

IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJES SOSTENIBLES (SUDS)
VIABLES EN LAS ZONAS DE AV. 40 SUBNIVEL VILLACENTRO Y ROUND POINT DE
POSTOBÓN EN VILLAVICENCIO, META.



MARIA CAMILA REY QUEVEDO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJES SOSTENIBLES (SUDS)
VIABLES EN LAS ZONAS DE AV. 40 SUBNIVEL VILLACENTRO Y ROUND POINT DE
POSTOBÓN EN VILLAVICENCIO, META

MARIA CAMILA REY QUEVEDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Civil

Asesor

IVÁN DARÍO ACOSTA SABOGAL

Ingeniero Civil. Esp. Mg(c).

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

Fray, José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

Fray, Eduardo GONZÁLEZ GIL O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

A Dios y la Virgen, que me dieron fortaleza y sabiduría para afrontar los obstáculos que se me presentaron en el camino.

Mami, un logro más gracias a ti. Por enseñarme que juntas somos capaces de todo. Por ser la persona más alentadora e incondicional. Por tu esfuerzo y mucho más, mil gracias. Te amo.

A mis amigos pasados y presentes, que me apoyaron día a día, brindándome una mano amiga cuando más lo necesitaba, y permitirme aprender más de la vida a su lado.

Contenido

	Pág.
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. Formulación del Problema	13
2. Objetivos	16
2.1. General	16
2.2. Específicos	16
3. Justificación.....	17
4. Estado del arte	19
4.1. Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones	19
4.2. Sistemas urbanos de drenaje sostenible “SUDS” como alternativa de regulación y control de inundaciones en Nechí un municipio de la Mojana.	19
4.3. Investigación para el desarrollo de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la ciudad de Bogotá.....	20
4.4. SUDS en el Parque de Gomeznarro (Madrid).....	20
4.5. Bio Campus Mediterránea. Ecología y cultura en los entornos de aprendizaje – Barcelona.	21
5. Metodología.....	22
5.1. Tipo de investigación	22
5.1.1 Definición de los puntos de estudio	23
5.1.2 Etapa de conocimiento.....	24
5.1.3 Etapa diagnóstica	24
6. Determinantes naturales en las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro y el round point de Postobón	25
7. Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).....	30
7.1. Cambio climático	30
7.2. SUDS.....	31

7.3.	Tipologías de SUDS.....	32
7.3.1	Medidas estructurales.....	33
7.3.2	Medidas no estructurales.....	43
7.4.	Ventajas y desventajas de los SUDS.....	46
8.	RECOMENDACIONES DE POSIBLES SOLUCIONES EN LAS ZONAS DE ESTUDIO	48
8.1.	SUDS RECOMENDADOS	48
8.1.1	Concreto permeable	48
8.1.2	Cunetas verdes	49
8.1.3	Pozos de infiltración	49
8.1.4	SUDS no estructurales	50
8.2.	RECOMENDACIONES GENERALES.....	51
9.	Resultados e impacto.....	52
10.	Conclusiones.....	53
11.	Referencias bibliográficas.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Afectaciones por precipitaciones en las zonas a analizar.	15
Tabla 2. Clasificación de algunos SUDS por medidas estructurales.	33
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los SUDS.	46
Tabla 4. Resultados esperados.	52
Tabla 5. Impacto esperado.	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación de las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro e intersección de la Carrera 33 con Calle 15 round point de Postobón	13
Figura 2. Mapa de lluvia promedio anual de Colombia.	14
Figura 3. Mapas de precipitación y número de días con lluvia del mes de junio registrados por el IDEAM para el 2021.....	25
Figura 4. Zona de amenazas de inundación Avenida 40 subnivel Villacentro.....	26
Figura 5. Distancia de caño Buque a Subnivel Villacentro.	27
Figura 6. Zonas de estudio.....	27
Figura 7. Perfil de inclinación de la Avenida 40.	28
Figura 8. Perfil de inclinación de la Calle 15.	29
Figura 9. Zona de amenazas de inundación round point Postobón.	29
Figura 10. Ruptura del ciclo del agua debido a la urbanización de cuencas.	31
Figura 11. Aumento de la filtración de agua subterránea mediante la implementación de SUDS.	32
Figura 12. Objetivos de los SUDS.....	32
Figura 13. Esquema de pozo de infiltración.	34
Figura 14. Zanja de infiltración.	34
Figura 15. Esquema de cunetas verdes.	35
Figura 16. Esquema de un dren filtrante.....	36
Figura 17. Centro Comunitario para Persona Mayores en Cardedeu, España.....	37
Figura 18. Techos de césped con 45° de inclinación, Siegen-Oberscheiden (Alemania).	38
Figura 19. Franja filtrante.	39
Figura 20. Diferencias entre un pavimento permeable e impermeable.	40
Figura 21. Jardín urbano de bioretención.	41
Figura 22. Esquema de los elementos principales de un estanque de detención.	42
Figura 23. Depósito superficial de detención.	43
Figura 24. Plano Servicios Públicos Domiciliarios Alcantarillado de Villavicencio.	48

Resumen

Esta monografía consiste en identificar una serie de sistemas urbanos de drenaje fundamentados en el desarrollo sostenible de las urbanizaciones, buscando al mismo tiempo la mejor solución para evitar problemáticas como las inundaciones en poblaciones en las cuales se implementen dichas técnicas.

Esta idea nació con el fin de describir cómo trabajan algunos sistemas de drenaje urbano y que mecanismos utilizan para controlar o mantener al margen la escorrentía superficial que puede ocasionar inundaciones cuando se presentan fuertes precipitaciones o altos picos de escorrentía urbana en zonas con poca permeabilización.

Palabras Clave: Desarrollo sostenible, Drenaje, Escorrentía, Inundación, Sistemas, Urbanización.

Abstract

This monograph consists of describing a series of urban drainage systems based on the sustainable development of urbanizations, seeking at the same time to avoid problems such as floods in populations in which these techniques are implemented.

This idea was born in order to describe how some urban drainage systems work and what mechanisms they use to control or keep out the surface runoff that can cause floods when there are heavy rainfall or high urban runoff peaks in areas with little permeabilization.

Key Word- Flood, Runoff, Sewer system, Sustainable development, Systems, Urbanization.

Introducción

Las ciudades en una búsqueda constante de desarrollo generan un crecimiento urbano irregular, por lo cual se convierten en ciudades no planificadas urbanísticamente; los sistemas de drenajes convencionales instalados actualmente no satisfacen las condiciones básicas en algunos casos, contribuyendo a que se generen grandes caudales de escorrentías urbanas causados principalmente por el agua de las precipitaciones.

El clima de Villavicencio es cálido- húmedo y el promedio de precipitación anual es de 4.524 mm durante el año según reportes del grupo de Climatología y Agrometeorología que está bajo la subdirección de Meteorología del IDEAM. Presenta una temporada seca y una temporada de lluvias; la temporada seca se extiende de diciembre a marzo. En estos meses llueve entre 10 a 16 días al mes; De abril a noviembre se presenta la temporada de mayores lluvias; la frecuencia de días lluviosos en estos meses es de 20 a 24 (IDEAM), 2021).

Según el plan de ordenamiento territorial POT de Villavicencio acuerdo 287 de 2015 en el artículo 41º define el grado de amenaza por inundación en altas, medias y bajas, las zonas de inundación se ven reflejadas a las laderas de los ríos y caños con probabilidades de inundaciones por desbordamientos por altas precipitaciones; la zona de la Avenida.40 subnivel Villacentro se encuentra clasificada como amenaza alta y media. La zona del round point de Postobón está clasificada como amenaza baja, pero cuando se presentan fuertes precipitaciones se potencializan represamientos pluviales, adicional a eso se le atribuye la participación humana en la contaminación ambiental por medio de los desechos que son arrojados a las calles; los cuales obstruyen los sistemas urbanos de drenajes convencionales.

Las ciudades actuales se han desarrollado a través del tiempo en modelos de planificación urbana un poco rústicas sin mayor vegetación, al contrario de los nuevos modelos que se han desarrollado durante las últimas décadas con mayor participación ambiental sostenible, aprovechando y potencializando cada recurso natural como lo son las aguas pluviales.

Por tal razón la presencia de vegetación es de gran relevancia para obtener un buen grado de penetración, lo cual también dependerá de la permeabilidad de la superficie del suelo y la

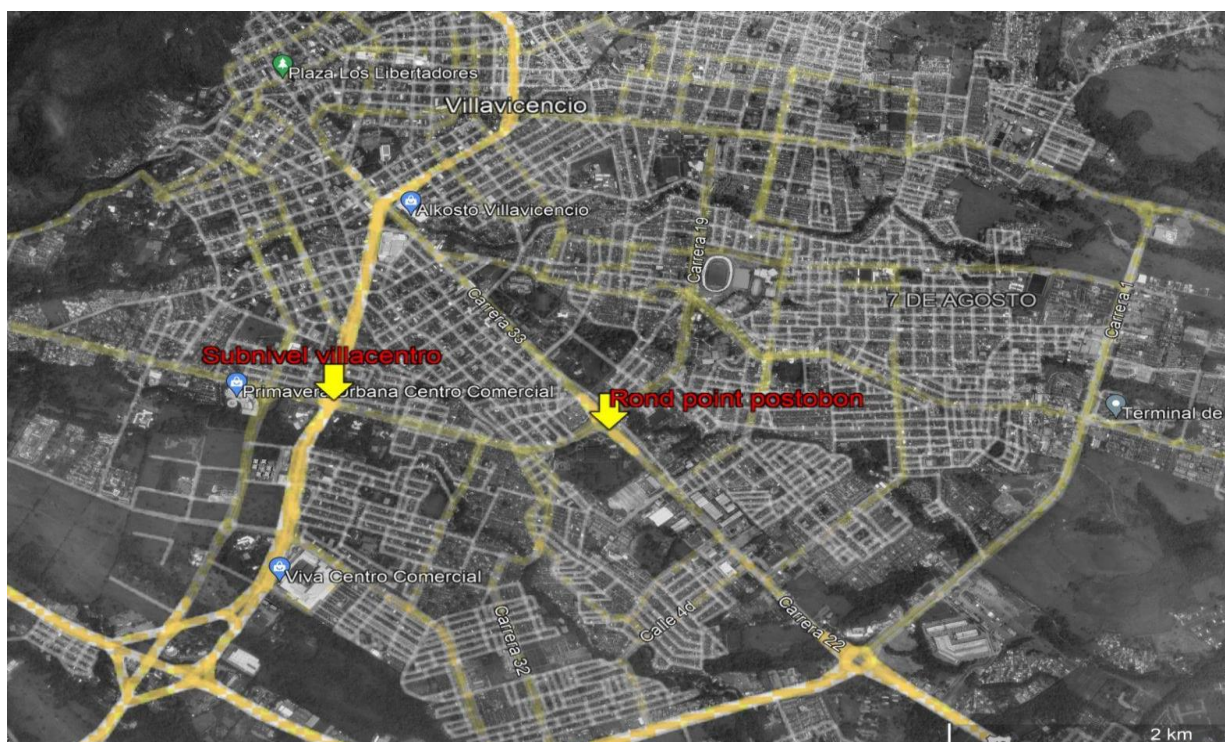
topografía del lugar, a mayor vegetación se disminuirán las inundaciones y represamientos de agua lluvia.

Basándose en lo anterior se crea este documento que pretende identificar y brindar una solución a dicha problemática, de forma concisa y ordenada mediante diversos sistemas urbanos de drenaje sostenible, tales como: zanjas, pozos, cunetas, franjas filtrantes, mostrando su función principal, sus ventajas, desventajas y cómo contribuyen a las zonas de la Avenida. 40 subnivel Villacentro y round point de Postobón, en la ciudad de Villavicencio, estos espacios serían sostenibles y aportarán un toque adicional educativo, estético y recreacional.

1. Formulación del Problema

Villavicencio – Meta cuenta con una problemática en el control de las aguas de escorrentía que producen inundaciones en diferentes puntos del municipio, como en las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro y la intersección de la Carrera 33 con Calle 15 de la Avenida circunvalar más conocido como Glorieta de Postobón; esto debido a su clima cálido-húmedo y sus “altas precipitaciones anuales de 4.524 mm” (IDEAM), (2021).

Figura 1. Ubicación de las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro e intersección de la Carrera 33 con Calle 15 round point de Postobón

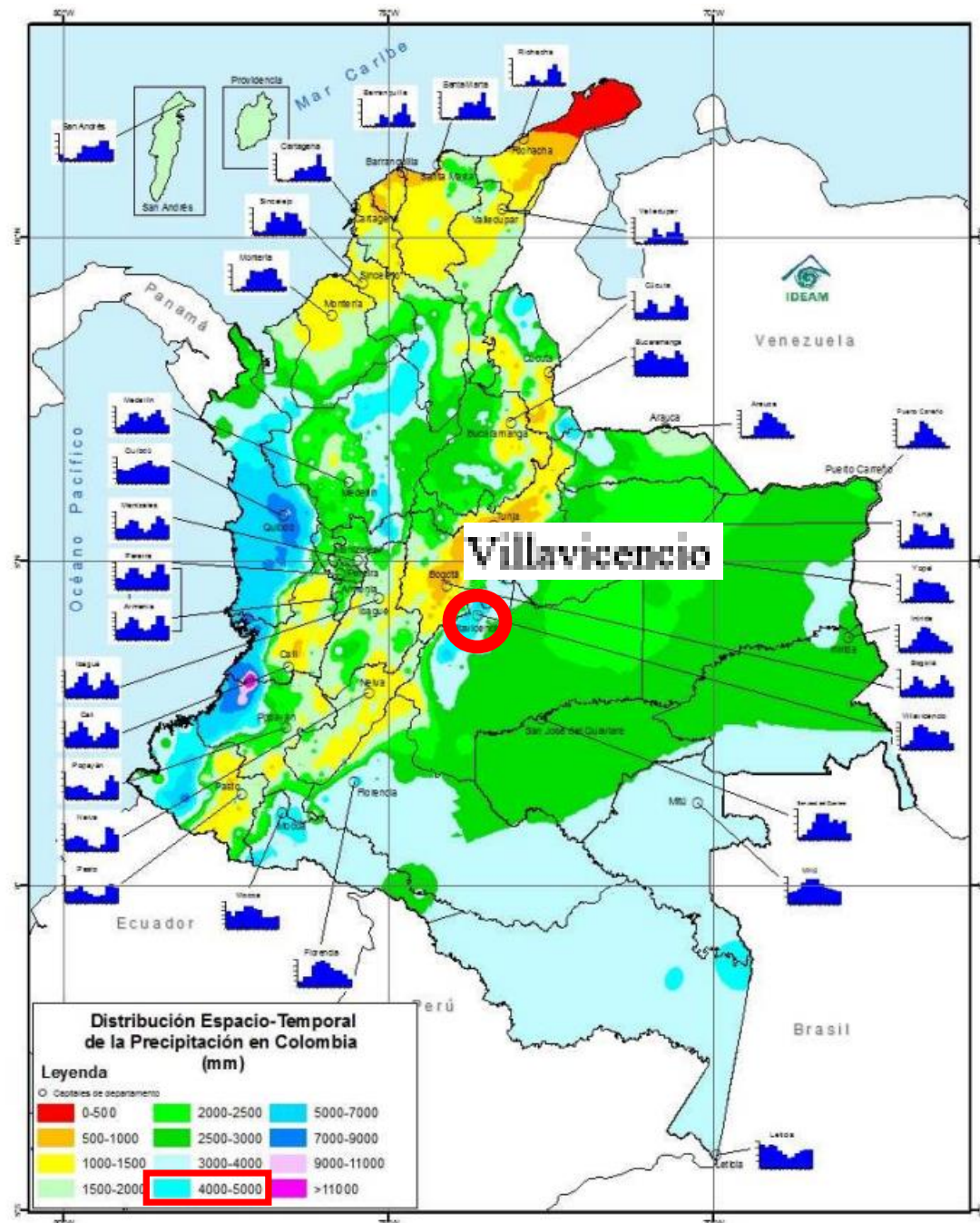


Nota. Adaptado de (Google Maps, 2019)

La precipitación anual registrada en Villavicencio para el año 2021 fue de 4.524 mm, donde el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) que es la entidad encargada del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia registró que entre los meses de abril a noviembre se presenta la temporada de mayores lluvias en Villavicencio y la frecuencia de días lluviosos en estos meses

es de 20 a 24; lo que quiere decir que llueve gran parte del año ocasionando represamientos de agua e inundaciones en las calles de la capital del Meta.

Figura 2. Mapa de lluvia promedio anual de Colombia.



Nota. Adaptado de (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2021)

Estas inundaciones traen consigo problemas de movilidad y posibles accidentes de tránsito para los villavicensenses, sin dejar de lado el colapso de los sistemas de alcantarillado que reporta la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV, 2020), quienes revelaron que en épocas de lluvia se extraen toneladas de desechos y residuos sólidos de los sumideros y alcantarillas del municipio, esto debido a la poca cultura de algunos ciudadanos que arrojan desperdicios a las calles, colmatando el sistema de alcantarillado ocasionando así mismo grandes arroyos en calles y avenidas; por esta razón una buena estrategia sería la adecuación de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) para la mitigación de posibles inundaciones.

En la **Tabla 1** se evidencian las afectaciones de cada zona:

Tabla 1. *Afectaciones por precipitaciones en las zonas a analizar.*

Zona de la Avenida 40 hacia el subnivel de Villacentro afectada por las aguas lluvias	Zona del round point de Postobón afectado por las aguas lluvias
	

Nota. Adaptado de (Asoma solución a ‘laguna’ de agua lluvia que se forma en glorieta de Villavicencio (Noticiero Macarena), 2021)

Cabe resaltar que en el round point de Postobón al ser una intersección entre cuatro vías se realiza una descarga de agua traída de sus corredores viales por pendiente.

2. Objetivos

2.1. General

Identificar y proponer un tipo de sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) que se adapte a las condiciones naturales y contribuya a la reducción del vertido final de agua, causado por precipitaciones en la Avenida 40 subnivel Villacentro y la Avenida circunvalar que intercepta la Carrera 33 con la Calle 15 (Glorieta de Postobón) del municipio de Villavicencio.

2.2. Específicos

- Determinar las condiciones que afectan el drenaje de las zonas, y así mismo encontrar estrategias y soluciones no convencionales.
- Conocer los diferentes beneficios, ventajas y desventajas que poseen los sistemas de drenaje al ser implementados
- Analizar e identificar los diversos sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), los cuales se ajusten a las características naturales de cada zona
- Plantear la mejor estrategia de intervención, para corregir de manera eficiente las áreas poco permeables de la Avenida 40 subnivel Villacentro y la Glorieta de Postobón del Municipio de Villavicencio-Meta.

3. Justificación

El municipio de Villavicencio está en un desarrollo económico potencial a nivel nacional según Plan Sectorial de Turismo 2011-2021 del Instituto de Turismo de Villavicencio, se ha generado una imagen positiva de su geografía por estar cerca de la capital del país, por su gastronomía, cultura, ganadería, agricultura y por supuesto su gente.

La Avenida 40 es un eje vial importante del municipio de Villavicencio, dado que es una de las principales avenidas, ya que tiene la capacidad de atravesar una gran extensión de área del municipio y conectar con otras calles y avenidas de gran impacto en la malla vial de la capital del Meta, adicional a esto conlleva al subnivel de Villacentro, el cual conecta con varios centros comerciales y entidades financieras que aportan a la economía del municipio. Por otro lado, el round point de Postobón cumple la función de comunicar la Calle 15 con la Carrera 33 (vía Puerto López) sin interrumpir la movilidad, este sector está clasificado según el POT de Villavicencio acuerdo 287 de 2015 en el plano de actividad de suelo urbano, como área de Actividad moderada, lo que quiere decir que es una zona de bajo y mediano impacto esto debido a la cercanía con compañías como Postobón, Coca-Cola, concesionario Casa Toro Renault, Centro Comercial Único y entidades escolares.

Estas dos zonas son fundamentales en la movilidad del municipio, y por eso se requiere una respuesta óptima, frente a la problemática en el control de la cantidad de las aguas de escorrentía superficial e inundaciones que se presenta en la capital del Meta. La idea principal es realizar una clasificación de los SUDS, logrando identificar el mejor sistema de drenaje no convencional que brinde a los villavicensenses una solución más óptima en la captación de agua, encaminada a un sistema sostenible y amigable con el ambiente, que ayude a evitar problemas de inundaciones la cual conlleva a deficiencias en la movilidad, transporte y cultura en el municipio.

Adicional a esto, aliviará la saturación de los sistemas de alcantarillados dado que la escorrentía superficial que producen las precipitaciones en la ciudad, muchas veces arrastra basuras perjudicando el medio ambiente y el mismo alcantarillado, dado que se llegan a recolectar más de

70 toneladas en el sistema, según reportes de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV, 2020) (Alcaldía de Villavicencio, 2020).

En busca de una solución a las problemáticas mencionadas anteriormente, se evaluarán las ventajas que trae la implementación de los SUDS en la capital del Meta y así mejorar la calidad de vida de los residentes de este municipio.

4. Estado del arte

Los SUDS juegan un papel importante en el adecuado crecimiento urbanístico que presentan las ciudades hoy en día, Por ello es importante conocer y reconocer los diferentes SUDS que existen, es importante estar al tanto sobre todos los estudios y avances que se han llevado a cabo acerca de este tema en cuanto a contexto nacional e internacional se refiere. El estudio de los SUDS y aplicación e implementación de estos tiene gran fuerza en diferentes países, sin embargo, en nuestro país, el uso de este tipo de tecnología no ha tenido la oportunidad de ser tomada en cuenta.

4.1. Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones

Se realizó la definición de las fuentes de información, de tal manera que se tuviese certeza de que se contaba con fuentes serias y verídicas, para poder desarrollar la monografía, para esto se consultó en sitios web, seminarios y artículos especializados en el tema. Seguido a esto, la información fue clasificada según su contexto informativo para así obtener el documento final.

4.2. Sistemas urbanos de drenaje sostenible “SUDS” como alternativa de regulación y control de inundaciones en Nechí un municipio de la Mojana.

Se realizó un estudio de las diferentes alternativas de control y regulación de las diferentes tecnologías que existen en los SUDS. Este estudio presenta alternativas de mitigación a la problemática generada por las inundaciones que son causadas por las fuertes precipitaciones; problemáticas que pueden ser solucionadas por medio de la implementación de los diferentes tipos de SUDS, y así mismo, dar un manejo adecuado y óptimo a los excesos de escorrentía superficial provenientes de las precipitaciones.

De acuerdo con las conclusiones de este trabajo, dadas las características climatológicas y geográficas del municipio de Villavicencio, se describen las cunetas verdes como un SUDS viable para ser implementadas en las zonas de estudio, aprovechando el parque lineal de la Avenida 40 y el separador vial de la Calle 15 Avenida Circunvalar.

4.3. Investigación para el desarrollo de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la ciudad de Bogotá

Se propusieron medidas aplicables para la captación de aguas lluvias y residuales que fuesen consecuentes con las condiciones económicas y políticas de la ciudad de Bogotá, y así mismo realizó un marco investigativo donde se mostró la capacidad para construir un sistema de drenaje urbano para diferentes sectores de Bogotá.

En los últimos años, el mundo ha buscado la manera de crear diversos sistemas que contribuyan a la mejora continua del medio ambiente. A nivel mundial los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) se han destacado por ser sistemas encaminados a la sostenibilidad, la ecología, la reutilización del agua y hasta la mejoría en zonas paisajísticas creando entornos agradables en los lugares donde son implementados.

4.4. SUDS en el Parque de Gomeznarro (Madrid)

Un ejemplo donde se aplican todas las cualidades nombradas anteriormente es la implementación de un sistema urbano de drenaje en el Parque de Gomeznarro en Madrid – España. La remodelación del parque incluyó la implantación de un SUDS, que sustituyó el pavimento impermeable existente por uno de tipo permeable, que contribuyó a mejorar la elevada erosión que presentaba la escorrentía urbana del parque, lo que a su vez provocaba un deterioro paisajístico. Adicional a esto se incorporó un sistema de captación, transporte y distribución de agua pluvial, que comunica con diferentes depósitos de infiltración, los cuales posteriormente son utilizados para el riego y mantenimiento del mismo parque. Después de un año de funcionamiento se corroboraron mejoras como la desaparición notoria de escorrentías superficiales y encharcamientos; también se consiguió un ahorro económico en los gastos de mantenimiento y sostenimiento del parque, y se incrementó el valor paisajístico y ambiental del sector.

En este caso del parque de Gomeznarro (Madrid) se tiene una similitud con las dos zonas a intervenir, ya que presentaba problemas de escorrentías por la presencia de grandes pendientes

longitudinales y transversales, lo cual mediante los pavimentos permeables se logró mitigar la problemática de zona.

4.5. Bio Campus Mediterránea. Ecología y cultura en los entornos de aprendizaje – Barcelona.

En la ciudad de Barcelona - España se desarrolló un proyecto denominado "Bio Campus Mediterránea. Ecología y cultura en los entornos de aprendizaje" con el fin principal de educar y sensibilizar en materia de sostenibilidad mediante la implementación de un SUDS en una zona urbana de un campus.

Este sistema implementado, inició con la instalación de dos depósitos donde el agua lluvia es almacenada en una pequeña parte de las azoteas que posee el campus, el plus de este proyecto es que el agua recolectada a futuro, es utilizada para el riego de un pequeño huerto que suple algunas necesidades básicas de alimentación del instituto donde se ejecuta el proyecto. Con esto se cumple una doble función: se evita que parte del agua limpia de la precipitación se convierta en escorrentía superficial que lleguen a colapsar alcantarillados y también sirve para que el personal del campus supla las necesidades hídricas del huerto.

Adicional a esto, se propuso que la recolección de agua lluvia fuera extendida para la previa construcción de un estanque de pluviales con un hábitat adecuado para anfibios, dado que dichas especies en esa zona se encuentran en peligro de extinción.

Este es un claro ejemplo de que los SUDS no solo funcionan de manera óptima para la solución de problemas causados por la escorrentía urbana, sino que además contribuyen a un entorno civil sin consumo de agua de abastecimiento, generando pequeños ecosistemas y educando en sostenibilidad. Factores que perfectamente pueden replicarse perfectamente en las zonas de la Av.40 subnivel y el round point de Postobón de la ciudad de Villavicencio.

5. Metodología

En esta monografía se realiza la revisión bibliográfica de diversos documentos de investigación referentes a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible teniendo en cuenta que cuenten con los siguientes requisitos:

Autoridad: Donde se identifique al responsable intelectual y se verifique el grado de autoridad para tratar el tema.

Actualidad: Donde revise la fecha de creación de la información, buscando que la misma sea lo más actualizada posible.

Rigor: En este criterio se tendrá en cuenta que la información encontrada sea precisa, exacta y relevante, en lo posible que esté dirigida a una audiencia académica y que además incluya bibliografía y/o haga referencias a otras fuentes.

Cobertura: Donde se refiere a la cantidad de información presentada y a los temas que trata, es decir, el nivel de profundidad del tema que se busca, la adecuación al objetivo y la originalidad de los aportes.

Objetividad: Por último, se verificará que en la información encontrada no haya publicidad encubierta y que no se presente información sesgada o sin estructura.

La información a la cual se le aplicarán los criterios nombrados anteriormente será buscada en sitios web que proporcionen artículos, seminarios, revistas, documentos, entre otros para que seguidamente sea estudiada y asociada.

5.1. Tipo de investigación

En esta monografía se realizó una investigación descriptiva, de revisión documental, teniendo en cuenta que se cumplan con los criterios descritos en el punto anterior.

La recolección de información fue realizada la mayor parte con documentación investigativa de ámbito internacional, ya que en Colombia los SUDS son sistemas con enfoques nuevos y diferentes en la construcción de este país. El primer caso de aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible se rigió por el decreto 043 de 2010 el cuál expedido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

También se aclara que al ser una monografía de carácter teórico no se presentan resultados de pruebas de laboratorio, ni tampoco se muestran valores de costos para estimar la viabilidad de implementación de sistemas de drenaje sostenible, en comparaciones con los sistemas de drenaje convencionales utilizados en el municipio de Villavicencio.

5.1.1 Definición de los puntos de estudio

La Avenida 40 de Villavicencio al atravesar gran parte del municipio, es capaz de conectar no solo con diversos centros de entretenimiento, entidades financieras, escolares, entre otros, sino que también es un punto de encuentro (siendo más específicos en el subnivel de Villacentro) de escorrentía superficial, cuando se presentan fuertes o medianas precipitaciones en diversos meses del año. Esto mismo, sucede con el punto que conecta la Carrera 33 con la Calle 15 de la Avenida Circunvalar, es decir, en el round point Postobón, dado que es el punto de encuentro de cuatro entradas y/o salidas de las cuales tres de ellas cuentan con perfiles de inclinación que indican que la escorrentía superficial, se desplaza hasta el round point siendo este el punto más bajo de la pendiente de las calles.

Exhibiendo las características referentes al terreno, la climatología del municipio y las problemáticas mencionadas, la Avenida 40 subnivel Villacentro y el round point Postobón, son puntos específicos que pueden ser seleccionados para la implementación de SUDS, ya que esto soluciona la problemática de inundaciones y movilidad que se presenta cuando hay precipitaciones, además implementar medidas sostenibles que contribuyen no solo con el medio ambiente, sino además con el desarrollo de nuevas formas de construcción.

5.1.2 *Etapas de conocimiento*

En esta etapa se realiza la selección de documentación para entender el concepto y escenarios convenientes para la implementación de los SUDS, comprendiendo que existen diversas tipologías de estos sistemas para luego seleccionar las más óptimas.

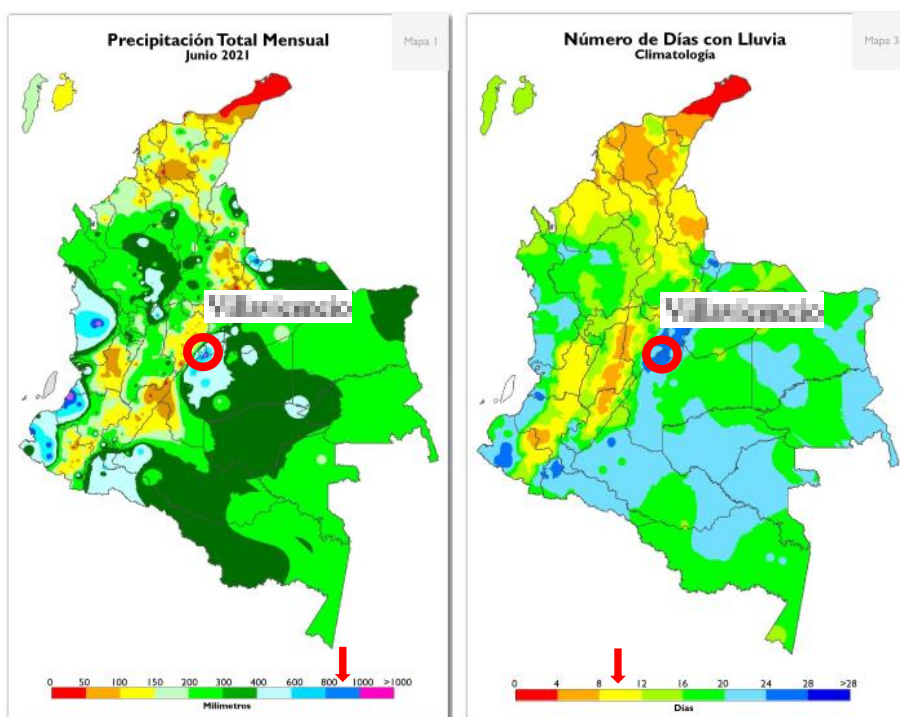
5.1.3 *Etapas diagnósticas*

Para esta etapa se estima la elaboración de un análisis de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, identificando las ventajas y desventajas de los sistemas escogidos, para la implementación en los dos puntos del municipio que fueron seleccionados debido a las problemáticas mencionadas al inicio de este documento.

6. Determinantes naturales en las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro y el round point de Postobón

Las determinantes naturales permiten conocer los parámetros de los cuales están constituidos cada una de las zonas de observación anteriormente nombradas, como lo son la Avenida.40 subnivel de Villacentro y el round point de Postobón, uno de estos parámetros son las precipitaciones las cuales para el municipio del Villavicencio según el IDEAM en el año 2021 tuvo un registro de 4.524mm, presentando una temporada seca y una temporada de lluvias. La temporada seca se extiende de diciembre a marzo aproximadamente. En estas fechas llueve entre 10 a 14 días al mes, siendo febrero el mes que registra una menor cantidad de número de días con lluvia (de 8 a 12 días) y la menor precipitación (entre 50 y 100mm). De abril a noviembre se presenta la temporada de mayores lluvias; la frecuencia de días lluviosos en estos meses es de 22 a 26. De estos meses resalta junio el cual registró de 24 a 28 número de días de lluvia y de 800 a 1000 mm de precipitación como se puede observar en la **Figura 3** (IDEAM, 2021).

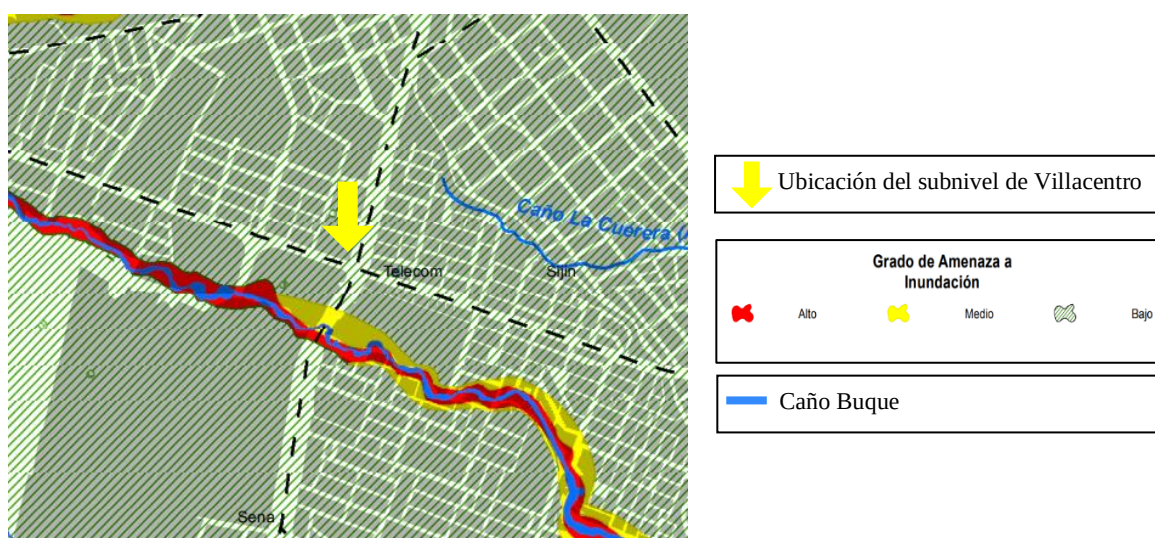
Figura 3. Mapas de precipitación y número de días con lluvia del mes de junio registrados por el IDEAM para el 2021.



Nota. Adaptado de (IDEAM, 2021)

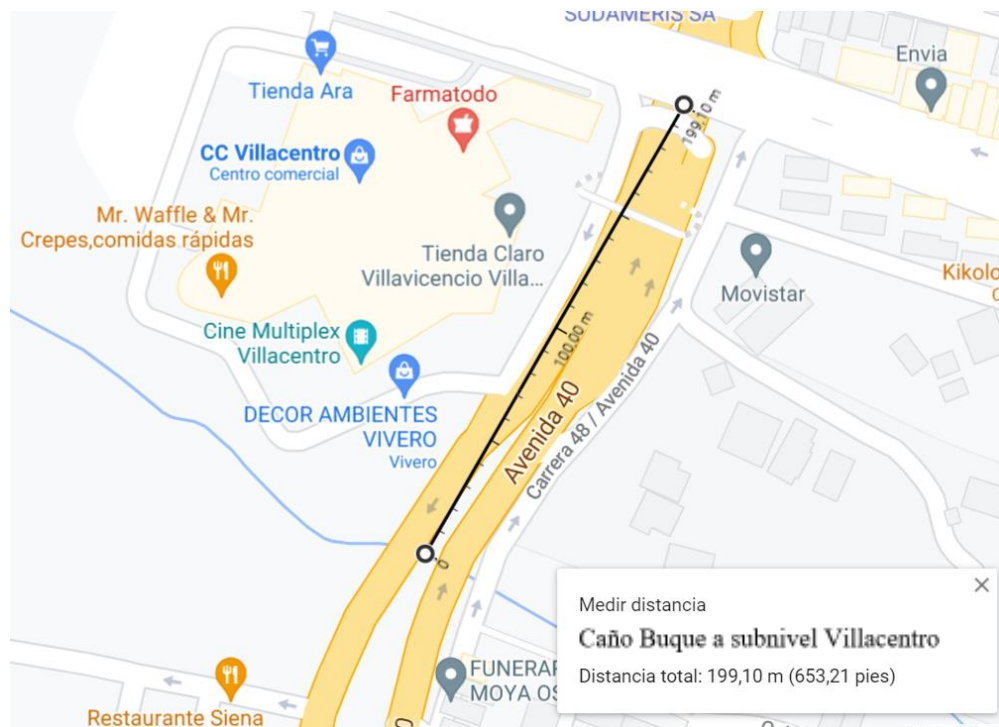
Las inundaciones tienen una gran relevancia en estas determinantes, ya que mediante la determinación de dichas amenazas y riesgos se pueden clasificar; según el plan de ordenamiento territorial POT de Villavicencio acuerdo 287 de 2015 en el artículo 41° define el grado de amenaza por inundación en altas, medias y bajas, las zonas de inundación con mayor relevancia se ven reflejadas a las laderas de los ríos y caños con probabilidades de inundaciones por desbordamientos por altas precipitaciones; uno de estos afluentes es el Caño Buque el cual tiene influencia indirecta con la zona de la Av.40 subnivel Villacentro clasificado como amenaza alta y media.

Figura 4. Zona de amenazas de inundación Avenida 40 subnivel Villacentro.



Nota. Adaptado de (Plano 03ª POT Villavicencio. Plano de Zonificación por amenazas naturales, inundación suelo urbano, 2019)

Si es bien observado en la **Figura 4** aunque el Caño Buque se encuentra aproximadamente a una distancia de 200 m del punto de estudio, la avenida 40 cuenta con un nivel promedio de inclinación de 3,4% el cual por gravedad genera que la escorrentía superficial fluya y llegue como punto final de vertimiento al subnivel de Villacentro, generando estancamiento de aguas cuando los sumideros o pozos de captación colapsan, ocasionando así inundaciones.

Figura 5. Distancia de caño Buque a Subnivel Villacentro.

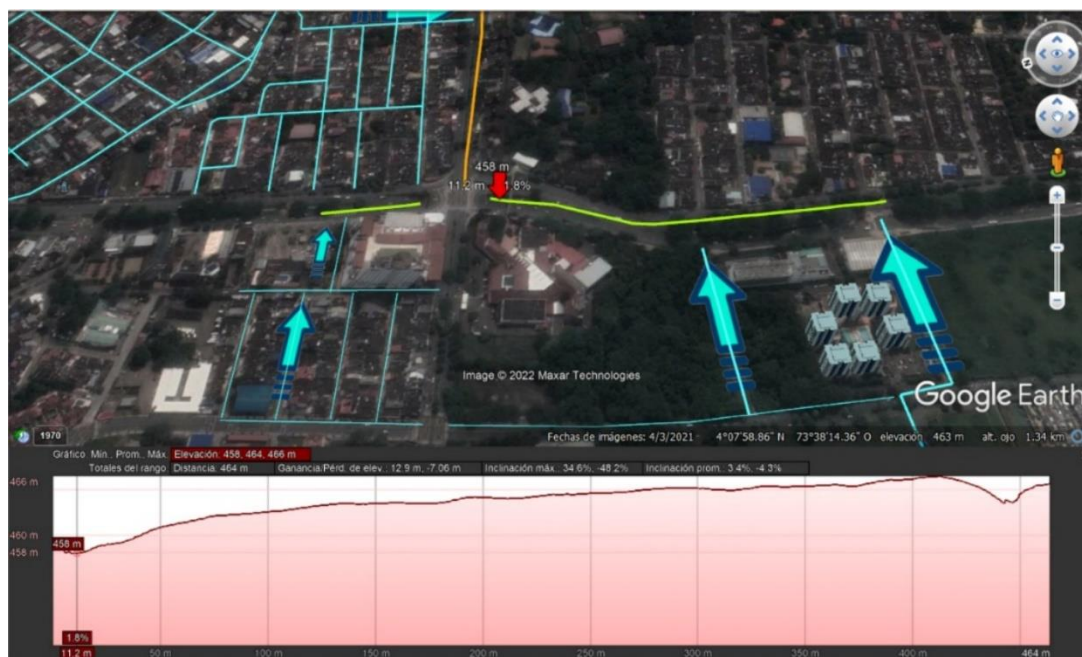
Nota. Adaptado de (Google Maps, 2019)

Figura 6. Zonas de estudio.

Nota. Adaptado de (Google Earth, 2019)

En la siguiente figura se observa en el perfil de inclinación que la avenida 40 tiene una pendiente promedio 3,4% y de 2,8% por su lado contrario. Las calles aledañas también manejan una pendiente que desemboca en las rutas principales a las cuales se les realiza el estudio, esto hace que al momento de existir un colapso en sus redes de alcantarillado, el excedente de escorrentía superficial se enviado a las rutas principales, contribuyendo al aumento del caudal final.

Figura 7. Perfil de inclinación de la Avenida 40.



Nota. Adaptado de (Google Earth, 2019)

Por otro lado, en la Avenida Circunvalar punto round point Postobón se observa que la Calle 15 tiene una pendiente de 2,7% desde su inicio hasta conectar a la glorieta, esto genera que la escorrentía superficial que no es descargada en los sumideros que se encuentran a lo largo de la calle, terminen en la rotonda causando así inundaciones cuando las precipitaciones son elevadas. Esta calle cuenta también con un efecto espina de pez que podemos observar en la **Figura 6**. Zonas de estudio.

Y aunque esta zona está clasificada como zona de amenaza baja de inundación como se puede ver en la **Figura 9**, la participación humana en la contaminación ambiental por medio de desechos que son arrojados a las calles y son arrastrados por la escorrentía a los sumideros,

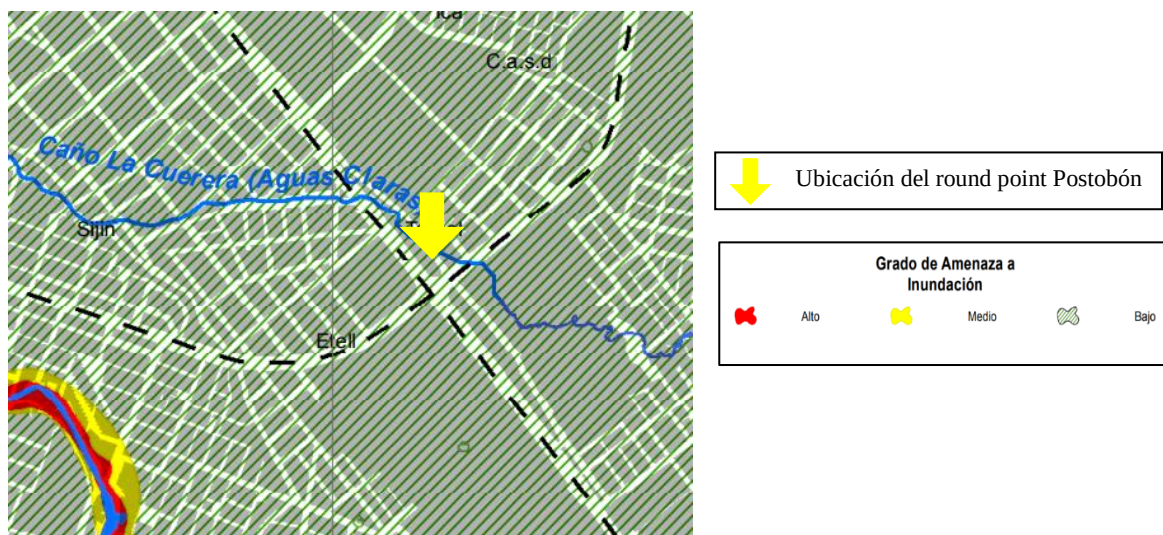
obstruyéndolos y contribuyendo junto con las descargas de agua por gravedad de las otras calle y avenidas a las inundaciones y represamientos pluviales en este punto.

Figura 8. Perfil de inclinación de la Calle 15.



Nota. Adaptado de (Google Earth, 2019)

Figura 9. Zona de amenazas de inundación round point Postobón.



Nota. Adaptado de (Plano 03ª POT Villavicencio. Plano de Zonificación por amenazas naturales, inundación suelo urbano, 2019)

7. Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

A continuación de manera ordenada se presenta la información recolectada referente a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

7.1. Cambio climático

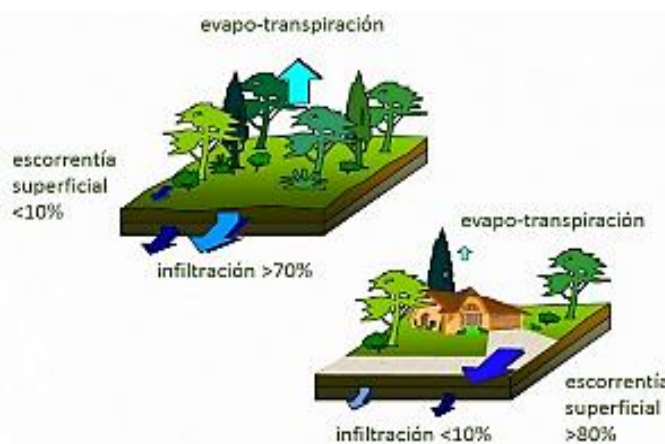
En una convención realizada por la Naciones Unidas se definió como cambio climático a la variación del clima que presenta el planeta Tierra atribuido de manera directa o indirecta por las actividades realizadas por el ser humano (Naciones Unidas, 2019), actividades que afectan la composición de la atmósfera mundial, y que además se suma a la incertidumbre natural del clima que se ha observado y estudiado durante periodos de tiempo semejantes.

También según los autores del artículo *Characterization of Modular Deposits for Urban Drainage* realizado sobre el XVIII International Conference on Water Distribution Systems Analysis en el 2017, llegaron a la conclusión que con el tiempo el crecimiento de la población humana ha generado que se aumente la urbanización de cuencas hidrográficas, empeorando así la situación del cambio climático (Sánchez Beltrán, Montes Rodríguez, Barrera Triviño, & Iglesias Rey, 2017) ¿por qué? Muy sencillo, porque el proceso de urbanización de las cuencas hidrográficas no está asociado con los ciclos biogeoquímicos, en especial el ciclo del agua. Esto hace que se aumente la escorrentía urbana, dado que la precipitación que se presenta en las ciudades se transforma casi en su totalidad en agua que se escurre superficialmente, hecho que causa inundaciones. Esto ha causado que diferentes países en el mundo (especialmente los que en la actualidad están siendo superados por el Cambio Climático) hayan optado por implementar los sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Al aumentar la urbanización de las cuencas, el agua y el ambiente se auto depuran dado que se quiebra el ciclo del agua como se puede observar en la **Figura 10** Adicional a esto se suma la pérdida de vegetación, el estado natural de la cuenca se reemplaza por edificaciones que en su mayoría están construidas en concreto, causando también la pérdida del paisaje natural, lo cual es

el punto visual más destacado de la fractura del ciclo del agua, que al ser quebrantado afecta directamente la población civil.

Figura 10. Ruptura del ciclo del agua debido a la urbanización de cuencas.



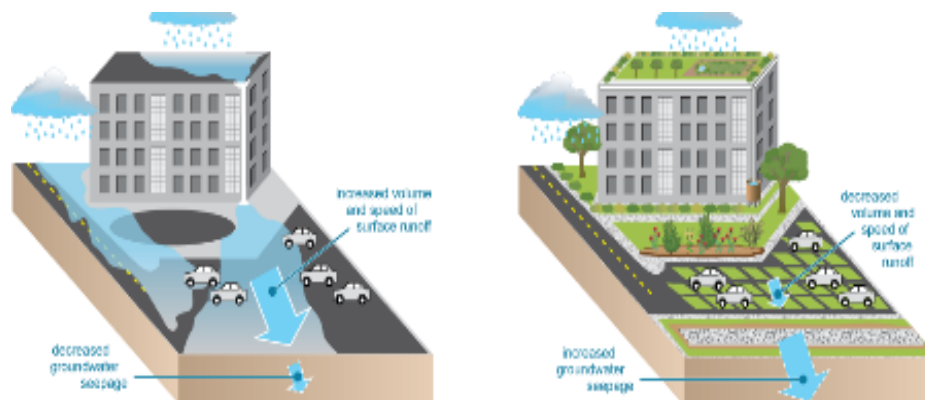
Nota. Adaptado de (Gestión sostenible del agua y espacio público (Montoya), 2015)

7.2. SUDS

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) son un conjunto de métodos de soluciones, cuya función principal es minimizar la escorrentía de las superficies impermeables en las zonas urbanas (Castro Fresno, Rodríguez Bayón, Rodríguez Hernández, & Ballester Muñoz, 2019), evitando así la concentración de grandes volúmenes de agua causados por precipitaciones o fenómenos naturales que en exceso pueden causar inundaciones. El objetivo de los SUDS también conocidos como Infraestructura Verde, es encaminar la escorrentía urbana hacia las zonas verdes, como parques, bosques y/o espacios abiertos y así contribuir al drenaje sostenible de las urbanizaciones y a otros procesos como el ciclo del agua.

En Colombia, la Alcaldía de Bogotá D.C. en el Decreto 528 de 2014 ilustra que los SUDS pueden considerarse como ecosistemas, que al imitar algunas características de caminos naturales combinados con sistemas fabricados, contribuyen a la protección de la calidad del agua, reteniendo la mínima cantidad de lluvia y aminorando la escorrentía urbana para así evitar calamidades sociales, fortaleciendo las ciudades antes inundaciones y sequías.

Figura 11. Aumento de la filtración de agua subterránea mediante la implementación de SUDS.

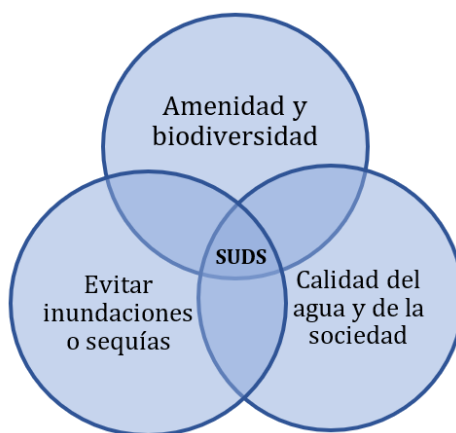


Nota. Adaptado de (Gestión sostenible del agua y espacio público (Montoya), 2015)

7.3. Tipologías de SUDS

El objetivo principal de los SUDS es generar de la mejor manera posible el drenaje de la escorrentía superficial urbana de un sector, localidad, ciudad o punto crítico que sea vulnerable a inundaciones o sequías. Y aunque todos los SUDS comparten la misma idea principal no existe una estipulación universal para la clasificación de los diversos tipos de SUDS que se han ejecutado en diferentes partes del mundo. Sin embargo, a continuación, se muestran las tipologías de las infraestructuras verdes más notorias.

Figura 12. Objetivos de los SUDS.



7.3.1 Medidas estructurales

Son medidas estructurales a todos aquellos sistemas que contribuyen a la minimización de la escorrentía, captan el agua lluvia, mejoran el paisajismo, facilitan la infiltración y/o conducen la escorrentía de manera óptima, mediante algún elemento constructivo ya sea en menor o mayor grado de invasión o aquellos que supongan la adaptación de criterios urbanísticos.

Tabla 2. Clasificación de algunos SUDS por medidas estructurales.

TIPOLOGÍA	
Minimización de escorrentía	Pavimento permeable, zonas verdes entre calzadas o cunetas verdes
Captación de agua lluvia	Pondaje húmedo vegetado, estanques, techos verdes, almacenamiento subsuperficial
Paisajismo	Bioretención; jardines de lluvia, materas
Infiltración	Drenes filtrantes, zonas de bioretención, sumidero tipo alcorque inundable
Conducción	Franjas, zanja

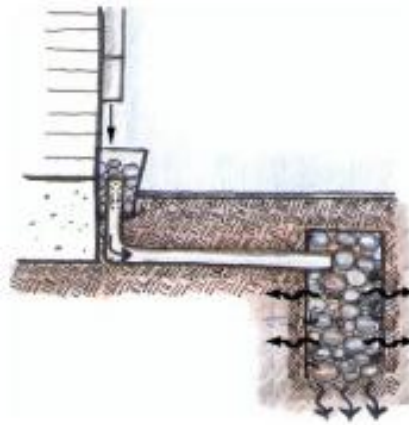
A continuación, se describen los SUDS de medidas estructurales más utilizados iniciando por aquellos cuyo principio de drenaje es la infiltración del agua.

Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son elementos estructurales cuya función es retener, almacenar e infiltrar el agua producida por precipitaciones y conducirla hacia su terreno natural, para así evitar grandes volúmenes de agua en las urbanizaciones. En un manual publicado por CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) dichos pozos son implementados en áreas o sectores en los que no es posible instalar obras superficiales (CIRIA, 2015). Por lo general son cilíndricos y poco profundos, su profundidad oscila entre 1 a 3 m; esto depende de la necesidad de los usuarios y los estudios hidrológicos o tormenta de diseño sobre la cual se hace el bosquejo. Dichos pozos están rellenos de material filtrante, ya sea granular, poroso, huecos o de algún material sintético como celdas plásticas, que sean capaces de permitir la infiltración de las aguas

lluvias. Al atravesar dichos materiales el agua sale del pozo al subsuelo (no saturado) y se filtra en el suelo antes de llegar al nivel de agua subterránea.

Figura 13. Esquema de pozo de infiltración.



Nota. Adaptado de (Recuperación de condiciones hidrológicas y reducción de caudales pico en cuencas urbanas consolidadas mediante alternativas sostenibles de almacenamiento disperso adaptadas a predios existentes (UNIVERSIDAD DEL NORTE, 2019)

Figura 14. Zanja de infiltración.



Nota. Adaptado de (SUDS (BOURNE STREAM), 2016)

Zanjas de infiltración

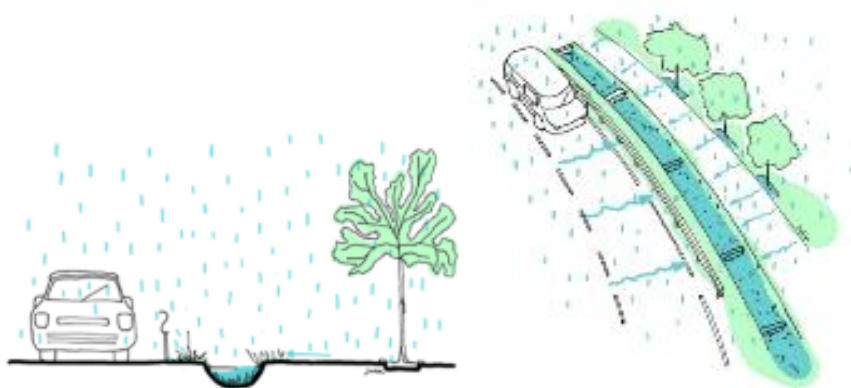
Las zanjas de infiltración son trincheras que al igual que los pozos son diseñados con poca profundidad. Estas son útiles y eficientes en zonas que cuenten con pendientes no demasiado

inclinadas, (Medina, 215). Generalmente están compuestas por pasto, arbustos, plantas similares a las que se encuentran en los humedales como se puede observar en la **Figura 14** o combinaciones equivalentes que se mantengan en condiciones óptimas con el clima en el que se encuentren. Estas zanjas sirven para recoger y almacenar el agua de la escorrentía urbana en un lecho de gravas o material granular y transportarla hasta su lugar de captación o desagüe. Son utilizadas mayormente en zonas adyacentes a caminos, zonas de parqueo vehicular, en zonas residenciales, comerciales e industriales en las que el flujo (ya sea vehicular o peatonal) se distribuya de forma uniforme a lo ancho de esta tipología de SUDS.

Cunetas verdes

Las cunetas verdes o biocunetas son zanjas trapezoidales lineales cubiertas por hierba cuya finalidad es la captación e infiltración de las escorrentías pluviales, cuya medida atractiva y mayor sello diferenciador con las zanjas de infiltración es que las cunetas limpian el recurso hídrico separándolo de contaminantes como basuras gruesas o sólidos que quedan depositados en la superficie vegetativa del SUDS. Este sistema conduce la escorrentía por tierra desde la superficie drenada hasta un sistema de almacenamiento o descarga. Adicional a esto, las cunetas deben ser diseñadas para que el caudal de agua que ingrese al ser redireccionada no sobre pase la velocidad de 1m/s con el fin de que el tránsito lento del agua haga que las partículas en suspensión se puedan sedimentar y no aparezcan problemas de erosiones en el terreno en el que se construya.

Figura 15. Esquema de cunetas verdes.



Nota. Adaptado de (SuDS Techniques - Permeable Conveyance Systems (SuDS Wales), 2021)

Se debe prever que en el diseño de las cunetas las láminas de agua no forjen efectos adversos sobre la vegetación, ni que generen inundaciones en las vías o zonas urbanas adyacentes dado que generalmente se utiliza aledaño a carreteras, y calles residenciales. Las cunetas verdes contribuyen a la reducción de riesgo para especies animales como sapos, tritones, etc. que con frecuencia quedan atrapados en macetas de barrancos, bordillos, puntos de irrigación, entre otros; contribuyendo así a la conservación de los ecosistemas animales.

Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes, drenajes con filtro o drenes franceses son excavaciones poco profundas que no superan los dos metros de profundidad, pero tampoco son menores a un metro, están revestidas con un geotextil que a su vez está lleno de material granular como grava que proporciona algo de filtración al agua, asentando sedimentos, materia orgánica y residuos de aceite. La escorrentía urbana se dirige al material granular, el cual direcciona el agua desde la superficie drenada o mediante una estructura de tuberías hasta el final del dren.

Este sistema debe ser diseñado rigurosamente dado que son propensos a colmatarse con facilidad y esto afecta directamente su vida útil si sus capas granulares interiores no son las más adecuadas en su diseño. También deben ser diseñados de manera cóncava con el fin de que la escorrentía se concentre en el centro del elemento y así el SUDS funcione de manera óptima. A continuación, se puede observar un esquema básico:

Figura 16. Esquema de un dren filtrante.



Nota. Adaptado de (Técnicas SuDS - Sistemas de transporte permeables (Abellán), 2017)

Estos sistemas al ser propensos a colmatarse deben limitarse a no ser implementados en locaciones donde se pronostique grandes flujos de agua y sedimentos o donde se estimen sistemas de remoción de sólidos antes de que el agua llegue a la descarga final del dren, dado que están diseñados para vaciarse y re airearse constantemente de manera que su colapso o saturación excesiva afectarían directamente su rendimiento.

Techos verdes

Los techos verdes son aquellas cubiertas pobladas por vegetación que tienen como objetivo de retener las precipitaciones, reduciendo el volumen de escorrentía. Según Gernot Minke, un arquitecto e ingeniero alemán, (considerado el padre de la Bioconstrucción) dicha vegetación debe ser flexible ante diferentes tipos de clima, es decir, debe sobrevivir al frío y a oleadas de calor donde se presenten pocos periodos de lluvia (Minke, 2019). Los techos verdes, además de absorber y almacenar la lluvia, retiene en su capa vegetal contaminantes que posea el agua. Su vegetación también puede ser habita ecológica de diversas especies silvestres. Su capa de flora cumple como capa aislante de calor del edificio o estructura donde se implemente y a su vez compensa el efecto isla de calor que se presenta comúnmente en las ciudades.

Figura 17. Centro Comunitario para Persona Mayores en Cardedeu, España.



Nota. Adaptado de (José Hevia (ArchDaily), 2019)

Su distinto color verde contribuye a la estética paisajística de las ciudades que presentan demasiada urbanización (selvas de concreto) creando un ambiente agradable no solo para las

especies silvestres sino también para la población humana que asemeja el verde a un ambiente sano, ameno y ecológico. Los techos o cubiertas verde son uno de los sistemas urbanos de drenaje sostenible más completos y llamativos. (Candelo, 2014)

Figura 18. Techos de césped con 45° de inclinación, Siegen-Oberscheiden (Alemania).



Nota. Adaptado de (Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos (Minke), 2019)

Se continúa con la descripción de los SUDS cuyo principio son aquellos sistemas que se encargan de la filtración y retención de partículas de la escorrentía urbana.

Franjas filtrantes

Este SUDS consiste en un sistema de franjas de suelo vegetadas, anchas, uniformes que constan de poca pendiente. Generalmente usadas como pretratamientos para excluir el exceso de sólidos y partículas antes de pasar a otros sistemas de drenaje urbano como lo son las cunetas verdes o zanjas de infiltración. Contribuyen a la disminución de la escorrentía y al mismo tiempo limpian el fluido al propiciar sedimentación de las partículas y contaminantes que son arrastrados por el agua caracterizando esta acción como su función más relevante.

Los métodos de apartamiento de contaminantes están fundamentados en la sedimentación, filtración, la absorción en las raíces de las plantas, entre otros. Para que la sedimentación de la escorrentía que fluye por las franjas sea efectiva, debe tener una velocidad leve y así mismo los sedimentos se asienten y queden retenidos en la cubierta densa de grama. Dicha velocidad es recomendable que no supere los 3 m/s. Las franjas entre mayor ancho y capa vegetal dispongan,

mayor capacidad filtrante será obtenida, aunque todas estas medidas se obtienen en la etapa de diseño de la franja. Otras propiedades que se deben tener en cuenta al momento de realizar los diseños de las franjas son: las propiedades del suelo, la pendiente, la velocidad de arrastre, el tipo de vegetación con la cual será cubierta y la longitud.

Figura 19. Franja filtrante.



Nota. Adaptado de (Tapetillo), 2019)

Pavimentos permeables

El pavimento permeable es un tipo de pavimento que sirve como alternativa del pavimento convencional, en el cual el agua se filtra a través de los materiales utilizados en su estructura en vez de correr por ella, generando la disminución de escorrentía de aguas pluviales. Los pavimentos permeables surgen como una alternativa para mitigar la escorrentía urbana y los caudales pico que son generadores de inundaciones en las zonas urbanísticas (CIRIA, 2015). Estos pavimentos son utilizados mayormente en áreas o superficies que deben mantenerse en todo momento libre de agua. Este sistema puede reemplazar la necesidad de utilizar tuberías, cunetas, sumideros y hasta cajas de inspección por lo que contribuye al desarrollo de zonas urbanas sin requerir la implementación de sistemas de alcantarillado existente o con un uso controlado.

Su uso es recomendado en áreas que cuenten con baja pendiente, zonas con bajo nivel de tránsito, tráfico ligero u ocasional, en andenes, entre otros, que cuenten con características transitorias similares. Además, se aconseja que su implementación se realice donde el nivel freático se encuentre muy por debajo del fondo de la zona de almacenamiento para que este no afecte el

volumen de acopio en los casos donde su diseño también cuente con sistema recolector o sistema de depósito debajo del pavimento para su reutilización, infiltración o descarga retardada.

Los materiales mayormente utilizados en la estructura de los pavimentos permeables son la grava, el hormigón, bloques de hormigón diseñados para tal fin o asfalto poroso, dichos materiales dependen de estudios previos como físicos, ambientales, hidráulicos, económicos y reglamentarios realizados para su diseño.

Figura 20. Diferencias entre un pavimento permeable e impermeable.



Nota. Adaptado de (Los pavimentos permeables favorecen la infiltración de agua de calidad en el suelo (Aguasresiduales.info), 2020)

Se continua con la descripción de aquellos SUDS que su principal aliado es la vegetación.

Jardines o parques de bioretención

Son parques o jardines que cuentan con gran superficie y que, durante una gran parte del año actúan como un parque o jardín normal, pero cuando se presentan fuertes periodos de precipitación actúan como grandes depósitos de agua lluvia y esorrentía urbana (SuDS Wales - Sustainable drainage system, 2019). Cuentan con un gran rendimiento en la eliminación de contaminantes dado que al diseñar su sistema debe contar con un mecanismo de recirculación constante o incluso con el mismo ciclo de vaciado – llenado producido por las diferentes estaciones

climáticas que se presentan en la zona donde se implementen es suficiente para evitar incomodidades en el ambiente como crías enormes de mosquitos o incluso malos olores.

Es recomendable que dichos parques o jardines también estén conectados a una red de drenaje y así evitar un desbordamiento en caso de que se presente un pico exagerado en las precipitaciones.

Figura 21. Jardín urbano de bioretención.



Nota. Adaptado de (Crescent Gardens. Wood Green, Londres | © Robert Bray Associates. (EL BLOG DE LA TABLA), 2020)

Humedales

Los humedales son zonas que están cubiertas en su totalidad por vegetación y permanecen llenas de agua, cuentan con diferentes profundidades, son bastantes similares a las áreas de bioretención, pero los humedales en la mayoría de los casos cuentan con una menor profundidad (Jaramillo , y otros, 2015). Los humedales son ecosistemas que, dadas sus características hidrológicas y geomorfológicas, pueden acumular grandes cantidades de agua de manera temporal o permanente. Estos sistemas contribuyen a la mejoría de ecosistemas dado que en este ambiente pueden reproducirse especies que sean capaces de adaptarse a las condiciones que estos mismos ofrezcan para vivir, es decir, vida silvestre que sea tolerante a la contaminación, que también

pueden alimentarse de mosquitos u otras especies y así mismo crear un control biológico en la zona que a veces puede ser incomoda dado los largos periodos de agua estancada en el humedal. También aportan un toque ecológico, estético, educacional y recreativo en las zonas urbanas donde se encuentran.

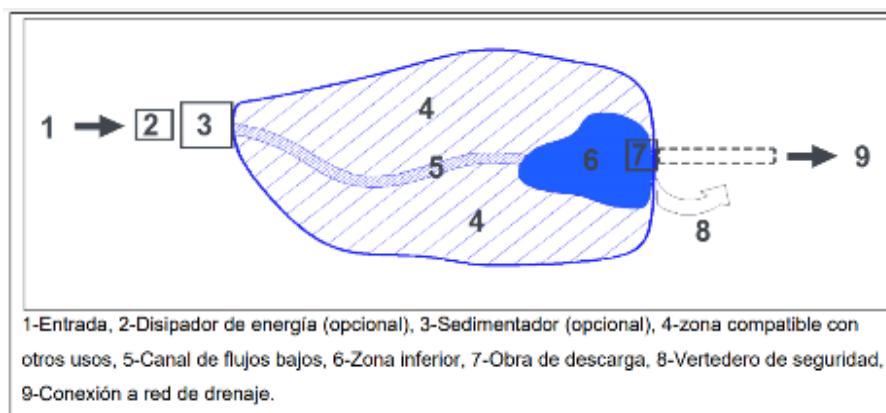
Por último, se encuentra el grupo de SUDS cuyas principales características es la detención y retención de agua.

Estanques de detención

“Los estanques de detención son depresiones artificiales que se realizan en un terrero con la finalidad de poder retener cierto volumen de agua pluvial en todo momento” (Ministerio de vivienda y urbanismo de CHILE, 2015).

Estos SUDS reduce los caudales pico de escorrentía que se producen en las zonas urbanas después de presentar precipitaciones o tormentas, con el fin de almacenarlos temporalmente para descargarlo consecutivamente en periodos de tiempo más prolongados disminuyendo los caudales máximos en comparación a los que provocarían las precipitaciones si no se contara con este sistema. Aunque este es considerado un sistema sostenible su construcción o adaptación requiere la tala de árboles por la gran extensión de tierra que se requiere para que su funcionamiento sea óptimo.

Figura 22. Esquema de los elementos principales de un estanque de detención.



Nota. Adaptado de (Ministerio de vivienda y urbanismo de CHILE, 2015)

Depósitos de detención

Son depósitos diseñados para almacenar temporalmente aguas pluviales o escorrentías superficiales generadas aguas arriba. A diferencia de los estanques de detención no almacenan aguas permanentemente una vez finalizado el periodo de precipitación, el volumen de agua recolectado es liberado lentamente a la red. Estos depósitos pueden ser superficiales, pero también pueden diseñarse de manera subterránea en dichos sectores donde no se recomienda la construcción de infraestructura a cielo abierto. Este sistema: a también permite la sedimentación de los sólidos que se encuentren en suspensión en el periodo de reposo. Estos depósitos pueden incluir un desvío o un by-pass para que en el momento en el cual se reciba la primera concentración de volumen de escorrentía, la más contaminada que se encuentre depositada anteriormente pase al siguiente sistema de drenaje al cual el depósito se encuentre conectado.

Figura 23. Depósito superficial de detención.



Nota. Adaptado de (SuD Sostenible, 2018)

7.3.2 Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales básicamente son todas aquellas que ayudan a prevenir primeramente la contaminación en el agua para así reducir posibles fuentes contaminantes y también prescindir de forma parcial el tránsito de las escorrentías superficiales urbanas aguas abajo

y su empalme con contaminantes, es decir, son aquellas medidas que no estrechan ninguna actuación directa sobre la red ni la construcción de infraestructura alguna.

Estas las podemos clasificar en cuatro grupos:

Precauciones en la ciudadanía

No se debe botar basuras en las calles de manera que estas puedan causar taponamiento en las alcantarillas, colectores, aliviaderos, entre otros componentes del sistema de alcantarillado o red de drenaje.

También se recomienda utilizar tejados con bajantes reducidos, de manera que se realice retenciones de contaminantes sólidos y así evitar que llegue a los sistemas de alcantarillado o redes de drenaje.

Desarrollo urbanístico controlado

Al momento en el que se generen desarrollos urbanísticos se debe consultar cuales son las zonas inundables y cuáles son los cuerpos de agua como arroyos, quebradas, lagunas, entre otras zonas de acumulación de agua que puedan ser potencialmente afectadas al momento de realizar construcciones para así mismo respetar dichas zonas.

En el desarrollo urbanístico también se pueden contemplar implementar para futuras obras la minimización de las áreas impermeables y la reducción de la compactación de los suelos.

Gestión de la vegetación de zonas verdes

Para que las zonas verdes cumplan su función de manera correcta se les debe hacer un mantenimiento rutinario. Al podar no se deben dejar los restos sobre el suelo ya que pueden acabar sellando alguna vía de salida de escorrentía y crear encharcamientos no deseados.

También se le deben regar pesticidas no tóxicos ya que pueden llegar pequeñas dosis a los cuerpos de agua aledaños al ser arrastrados por las aguas lluvias.

Mantenimiento vial

Parcialmente se debe realizar limpieza a las rejillas de las alcantarillas que tienen contacto directo con las aguas lluvias para así evitar que se tapen. Al igual que se debe hacer limpieza a las calles, parqueaderos, andenes, senderos entre otras zonas en las cuales se pueden acumular grandes cantidades de contaminantes.

7.4. Ventajas y desventajas de los SUDS

Sin duda alguna los SUDS son sistemas que aportan grandes beneficios al desarrollo sostenibles de las urbanizaciones, pero también trae consigo desventajas que, aunque sean pocas deben tenerse en cuenta al momento de optar por la implementación de algún sistema urbano de drenaje sostenible. A continuación, en la **Tabla 3** se explicarán algunas ventajas y desventajas de los SUDS descritos en el capítulo anterior y que pueden ser viables en las zonas de la Avenida.40 subnivel Villacentro en la Carrera 33 con Calle 15 de la Avenida Circunvalar sector round point de Postobón:

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los SUDS.

SUDS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Zanjas de infiltración	· Favorecen la recarga de acuíferos. · Mejoran la calidad del agua de escorrentía. · Habilitan el almacenamiento de la precipitación y aprovechamiento del agua para otros usos.	· A comparación de otros SUDS tiene un almacenamiento reducido. · Requiere de inspección y mantenimiento periódicos.
Cunetas verdes	· Fáciles de incorporar en el paisaje. · Son de bajo costo. · Reducen la escorrentía y volúmenes de agua producidos por la precipitación. · Fácil de detectar sedimentos indeseados.	· Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida. · No son aptas en zonas con mucha pendiente.
Franjas filtrantes	· Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano. · Reducen la escorrentía urbana. · Son de bajo costo.	· No son aptas en zonas con mucha pendiente. · Existe la posibilidad de riesgo de bloqueo con la conexión del colector de salida.

Tabla 3. Continuación

SUDS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
		·No es conveniente colocar árboles para tratarla como zonas ajardinadas.
Pavimentos permeables	·Pueden ser utilizados en zonas donde se encuentre alta densidad poblacional. ·Gran flexibilidad en diseños y tipos. ·Disminución en la realización de excavaciones profundas con fines drenantes. ·Accede a un doble uso de espacio.	·Poca aplicación en rutas que contengan tráfico pesado. ·Si no se le realiza un mantenimiento adecuado está en riesgo de que crezcan hierbas y se presenten obstrucciones. ·Riesgo latente de colmatación de la superficie y fallo estructural en caso de un mal diseño o un mantenimiento deficiente.
Jardines o parques de bioretención	·Reducen la escorrentía. ·Son recomendables en zonas muy impermeables como lo pueden ser las áreas de parqueo. ·Diseño flexible. ·Aportan estética a las zonas donde se implementan. ·Eliminan sedimentos finos, bacterias, materia orgánica entre otros depósitos del aire y agua.	·No son recomendables en zonas con pendientes altas. ·Debe contar con mecanismo de recirculación constante.

8. Recomendaciones de posibles soluciones en las zonas de estudio

Según la información recolectada y los conocimientos adquiridos en el desarrollo de este documento se recomienda que se planteen soluciones de SUDS que promuevan la recuperación de la capacidad de infiltración y/o almacenamiento de agua por precipitación en el terreno, de forma que las urbanizaciones existente y futuras construcciones no incrementen la cantidad de agua lluvia hacia otros puntos del municipio de Villavicencio.

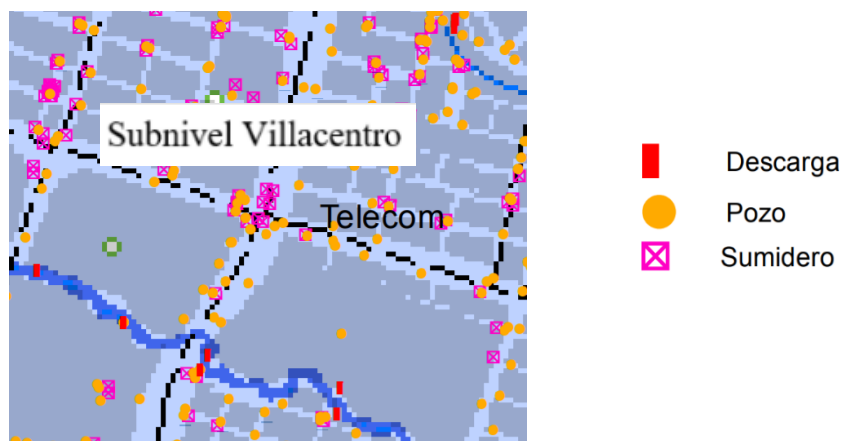
8.1. SUDS recomendados

A continuación, se describen los SUDS recomendados:

8.1.1 Concreto permeable

El concreto permeable absorbe 880 galones de agua por minuto (ASOCEM, 2016), este sistema sería eficaz en las zonas de estudio, ya que garantiza mayor área de captación de agua de escorrentía aprovechando el desnivel, en este caso el sistema debe descargar en los sumideros existentes de la red de alcantarillado actual (**Figura 24**) para así garantizar que el volumen de agua captado tenga una óptima descarga.

Figura 24. Plano Servicios Públicos Domiciliarios Alcantarillado de Villavicencio.



Nota. Adaptado de (Secretaría de planeación Municipal, Alcaldía de Villavicencio, 2019)

8.1.2 *Cunetas verdes*

Dado que se cuenta con zonas verdes en las áreas de estudio se estima que las cunetas verdes serían un SUDS viable, ya que con un bajo costo se pueden redirigir las aguas lluvias de toda la avenida 40 y la calle 15 avenida circunvalar. Adicional a esto, dichos sistemas usualmente son utilizados en sectores aledaños a las carreteras como la avenida 40. Se debe tener en cuenta que al momento de realiza su diseño la velocidad no sobrepase 1m/s con el fin de que el tránsito lento del agua logre que las partículas en suspensión se puedan sedimentar y no aparezcan problemas de erosiones en el terreno en el que se construya.

Adicional a esto, este sistema contribuye a la construcción de pequeños ecosistemas animales y contribuyen con la estética natural de la zona.

Recomendación de diseño y construcción para cunetas verdes

- Pendiente mínima recomendadas que oscilen entre 1 – 4% para garantizar el flujo del agua. Esta pendiente debe ser tanto longitudinal a lo largo de la cuneta y de forma transversal a velocidades no erosivas.
- Al estar cercanas a carreteras se recomienda una profundidad considerada para no incidir en accidentes fatales.
- De ser necesario diseñar aliviaderos para desaguar de manera positiva el caudal que supere el flujo de diseño.
- Utilizar plantas que soporten periodos tanto secos como húmedos, y adicional a esto soporten las velocidades de diseño.

8.1.3 *Pozos de infiltración*

Otra opción recomendada es hacer uso de pozos filtrantes, ya que son capaces de almacenar e infiltrar el agua producida por precipitaciones. Tienen la ventaja de almacenar cantidades

considerables de agua e ir las descargando de manera moderada en los sistemas pluviales o de aguas negras, al subsuelo (no saturado) y/o en el suelo antes de llegar al nivel de agua subterránea.

Recomendaciones de diseño y construcción de pozos de infiltración

- Diseñar aliviaderos.
- Tener en cuenta la estabilidad del terreno (por medio de un estudio de suelos) en el cual se realizarán los pozos, con el fin de obviar derrumbes y asentamientos.
- Realizar un diseño que evite el criadero o reproducción de vectores o roedores.
- En caso de que se desee reutilizar el agua de las precipitaciones, se recomienda equipar de sistemas adecuados para la exclusión de masas y sistemas de filtrado para el mejoramiento de la calidad del agua.
- Realizar un mantenimiento e inspecciones continuas para garantizar el buen estado de la estructura, dicho mantenimiento debe realizarse por personal capacitado.

8.1.4 SUDS no estructurales

- Se recomienda diseñar e implementar planes de acción educativos que instruyan y motiven a la ciudadanía a no botar basuras en las calles de manera que estas causen taponamientos en las alcantarillas, colectores, aliviaderos, entre otros elementos de la red de alcantarillado.
- Hacer control de crecimiento urbanístico, consultando las zonas aptas de construcción, verificando que no sean áreas inundables y evitar la edificación cerca de cuerpos de agua.
- Realizar mantenimientos viales constantes, realizando limpieza de rejillas, andenes, calles, parqueaderos, senderos entre otras zonas que puedan acumular gran cantidad de basuras que puedan ser arrastradas por las lluvias y causar taponamientos en la red de aguas negras o pluviales.

8.2. Recomendaciones generales

Se recomienda que, al momento de realizar los diseños de los SUDS, se realice una correcta selección de los materiales empleados en la construcción de los distintos sistemas, ya que es fundamental a la hora de llevar a cabo su ejecución con éxito. Se debe exigir la mayor calidad posible a los materiales y procedimientos de ejecución empleados.

Al momento de realizar los diseños de los SUDS tener en cuenta las velocidades obtenidas puedan mantenerse bajas y sin embargo no sean contradictorias con los estudios hidrológicos o tormenta de diseño.

9. Resultados e impacto

A continuación, se presentan los resultados e impacto que se esperan obtener en el desarrollo de esta monografía:

Tabla 4. Resultados esperados.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Determinar las condiciones de las zonas y analizar de distintos tipos de SUDS viables.	Desarrollo de la monografía	Objetivo específico 1
Describir las ventajas y desventajas de los SUDS	Cuadro comparativo de SUDS	Objetivo específico 2
Estrategia de intervención en las zonas al implementar los SUDS	Conclusiones y recomendaciones	Objetivo específico 4

Tabla 5. Impacto esperado.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Académico	Fortalecimiento en el conocimiento de sistemas urbanos de drenaje sostenible	Corto

10. Conclusiones

Los SUDS son sistemas innovadores que promueven y contribuyen a que las ciudades existentes y en desarrollo tengan una adaptación más lúdica al cambio climático por medio de mecanismos sostenibles y amigables con el ciclo del agua, mejorando la calidad de vida no solo de los seres humanos sino también de ecosistemas de flora y fauna.

Los tipos de Sistemas urbanos de drenaje sostenible, aunque son variados y eficientes se encuentran limitados a algunos parámetros hidrológicos como el nivel freático de un sector o las intensidades de precipitación, o también pueden constar con limitaciones geográficas o de espacio como lo son la pendiente del terreno y disponibilidad de área, sin embargo, con un estudio previo y un buen diseño cualquier zona puede implementar un SUDS.

La implementación de los SUDS no necesariamente requiere una obra civil para ser efectiva, también se pueden aplicar medidas no estructurales como los son la educación precoz básica sobre los SUDS que genera en las poblaciones conciencia ambiental y mentalidad fundada en desarrollo sostenible con el fin de crezcan doctrinas de un pensamiento que trabaje en conjunto con el medio ambiente.

Una buena consciencia ambiental en las poblaciones como lo pueden ser: no arrojar basuras a las calles, la gestión de vegetación en zonas verdes y un mantenimiento constante en los sistemas de drenaje también pueden determinarse como SUDS.

Se logró identificar las determinantes de amenaza y riesgo de inundación y avenidas torrenciales en las zonas de la Avenida 40 subnivel Villacentro y round point de Postobón como los son los afluentes cercanos y las altas precipitaciones anuales, se describió los SUDS de mayor relevancia como los son: pavimentos permeables, cunetas verdes, franjas y zanjas filtrantes y jardines de bioretención, los cuales se visualizaron en un cuadro comparativo de ventajas y desventajas.

Además, según las condiciones geospaciales de las zonas se definieron diferentes sistemas viables a implementar, los cuales son los pavimentos permeables, las cunetas verdes, pozos

filtrantes y de medidas no estructurales, dichos sistemas se adaptan mejor a las necesidades y problemáticas de cada una de las zonas del municipio de Villavicencio

Se evidencio que los sistemas de drenaje convencionales existentes en dichas zonas, no tienen la capacidad suficiente para el drenaje de la escorrentía durante las precipitaciones de agua lluvia, por esta razón es recomendable el complemento de los sistemas de drenajes convencionales con los SUDS recomendados anteriormente y de esta manera garantizar la calidad de la movilidad durante tiempos de altas precipitaciones.

Se identifica que, al implementar sistemas urbanos de drenaje sostenibles, dichos sistemas pueden considerarse como un complemento o un apoyo a la red de drenaje convencional existente que ha sobrepasado su capacidad de diseño en estas zonas.

Para finalizar se concluye que a nivel nacional hace falta que se tengan en cuenta más construcciones sostenibles dado que hace falta profundizar en este tipo de estructuras y que muchas veces no se implementan porque sus sistemas de construcción no son muy claros y simplemente no son conocidos.

11. Referencias bibliográficas

- Abellán, A. (2017). Drenes filtrantes o franceses: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-ofranceses/>
- Aguasresiduales.info. (2020). Los pavimentos permeables favorecen la infiltración de agua de calidad en el suelo. <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/los-pavimentospermeables-favorecen-la-infiltracio-xQBpV>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1974). Decreto 528 de 2014. Por medio el cual se establece el sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital, se organizan sus instancias de dirección, coordinación y administración; se definen lineamientos para su funcionamiento y se dictan otras disposiciones. Registro Distrital No. 5478. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=60065&dt=S>
- Alcaldía de Villavicencio. (2020). Villavicencio Cambia Contigo. <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/Saladeprensa/paginas/la-empresa-de-acueductoy-alcantarillado-ha-extra%c3%8ddo-m%c3%81s-de-71-toneladas-de-residuos-de-sumideros-yalcantarillas-de-villav.aspx>
- ArchDaily. (2019). Senior Citizen Community Center. <https://www.archdaily.com/22310/senior-citizen-community-center-f451-arquitectura>
- Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM). (2016). Conoce el concreto permeable que absorbe 880 galones de agua por minuto. <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/conoce-el-concreto-permeable-que-absorbe-880-galones-de-agua-por-minuto>
- Bourne Stream. (2016). Sobre SUDS (Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible). <https://bournestreampartnership.org.uk/suds.htm>
- Martínez Candelo, G. M. (2014). Sistemas urbanos de drenaje sostenible “SUDS” como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la Ciudad de Palmira.[Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11075/INFORME%20FINAL%20SUDS-GEINNER%20MARTINEZ%20C-23%2001%202014.pdf;jsessionid=4E232C92473B8D253C3E25949E3653F6?sequence=1>

- Castro Fresno, D; Rodríguez Bayón, J; Rodríguez Hernández, J; & Ballester Muñoz, F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds). *Interciencia*, 30(5), 255-260
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500004
- Ciria. (2016). Construction Industry Research and Information Association.
<https://ciria.sharefile.com/share/view/9960e0bef09245e7>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV). (2020). Toneladas de escombros y residuos sólidos son extraídos por la EAAV de sumideros y alcantarillas.
<https://www.eaav.gov.co/servicioalcliente/noticias/paginas/toneladas-de-escombros-y-residuoss%c3%93lidos-son-extra%c3%8ddos-por-la-eaav-de-sumideros-y-alcantarillas.aspx>
- El blog de la tabla. (2020). Jardín de lluvia urbano, drenaje sostenible con valor social y medioambiental. <https://www.elblogdelatabla.com/2020/01/jardin-lluvia-urbano-drenajesostenible-valor-social-medioambiental.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). Tiempo y clima. http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologicomensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/113579674
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). Mapas de precipitación promedio en Colombia. http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/113579674?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologicomensual%3Fp_id%3D110_INSTANC
- Jaramillo, V; Flórez Ayala, Ú; Cortés Duque, C; Cadena Marín, J; Estupiñán Suárez, E; Rojas, L. & Aponte, S. (2015). Colombia anfibia. Un país de humedales. Volumen I.
<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9290>
- Medina, D. (2015). SUDS: Vision de conjunto y principios fundamentales. Seminario internacional Sistemas sostenibles de drenaje urbano Stormwater. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -ACODAL
- Ministerio de vivienda y urbanismo de Chile. (2015). Manuales técnicos/ Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Capitulo 4.3 Obras de Almacenamiento.
http://serviu10.minvu.cl/documentos/Urbanismo%20y%20Construccion/Normativa%20Tecnica/aguas%20lluvias/Capitulo4_3.pdf

- Minke, G. (2019). Techos verdes. https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-07-10_08-22-37135470.pdf
- Montoya, M. (2015). Gestión sostenible del agua y espacio publico. Seminario internacional Sistemas sostenibles de drenaje urbano Stormwater (págs. 4-8). Aquatectura; Arquitectura y construcción agua - neutral. Obtenido de www.aquatectura.com.co
- Naciones Unidas. (2019). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. (Nueva York). <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Noticiero Macarena. (2021). Inundaciones. <https://noticieromacarena.com/2021/06/04/glorieta-sin-inundaciones/>
- Perales Momparler, S; Doménech, I. A; & Fernández Escalante, E. (2016). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana. [https://www.adta.es/actuaciones/agua/2011%2006%2015%20SistemasUrbanosDrenajeSostenible .pdf](https://www.adta.es/actuaciones/agua/2011%2006%2015%20SistemasUrbanosDrenajeSostenible.pdf)
- Sánchez Beltrán, H; Montes Rodríguez, C. D; Barrera Triviño, J. C; & Iglesias Rey, P. L. (2017). Characterization of modular deposits for urban drainage. https://www.researchgate.net/publication/316817230_Characterization_of_Modular_Deposits_for_Urban_Drainage_Networks_Using_CFD_Techniques
- SuD Sostenible. (2018). Tipos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologias-de-las-tecnicas-de-drenaje-urbano-sostenible/>
- SuDS Wales. (2021). SuDS Techniques - Permeable Conveyance Systems. <https://www.sudswales.com/types/permeable-conveyance-systems/swales/>
- SuDS Wales - Sustainable drainage system. (2019). Técnicas SUDS - Tratamiento pasivo. <https://www.sudswales.com/types/passive-treatment/retention-ponds/>
- Tapetillo, J. D. (2019). Opiniones personales e inquietudes profesionales acerca de agua, medio ambiente, política y mi ciudad: Guadalajara, México. <https://jsancheztapetillo.wordpress.com/>
- Universidad del Norte. (2019). Recuperación de condiciones hidrológicas y reducción de caudales pico en cuencas urbanas consolidadas mediante alternativas sostenibles de almacenamiento disperso adaptadas a predios existentes. <https://sites.google.com/site/drenauninorte/tipos-de-drenaje-sostenible>