31] J. Rodríguez Bayón, J. Rodríguez Hernández, E. Gómez Ullate Fuente y D. Castro Fresno, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. SUDS, Universidad de Cantabria, 2009
- [32] Ministerio de vivienda, RESOLUCIÓN 0330 DEL 08 DE JUNIO DEL 2017, 2017, p. 94
- [33] D. Castro Fresno, J. Rodríguez Bayón, J. Rodríguez Hernández y F. Ballester Muñoz, "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)", *Interciencia*, vol. 30, nº 5, pp. 255-260, 2005
- [34] Ministerio para la Transición Ecológica, "GUÍAS DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN: SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE", 2019
- [35] Asamblea General de las Naciones Unidas, "Informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo: nuestro futuro común" 1987
- [36] CIRIA, The SuDS manual, Londres: CIRIA, 2007.
- [37] C. Pratt, "A new Scottish approach to urban drainage in Dunfermline developments", *Conferencia Permanente sobre Control de Fuentes de Aguas Pluviales*, Coventry, Reino Unido., United Kingdom, 1997
- [38] NU.CEPAL, La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales, CEPAL, 2019.
- [39] J. Anta, J. Puertas Agudo, J. Suárez Lopez, H. Del Río Cambeses y D. Hernáez Oubiña, "Gestión de las aguas pluviales en ámbito urbano: Las técnicas de drenaje urbano sostenible", de *Río Mandeo, cuenca fluvial y desarrollo sostenible*, España, A Coruña: Diputación de A Coruña, 2012, pp. 381-398.
- [40] S.J. Coupe, A. Faraj, E. O. Nnadi y S. Charlesworth, "Sistemas integrados de drenaje urbano sostenible", *Eficiencia del agua en edificios: teoría y práctica*, K. Adeyeye, Ed., John Wiley & Sons, Ltd., 2014, pp. 147-163.
- [41] City of Melbourne, «Green our city strategic action plan 2017-2021: Vertical and rooftop greening in Melbourne,» Junio 2017. [En línea].
- [42] Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible S.I., "Parque Gomeznarro" SUDS S.I, Madrid, 2003.
- [43] C. Saraswat, P. Kumar y B. Kumar

- Mishra, "Evaluación de las prácticas de gestión y gobernanza de la escorrentía de aguas pluviales bajo el cambio climático y la urbanización: un análisis de Bangkok, Hanoi y Tokio", *Environmental Science & Policy*, vol. 64, pp. 100-117, 2016
- [44] H.D. Amorocho Daza, Estructuras SUDS para países tropicales con intensidades de lluvia altas - ¿cuáles son las más apropiadas?, Bogotá: Universidad de los Andes, 2016.
- [45] R.A. León Ramirez y C. Ardila Quintero, Determinación del potencial de aprovechamiento del agua lluvia afluente y efluente al humedal construido en el costado norte del campo de fútbol en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013
- [46]] Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad de los Andes, "Diseño detallado para la construcción y monitoreo de los pilotos de SUDS y TDR", Universidad de los Andes, Bogotá, 2017
- [47] J. D. Durán Córdoba , Descripción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones, Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, 2016
- [48] Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad de los Andes, "Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C" Universidad de los Andes, Bogotá, 2015
- [49] Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 50 Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS, Bogotá, 2018.
- [50] EAAB-Norma Técnica, NS-166: Criterios para diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), Bogotá, 2018.