

Propuesta de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el manejo de aguas lluvia en el conector del canal Castilla y el Río Bogotá

PEDRO LUIS HERNANDEZ IDARRAGA – 74008

NICOLAS GERARDO SILVA OJEDA - 77188

**UNIVERSIDAD ECCI
INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2023**

Propuesta de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el manejo de aguas lluvia en el conector del canal Castilla y el Río Bogotá

PEDRO LUIS HERNANDEZ IDARRAGA – 74008

NICOLAS GERARDO SILVA OJEDA - 77188

Director:

AMPARO PABÓN SERNA

**UNIVERSIDAD ECCI
INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2023**

Tabla de contenido

Resumen	4
Abstract.....	5
Introducción.....	6
Materiales y método	7
Resultados y discusión.....	10
Conclusión.....	27
Referencias	28

Propuesta de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para el manejo de aguas lluvia en el conector del canal Castilla y el Río Bogotá

Proposal for the implementation of sustainable urban drainage systems (SUDS) for the management of rainwater in the connector of the Castilla canal and the Bogotá River

Pedro Luis Hernández¹, Nicolás Silva Ojeda ², Docente tutor Blanca Amparo Pabon³.

*¹ universidad ECCI, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C, Colombia*

**pedrol.hernandez@ecc.edu.co*

***nicolasg.silvao@ecc.edu.co*

****bpabons@ecc.edu.co*

RESUMEN

Con el desarrollo de las ciudades se presentan diferentes tipos de impactos ambientales por el crecimiento exponencial de la población, el cambio climático y los cambios en los usos del suelo, afectando los ciclos hidrológicos, aumentando los riesgos sobre la población y afectando los ecosistemas acuáticos presentes en las ciudades por el encharcamiento de agua en las zonas impermeabilizadas, lo que genera una disminución en la calidad del agua de escorrentía, disminuyendo la calidad del agua de las fuentes receptoras como humedales, ríos, quebradas; para contrarrestar los impactos anteriormente nombrados, es pertinente proponer alternativas para la disminución de los impactos ambientales que se presentan por estas condiciones, por lo cual se realizó una investigación acerca de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para realizar una propuesta para el mejoramiento de las aguas lluvia que llegan a los cuerpos hídricos, disminuir los encharcamientos y combatir el cambio climático en las ciudades. Dentro de la investigación realizada para la elaboración del artículo, se realiza una propuesta para la implementación de un tren de SUDS para el mejoramiento de la calidad del agua de escorrentía que se presenta en la localidad de Kennedy, perteneciente a la ciudad de Bogotá.

Palabras claves: SUDS; Zanjas de infiltración; cambio climático; agua lluvia.

ABSTRACT

With the development of cities, there are different types of environmental impacts due to the exponential growth of the population, climate change and changes in land use, affecting hydrogeological cycles, increasing the risks on the population and affecting the aquatic ecosystems present in cities due to the stagnation of water in impermeable areas, which generates a decrease in the quality of runoff water, decreasing the quality of water from receiving sources such as wetlands, rivers, streams; to counteract the previously mentioned impacts, it is pertinent to propose alternatives to reduce the environmental impacts that arise from these conditions, for which an investigation was carried out on Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) to make a proposal for the improvement of rainwater that reaches water bodies, reduce ponding and combat climate change in cities. Within the research carried out for the preparation of the article, a proposal is made for the implementation of a SUDS train to improve the quality of runoff water that occurs in the town of Kennedy, belonging to the city of Bogotá.

Key words: SUDS, infiltration ditches; climate change; Water rain.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas hacen el uso del recurso hídrico de manera intensa, tanto para cubrir las necesidades básicas de tipo biológico y cultural, como para el desarrollo económico de la sociedad. Es importante resaltar que su uso crítico tiene que ver con el abastecimiento de agua potable para la población, los procesos industriales, la generación de energía eléctrica y los sistemas de riego; es decir, el alto consumo de agua potable que se da para estos servicios desemboca en las cuencas hidrográficas con un alto porcentaje de residuos orgánicos y peligrosos. (IDEAM, 2023) [3].

Bogotá posee una alta demanda de agua porque se rodean de diferentes embalses que satisfacen las necesidades y cuenta con cuencas importantes que hacen parte de la estructura ecológica principal como lo mencionan:

“Bogotá, al ser la capital de Colombia, posee una alta demanda de agua potable y la forma de satisfacerla ha sido a través de los embalses de la Regadera, Chingaza y Tibitoc para una población promedio de 8 millones de habitantes; al mismo tiempo la ciudad se sitúa entre tres importantes cuencas como lo son la del Río Salitre, Fucha y Tunjuelo” (Cardozo, F., & Fernanda, L. 2018) [7]

La ciudad está situada en zona de confluencia intertropical la cual cruza la ciudad dos veces al año, situación que influye en el comportamiento de las lluvias produciendo dos épocas de lluvias que popularmente se denominan invierno. La primera se presenta en los meses de marzo, abril y mayo, y la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. (Molina et al., 2021) [2].

Siendo una de las ciudades importantes que llueve constantemente en el año y que de sus problemáticas más presentes en la amortiguación de aguas lluvias siendo ineficientes los sistemas mixtos de drenajes.

En los últimos años, debido al rápido desarrollo urbano, los sistemas de drenaje urbano que forman parte del sistema de saneamiento de cualquier ciudad se han visto sobrepasados en capacidad en tiempo de lluvias debido a la gran cantidad de agua pluvial que estos reciben procedentes de zonas urbanas impermeables. En este proceso de endurecimiento, se han dejado de lado coberturas vegetales que interceptan la lluvia por tejados y suelos impermeables, las cuales se caracterizan por tener un umbral de escorrentía muy bajo. (Molina et al., 2021) [2]

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS, por sus siglas en inglés) son una red integrada de áreas con vegetación diseñada y espacios abiertos (es decir, techos verdes, jardines de lluvia, pavimentos porosos, etc.) utilizados para proteger el ecosistema natural, principios y funciones y ofrecer una amplia variedad de beneficios a las personas y vida silvestre (Tang, S., Jiang, J., Zheng, Y., Hong, Y., Chung, E.-S., Shamseldin, A. Y., Wei, Y., & Wang, X. 2021) [4]. Los SUDS son un complemento de la infraestructura de los sistemas de alcantarillado convencionales centralizados para minimizar los impactos de la urbanización hidrológica y aumentar la resiliencia ante eventos de lluvias extremas en los centros urbanos (Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G, 2019) [6].

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son sistemas que propenden por mejorar el flujo de agua lluvia en las ciudades, lo que contribuye con la disminución de encharcamientos e

inundaciones, mejoran la calidad del agua y favorecen a la disminución de la temperatura de las ciudades al ser estructuras complementarias para el manejo de aguas pluviales.

En Bogotá se cuenta con una reglamentación técnica para la construcción e implementación de SUDS la cual se basa en siete (7) tipologías diferentes de acuerdo con las condiciones del área en la cual se pretende implementar.

2. MATERIALES Y MÉTODO

La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación.

Con estos sistemas también se pretende reducir la escorrentía que se presenta en zonas impermeables como calles y avenidas con el fin de evitar encharcamientos en un solo punto y poder llevar estas aguas a zonas verdes para ser aprovechadas de una mejor manera y reducir los impactos negativos que generan estas acumulaciones de agua en esta zona de la ciudad.

Para la recopilación de la información y la elaboración de la propuesta del presente artículo, se consultaron diferentes bases de datos tales como ScienceDirect, Metarevistas, así como las Normas Técnicas Colombianas concernientes al tema de sistemas urbanos de drenaje sostenible y como fuentes principales el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y la documentación de consulta pública de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

Criterios para la selección de sitios

Existen diferentes tipos de SUDS que se clasifican de acuerdo con las necesidades de la zona de intervención y la disponibilidad del área para la implementación de los sistemas.

“Los aspectos más usuales dentro del análisis técnico del sitio son aquellos que evalúan, entre otros: las condiciones granulométricas del suelo, su potencial de infiltración, la topografía del lugar, el área de drenaje, las características del agua subterránea, el flujo base, la vegetación nativa y preexistente, el área de humedales, el sistema de drenaje existente y las posibilidades de desarrollo futuro en la cuenca tributaria.” (CIIA, C. D., 2017) [1].

Además de estos aspectos, se debe tener en cuenta el componente social del área de proyecto, ya que la implantación del proyecto no solo debe propender por el manejo adecuado de las aguas lluvia que se presentan en dichas zonas, también se debe tener en cuenta el componente paisajístico que mejore la calidad de vida de las personas y del ambiente.

En el análisis de selección de sitios para la implementación de SUDS, es importante tener en cuenta el objeto con el cual se pretende implementar los SUDS, esto para el manejo y control de diferentes aspectos como la escorrentía, el mejoramiento de la calidad del agua en cuerpos hídricos, mejorar el paisajismo de la ciudad, la renaturalización de los cuerpos de agua. Esto con el fin de elegir el mejor sistema de acuerdo con su función y con esto asegurar la eficiencia del sistema instalado.

Tipos de SUDS

Dentro de los diferentes tipos de SUDS que se encuentran actualmente. La Norma Técnica NS-166 EAAB - ESP 2018 [11], define siete tipologías con mayor viabilidad para la ciudad de Bogotá D.C. las cuáles son las siguientes:

- Alcorques inundables.
- Tanques de almacenamiento.
- Zonas de bio-retención.
- Cunetas verdes.
- Cuenca seca de drenaje extendido.
- Zanjias de infiltración.
- Superficies permeables.

I. Alcorques inundables

Este es un sistema el cual consta de una zona de retención de apoyo a la red de captación de aguas lluvia en vías, este sistema se conformará un alcorque que se inundará con agua lluvia que será filtrada a través de un sistema de capas granulares con vegetación superficial. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020).

El objetivo de este sistema es retener la escorrentía que se presenta en las vías por la precipitación de poca magnitud.

II. Tanques de almacenamiento

Este SUDS se caracteriza por ser uno de los más sencillos de diseñar ya que se compone de un tanque que puede estar enterrado o instalado en superficie, su principio de funcionamiento es captar las aguas y almacenarlas para su posterior uso en riego de jardines, zonas verdes y otros usos no potables.

III. Zonas de bio-retención

Este sistema se caracteriza por ser ubicado en zonas de hundimiento lo que facilita la captura de agua a través de un lecho filtrante que funciona como filtro para el agua, además de esto, este sistema cuenta con vegetación que ayuda con la remoción de contaminantes.

Este sistema es el más adecuado para instalar en zonas residenciales.

IV. Cunetas verdes

Este sistema consiste en canales lineales que remplazan las zonas duras por canales con vegetación diseñadas para transportar la escorrentía a través de este sistema, debe instalarse en pendientes poco pronunciadas para evitar la erosión del suelo y mantener el sistema adecuadamente, adicional a esto, ayuda con la remoción de sólidos gruesos y sólidos suspendidos del agua que pasa por este SUDS.

Hay tres tipos de cunetas verdes:

- a) Las tradicionales, canales recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de escorrentía.
- b) Las vegetales secas, con un filtro formado por un material muy permeable que permite que todo el volumen de calidad se infiltre a través del fondo del canal. Se llaman así porque la mayor parte del tiempo no contienen agua.
- c) Las vegetales húmedas retienen el agua de forma permanente, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o con el suelo impermeable.

V. Cuenca seca de drenaje extendido

Este sistema corresponde a extensiones de terreno con alta capacidad de infiltración de agua, en las cuales se almacena temporalmente el agua para luego drenarla o evacuar el agua almacenada con el fin de luego utilizar estas zonas como sitios de esparcimiento para la comunidad.

VI. Zanjas de infiltración

Estos sistemas corresponden a excavaciones lineales, de forma cuadrada y que son rellenas con material granular, donde la escorrentía se capta primero temporalmente, luego es almacenada en el material granular atenuando los caudales pico y posteriormente de acuerdo con las condiciones del sitio, es infiltrada en el suelo circundante.

Los materiales granulares usados le brindan la capacidad para mejorar la calidad del agua (Centro de Investigaciones en ingeniería Ambiental (CIIA), 2017) [1]

Este sistema es recomendado para las zonas residenciales, se diseñan con una profundidad entre 1 y 3 metros para infiltrar la escorrentía captada de las áreas impermeabilizadas y mejorar las características del agua para ser llevada a distintas fuentes hídricas.

VII. Superficies permeables

Son superficies que permiten la infiltración del agua a través de sí, al terreno o bien que sean captadas y retenidas en capas para su posterior utilización o evaporación.

Este sistema se compone de varias capas las cuales son permeables desde la primera capa hasta el subsuelo, reteniendo el agua y atenuando los encharcamientos provocados por las áreas impermeabilizadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gestión adecuada de los recursos hídricos y la planificación urbana sostenible son temas cruciales para Bogotá y en este caso en la localidad de Kennedy debido a la variabilidad estacional de la precipitación. Los patrones de lluvia pueden afectar la disponibilidad de agua y el sistema de drenaje de la ciudad.

Estos patrones se encuentran a continuación.

MES	PRECIPITACION MENSUAL MULTIANUAL (mm/mes)
ENERO	59,13
FEBRERO	89,13
MARZO	163,56
ABRIL	233,06
MAYO	222,67
JUNIO	178,83
JULIO	144,61
AGOSTO	120,39
SEPTIEMBRE	119,08
OCTUBRE	182,42
NOVIEMBRE	183,34
DICIEMBRE	110,15

Tabla 1: Precipitación multianual 2012-2022
Bogotá - Kennedy
Fuente: Autores

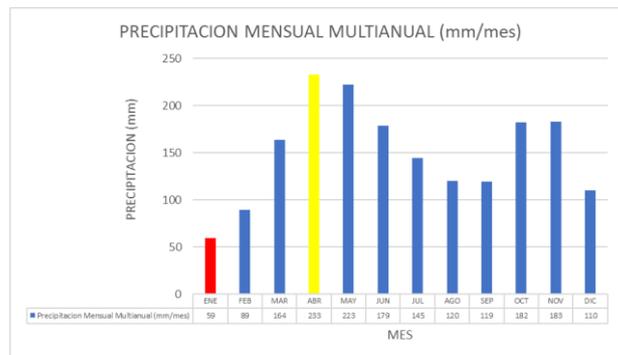


Imagen 1: Análisis Multianual 2012-2022

Bogotá - Kennedy
Fuente: Autores

En la Tabla 1 los datos fueron obtenidos de la NASA y fueron generados desde el 2012 hasta el 2022 para hacer un análisis Multianual que se evidencia en la Imagen 1 y nos demuestra que el patrón de precipitación en Kennedy es bimodal, lo que implica que la localidad experimenta dos temporadas de lluvia significativas a lo largo del año. Estas estaciones húmedas suelen ocurrir de abril a junio y de octubre a noviembre. Durante estos períodos, las precipitaciones pueden ser abundantes y se caracterizan por fuertes lluvias y tormentas ocasionales.

En contraste, los meses de diciembre a marzo y julio a agosto se consideran temporadas más secas, con precipitaciones significativamente más bajas.



Imagen 2: Análisis de Precipitación Multianual
Bogotá - Kennedy
Fuente: Autores

En la imagen 2 es la precipitación multianual desde 2012 hasta 2022, donde en el 2022 aumentó las precipitaciones llegando a 2357,32 mm / año, esto causa los sistemas de drenaje además Bogotá en general ha tenido antecedente por inundaciones siendo vulnerables los fenómenos de la niña como lo indica Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales et al., 2014, Los análisis realizados en el marco del PRICC, a partir de datos climáticos históricos (1950–2011) muestran que la variabilidad climática interanual presenta eventos cada vez más frecuentes y en el caso de las últimas Niñas, van de moderados a muy fuertes. Esto se corrobora con el comportamiento a nivel nacional, donde la ocurrencia de los últimos fenómenos de La Niña muestran que cada vez está lloviendo más, por ejemplo, en el período 1951–1970 cayeron 154,4 mm, mientras que para el periodo 2001–2010, cayeron 178,5 mm, consecuentemente; La Región Capital, con un fuerte desbalance en la cantidad y calidad de sus ecosistemas proveedores de servicios ecosistémicos y las coberturas urbanas, suburbanas y productivas-extractivas, es altamente vulnerable a los impactos potenciales de eventos climáticos extremos” (IDEAM, 2023) [3].

[25] Ruiz Murcia & De Jesús Escobar García concluye que: Se manifestó que bajo condiciones La Niña existen altas probabilidades que se presente un aumento significativo en los niveles de precipitación, esto se hace más evidente hacia los últimos trimestres del año. Contrariamente, cuando

el clima de Bogotá está bajo la influencia de un fenómeno El Niño, la precipitación presenta altas probabilidades de la disminución en sus volúmenes, pero en menores proporciones para los trimestres de final de año.

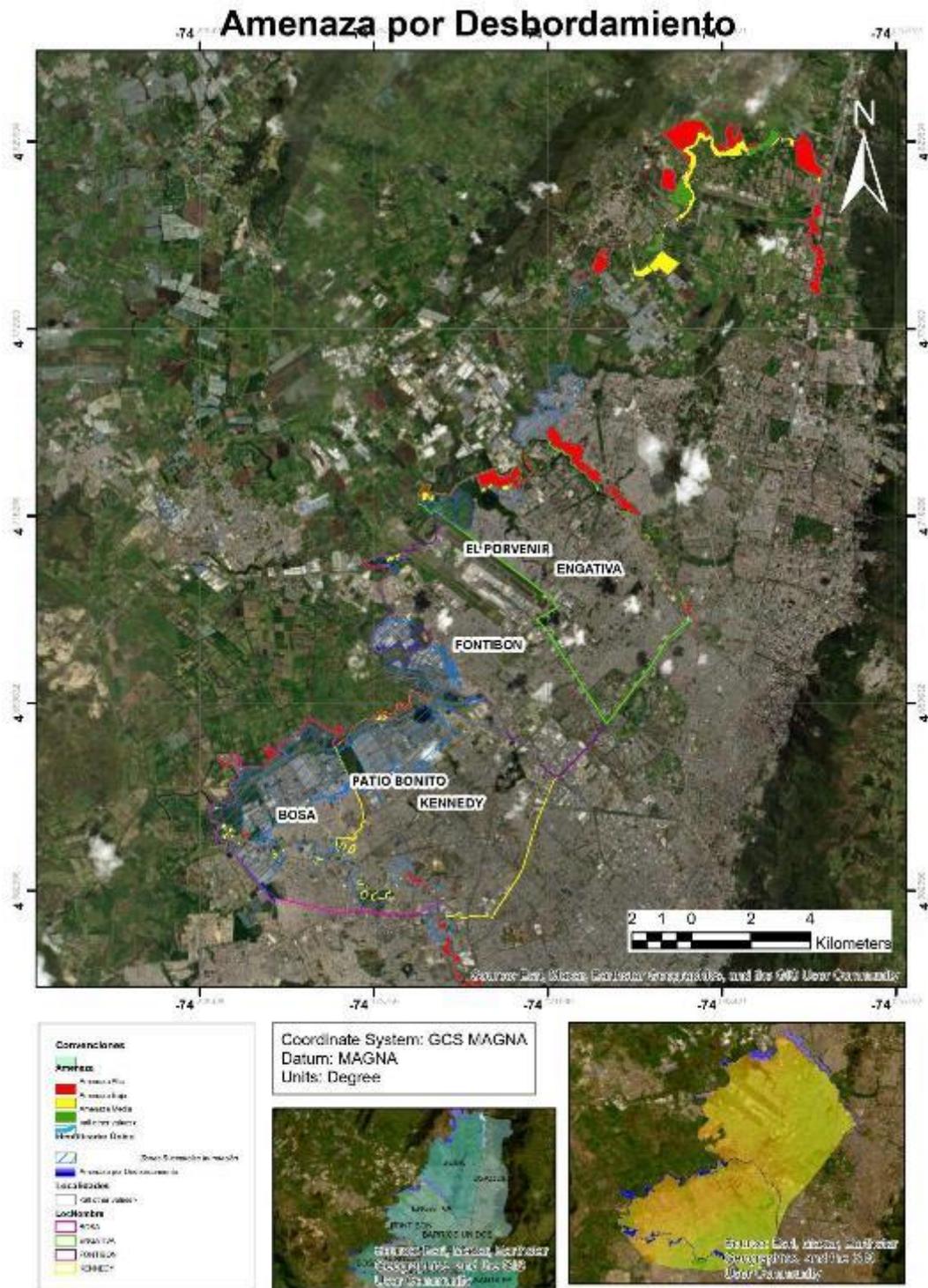
Teniendo en cuenta lo anterior, la alternativa que se propone para el manejo adecuado de las pluviales es un sistema integrado de drenaje que se complementen.

Drenaje de gestión del agua residual y pluvial en Bogotá:

Históricamente Bogotá en su plan de desarrollarse como ciudad no tomó en cuenta la parte hidrológica impermeabilizando grandes extensiones lo cual afectó de manera directa a los cuerpos de agua y drenajes naturales como lo redacta: (Bernal Rojas, 2022, #37 [16]) Las principales avenidas de Bogotá se trazaron a lo largo de los cuerpos de agua de la sabana atravesando ríos, quebradas y humedales. En muchos casos se interpusieron las vías sobre quebradas, lo cual generó un desarrollo urbano crudo sin integración ecológica y degradado a través de los años la calidad paisajística de la ciudad.

Por otra parte, en la zona del Occidente por tema topográfico y geológico presenta mayor riesgo por inundación como lo comenta: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático [3], Las zonas más propensas a que se presenten inundaciones en Bogotá se encuentran al occidente de la ciudad, ya que corresponde a una zona plana con poca pendiente y baja capacidad para evacuar caudales”

En los siguientes mapas se puede detallar los riesgos por inundaciones y desbordamientos en la localidad de Kennedy



Mapa 1: Amenazas por desbordamientos e inundaciones en Bogotá
Fuente: Autores

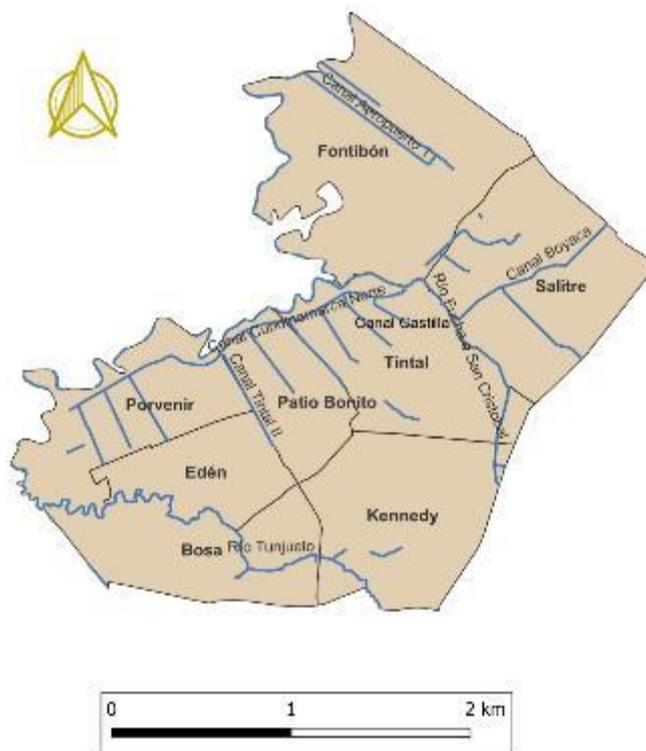
Sobre el mapa 1 En la UPZ de Kennedy los sectores de Tintal norte, Patio Bonito pertenecen a la cuenca del Tintal y se encuentran debajo de las cotas del río de Bogotá, estos lugares son áreas propensas a inundaciones y encharcamientos.

En un estudio de (Herrera, 2019, [21]) concluyen qué: Los barrios de las UPZ Patio Bonito, El Tintal Norte, Las Margaritas y Calandaima están situados debajo de la cota del río Bogotá por lo tanto las poblaciones están expuestas a inundaciones debido a que la región corresponde al drenaje hídrico del occidente de la localidad de Kennedy asociado con las cuencas del Fucha, Tintal y Tunjuelo. En su geología este lugar está determinado hidrológicamente por la existencia de dos terrazas de niveles diferentes, de las cuales la más baja se conoce como el Tintal y forma parte del valle natural de inundación del río Bogotá, territorio que fue afectado por la inundación del 2011.

Cuencas sobre el área de estudio:

Bogotá posee una alta demanda de agua porque se rodean de diferentes embalses que satisfacen las necesidades y cuenta con cuencas importantes que hacen parte de la estructura ecológica principal como lo mencionan:

“Bogotá, al ser la capital de Colombia, posee una alta demanda de agua potable y la forma de satisfacerla ha sido a través de los embalses de la Regadera, Chingaza y Tibitoc para una población promedio de 8 millones de habitantes; al mismo tiempo la ciudad se sitúa entre tres importantes cuencas como lo son la del Río Salitre, Fucha y Tunjuelo” (Florez, 2018) [13] En la UPL del Tintal se rodea del Río Fucha y canales como: Canal Américas, Canal Cundinamarca y el Canal Castilla que es el Canal donde se hará el estudio.



Mapa 2: Cuerpos de agua naturales y artificiales del área de estudio.
Fuente: Autores

En el Mapa 2 se identifican los cuerpos de agua alrededor del área de estudio, siendo de gran importancia la cuenca del Río Fucha y el canal de Cundinamarca, los cuerpos de agua desembocan al Río de Bogotá.

Sistema de drenaje en la ciudad de Bogotá:

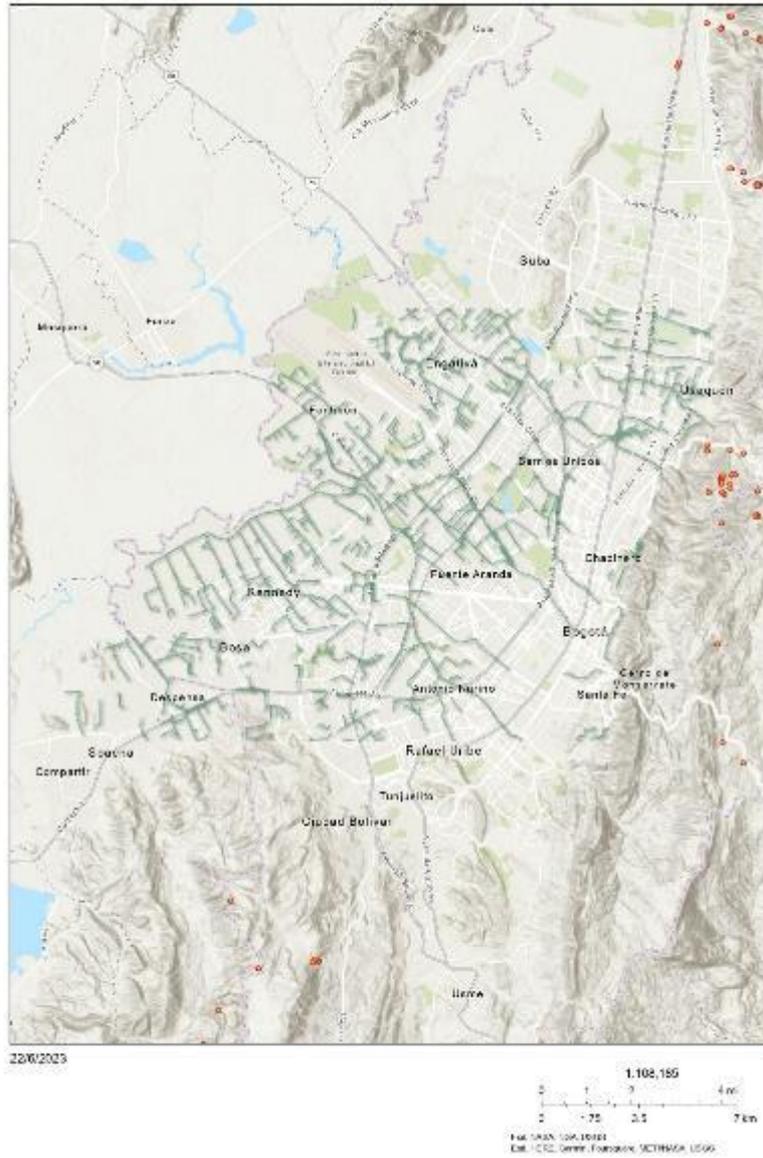
Sobre el drenaje de Bogotá ha tenido problemas con el sistema, como lo comentan en (Molina León et al., 2011, 7) [2]: En los últimos años, debido al rápido desarrollo urbano, los sistemas de drenaje urbano que forman parte del sistema de saneamiento de cualquier ciudad se han visto sobrepasados en capacidad en tiempo de lluvias debido a la gran cantidad de agua pluvial que estos reciben procedentes de zonas urbanas impermeables. En este proceso de endurecimiento, se han dejado de lado coberturas vegetales que interceptan la lluvia por techados y suelos impermeables, las cuales se caracterizan por tener un umbral de escorrentía muy bajo. Además, otro de los problemas es el sistema de drenaje combinado lo que significa la gestión de agua lluvia y residual, lo que afecta la capacidad y la calidad del agua.

Históricamente Bogotá en su plan de desarrollarse como ciudad no tomó en cuenta la parte hidrológica impermeabilizando grandes extensiones lo cual afectó de manera directa a los cuerpos de agua y drenajes naturales.

Los mapas que se encuentran a continuación nos detalla el red de drenaje en Bogotá lo cual se identifica que en el área de estudio hay drenaje de pluvial (mapa #3) y el alcantarillado (mapa #4); en poca palabras existe alcantarillado separado esto se debe a que en la década de los cincuenta se dio un hito importante que lo explica (Gomez, n.d., 28): Como decisión de importancia se debe mencionar que el plan maestro cambió de los alcantarillados combinados existentes a alcantarillados separados donde se condujeran por conductos diferentes las aguas negras y las aguas pluviales. Desde ese momento los desarrollos nuevos en materia de alcantarillados en la ciudad han sido de tipo separado. Igualmente, a partir de ahí, y aproximadamente cada década, ha habido un estudio importante que revisa y actualiza el plan maestro de alcantarillado de la ciudad.

Ahora estos sistemas de drenaje tipo separado tienen sus beneficios como lo explica en su artículo (Gomez, n.d., 28) [19]: Los alcantarillados separados son más costosos de implementar inicialmente en una ciudad, pero sus beneficios se ven en el momento en el que se deban realizar las obras de tratamiento de las aguas negras; adicionalmente permite un mejor desarrollo urbanístico de la ciudad ya que con ellos se puede, en esencia, proteger de la mejor manera los cuerpos de agua internos a una ciudad al evitar que las descargas de aguas negras puras y de reboses de alcantarillados combinados caigan a ellos.

Drenaje Pluvial



Mapa #3: Drenaje Pluvial de la Ciudad de Bogotá
Fuente: Autores.

Escorrentía en el área de Estudio:

En el área de estudio donde se encuentra la microcuenca de la castilla, se obtuvieron los siguientes datos para obtener un resultado estimado sobre la escorrentía.

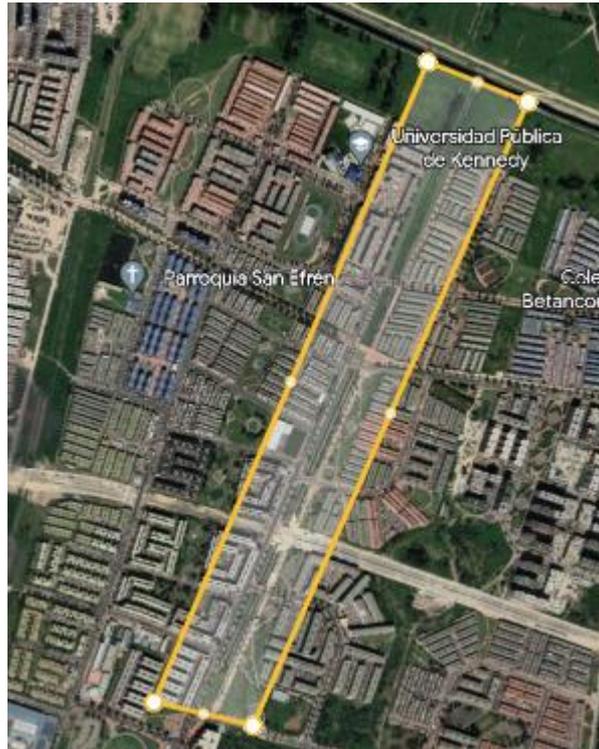


Imagen #1: Área de influencia: Canal Castilla.

Sobre la influencia de la microcuenca:

Para hallar el valor de la escorrentía o Caudal máximo se tomó la teoría del Método racional y con cálculo de intensidad máxima de caudal con Dick y Peschke en un programa llamado HIDROESTA.

Consistió en utilizar información de precipitación máxima en la zona de influencia desde 1981 hasta el 2021 a escala mensual, luego se ha formado la serie anual tomando el valor máximo por año. Los datos fueron obtenidos por la NASA, luego se utilizó el modelo Dick y Peschke para hallar la intensidad máxima de precipitación pluvial con un periodo de retorno de 10 años.

Según lo citado en (Chiarito et al., 2018, 2) [17]: El método racional fue desarrollado por Mulvaney (1850) cuya propuesta se basa en que dada una cuenca de área A con un tiempo de concentración T_c , si se produce una lluvia P con duración $D=T_c$, el caudal generado en el punto de salida será el máximo,

ya que estará aportando toda la cuenca. El método plantea una proporcionalidad entre el caudal máximo y la intensidad de lluvia y puede expresarse como:

$$Q = C_u * C_i * A$$

Donde: Q es el caudal de diseño (L3 /T), Cu es el coeficiente de conversión de unidades, C es el coeficiente de escurrimiento (adimensional), i es la intensidad de la precipitación de diseño (L/T), y A es el área de drenaje de cuencas (L2).

Coeficiente de escurrimiento:

Como lo comenta (Chiarito et al., 2018, 2) [17]: El coeficiente de escurrimiento C, es la variable que presenta mayor incertidumbre en su determinación, y representa una relación adimensional entre la lámina de escorrentía superficial generada por una determinada cuenca y la lámina de la precipitación. El coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie y de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico. Las superficies que son relativamente impermeables como las calles y plazas de aparcamiento tienen coeficientes de escorrentía que se aproximan a uno. Las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más bajas (cercanas a 0).

Intensidad Máxima Pluvial:

Como lo comentan (Chiarito et al., 2018, 3) [17] La intensidad media máxima, se determina a partir de curvas Intensidad-Duración-Recurrencia (IDR) construidas con datos medidos en el sitio en estudio. Con dichas curvas se adopta una duración de diseño igual al tiempo de concentración de la cuenca y para una recurrencia especificada se obtiene la intensidad media máxima. El tiempo de concentración de una cuenca, Tc, se define como el tiempo que demora el sector más alejado de la cuenca en aportar a la sección de salida.

El tiempo de concentración se calcula como la suma de los tiempos de escurrimiento mantiforme (no encauzado) y el tiempo de flujo canalizado (encauzado). Pueden existir varios recorridos posibles de flujo para las diferentes áreas drenadas, el mayor tiempo de concentración de todos los tiempos, para los diferentes recorridos, es el tiempo de concentración crítico a adoptar para el área drenada.

Fórmula Dick-Peschke.

$$P_d = P_{24}(d/1440)^{0.25}$$

Donde:

Pd:	Precipitación	total	(mm)
d=	Duración	en	Minutos

P24: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

De acuerdo con (Gamarra Mendoza, 2021, [18]) La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración. Una metodología enfocada en la regionalización de los regímenes de precipitación máxima es tratada en el Manual de Drenaje para Carreteras (Instituto Nacional de Vías - Colombia, 2009), es del cálculo de curvas IDF por método simplificado, la cual recomienda su aplicación cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos).

Ahora para hacer el modelo en el programa hidroesta se tomó los anteriores datos pluviométricos:

Location: Latitude 4.6528 Longitude -74.1513
 Longitud de la microcuenca: 1349.33 m
 Área: 32.3 Ha.
 Área: 32,3 Ha
 Pendiente de 1.13 %.
 Periodo de Retorno: 10 años
 Textura del suelo: Es cobertura de zona urbana de residencias familiares simples

AÑO	Precipitación		Precipitación		Precipitación	
	Max mensual	AÑO2	n Max	AÑOS	n Max	
1981	374,41	1995	295,31	2009	189,84	
1982	305,86	1996	258,4	2010	284,77	
1983	268,95	1997	226,76	2011	300,59	
1984	284,77	1998	242,58	2012	284,77	
1985	258,4	1999	300,59	2013	337,5	
1986	305,86	2000	400,78	2014	247,85	
1987	263,67	2001	221,48	2015	195,12	
1988	295,31	2002	326,95	2016	290,04	
1989	284,77	2003	216,21	2017	300,59	
1990	290,04	2004	232,03	2018	305,86	
1991	221,48	2005	174,02	2019	316,41	
1992	258,4	2006	247,85	2020	326,95	
1993	290,04	2007	168,75	2021	194,6	
1994	300,59	2008	168,75			

Tabla #2: Precipitación máxima mensual en el área de estudio con datos obtenidos de la NASA.

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos del programa Hidroesta fueron:

Ecuacion
$I_{max}=2118,2278*^{(0,7500)}+D^{(0,7500)}$

Tabla #3: Ecuación de la Intensidad Máxima
Fuente: Autores

R	0,9804
R2	0,9804
Se	17,3436
Periodo de Retorno	10 años
Tiempo de concentracion o duracion tc	28,34
Intensidad maxima	274,47
Coefficiente	0,5
Caudal maximo Q	12,292 m3/s

Tabla #4: Datos obtenidos de la modelación.



Imagen #2: Programa Hidroesta, modelado con el área de influencia.

Sobre la Imagen #2 se evidencia que el caudal máximo sobre el canal Castilla es aproximadamente 12,30 m³/s, siendo un caudal alto dado que es un suelo impermeable puede que el canal no soporte durante una lluvia fuerte y duradera provocando encharcamientos e inundaciones.

Para el control de las aguas lluvia y aguas de escorrentía, el cual comprende los siguientes elementos:

1. Alcorques inundables
2. Zanjas de infiltración
3. Zonas de bioretención
4. Cunetas verdes

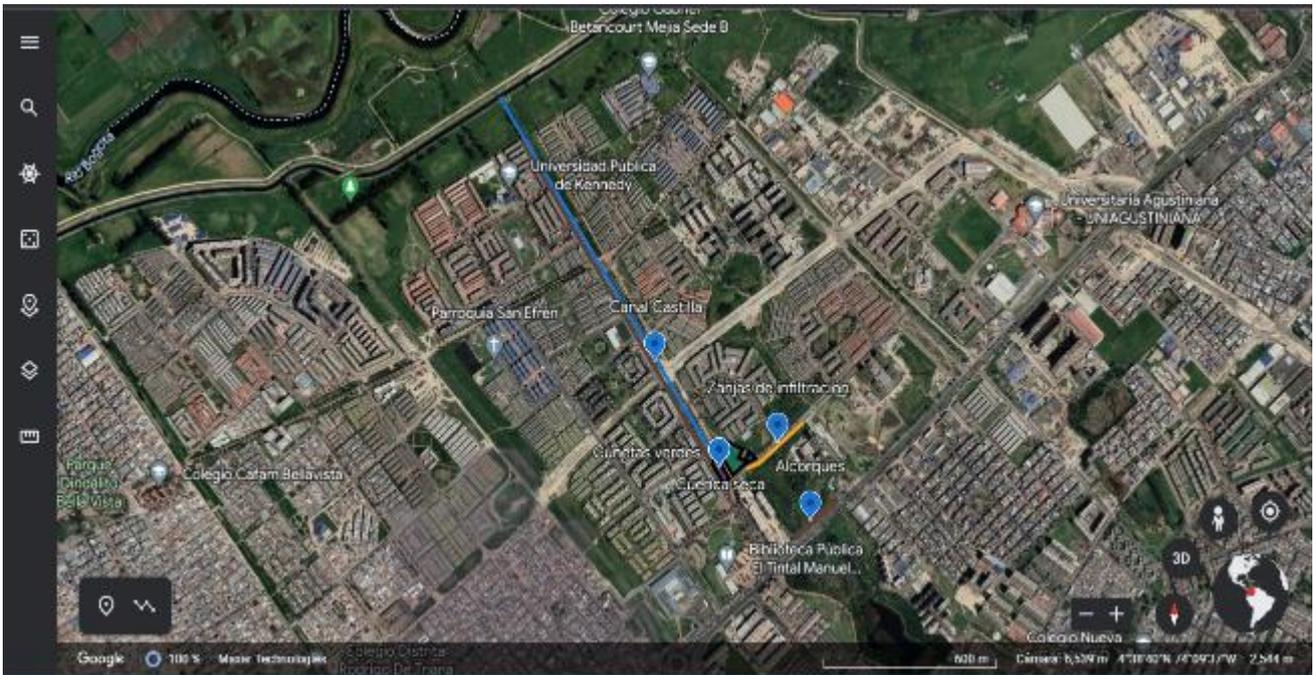


Imagen 1, Zona de estudio.

Fuente: autores.

La propuesta de instalación de estos sistemas, teniendo en cuenta las condiciones de la zona de estudio y las características de los SUDS, se propone realizarlas en las siguientes zonas:

1. Zona 1 - Canal Castilla: Este canal cuenta con una longitud de 1.200 metros, en los cuales se propone instalar 240 alcorques inundables distribuidos cada 5 metros de distancia para asegurar la captación del agua lluvia y mejorar sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas previo al ingreso del canal.

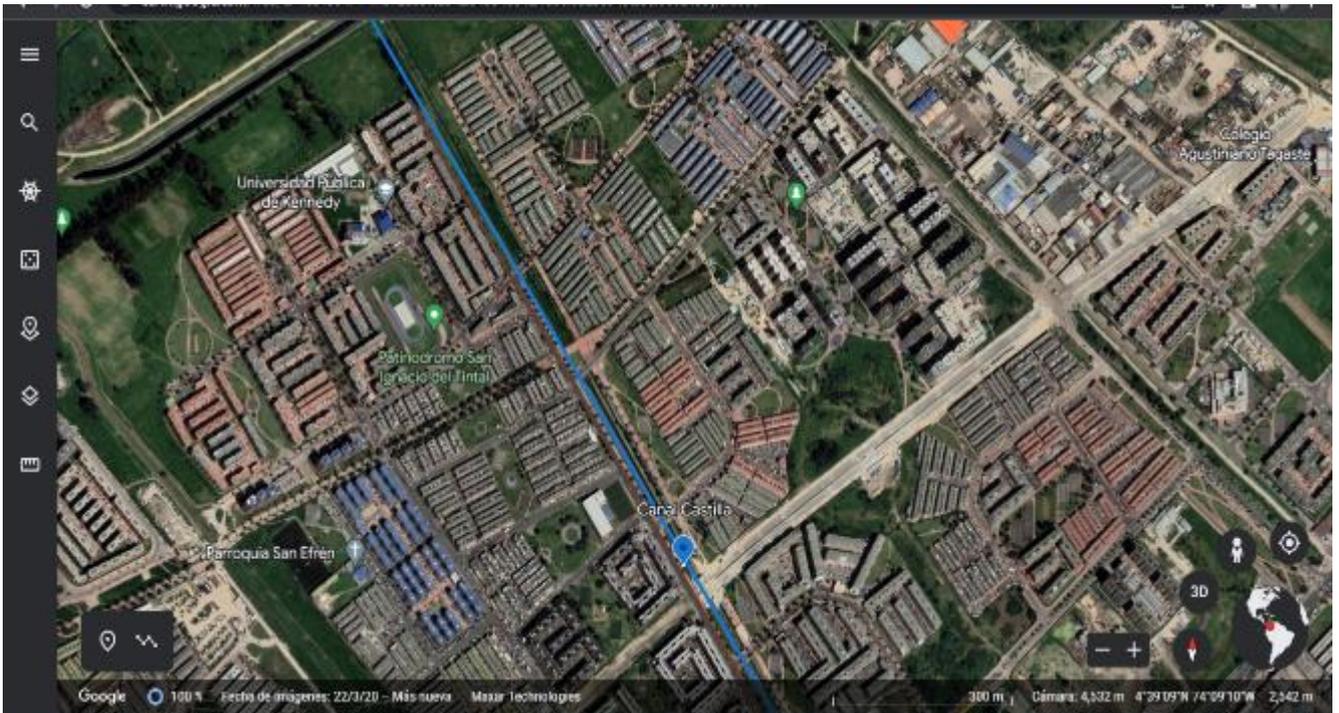


Imagen 2, Zona 1 - Canal Castilla
Fuente: autores.

2. Zona 2 - zona verde ingreso canal Castilla: esta zona cuenta con un área aproximada de 1.957 m², en el cual se propone la instalación de dos cunetas verdes de 78 metros de longitud en el sitio propuesto.



Imagen 3, Zona 2 - zona verde
Fuente: autores.

3. Zona 3 - parque de bolsillo: en esta zona se propone la instalación de una cuenca seca de drenaje extendido que conecte con la zona 2 con el fin de mejorar la calidad del agua que recibe el canal y evitar el encharcamiento de la vía que pasa al costado del parque. Esta zona cuenta con un área de 6.690 m².

4. Zona 4 - Humedal El Burro: en esta zona se propone la instalación de 554 metros lineales de zanjas de infiltración a los costados del humedal para mejorar la calidad del agua que ingresa a este ecosistema.

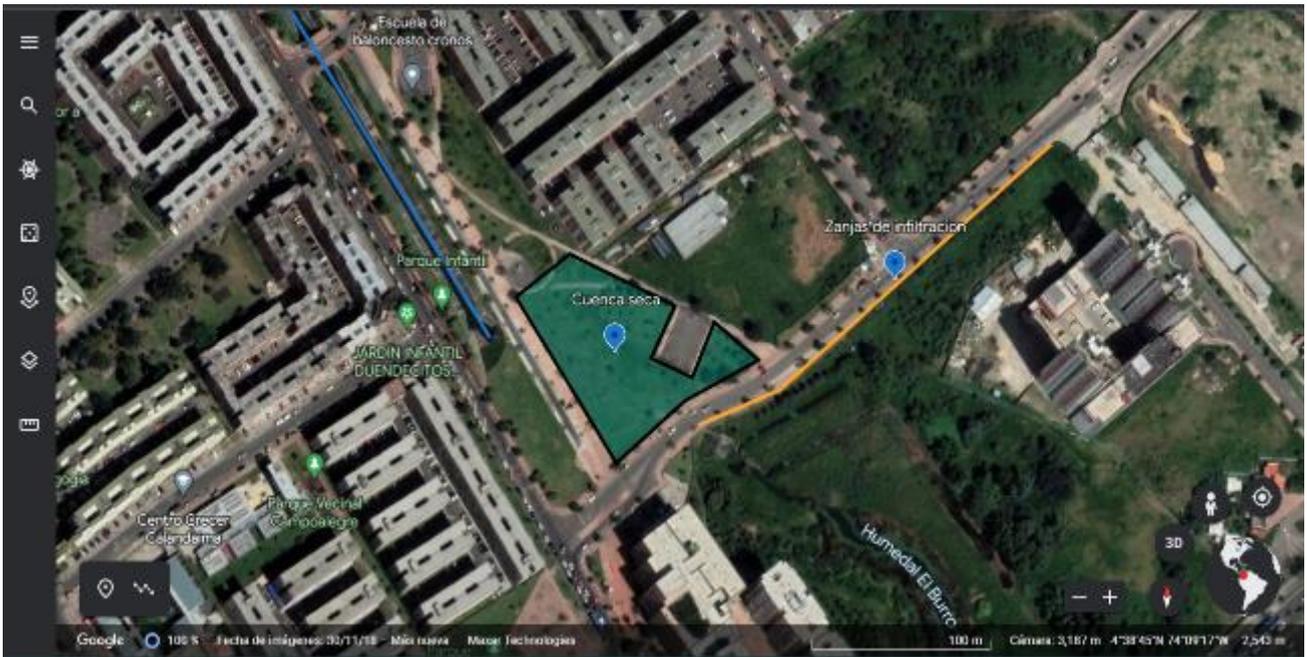


Imagen 4, Zona 3 y 4.

Fuente: autores

4. CONCLUSIÓN

Con la propuesta de la instalación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible se pretende mejorar la calidad del agua que reciben los cuerpos de agua de la zona de estudio, enriqueciendo la estructura ecológica principal, recuperando los ecosistemas presentes y contribuyendo con la mejora del espacio público para el disfrute de la población.

La propuesta en el canal castilla puede generar que las aguas pluviales en el sector puedan infiltrarse de manera mas eficiente al suelo y se pueda disminuir los niveles de escorrentías superficiales por las zonas impermeables y por ende disminuir el caudal hacia el rio de Bogotá que es donde desemboca. Es necesario que se implementen estos sistemas urbanos de drenaje sostenibles en el sector por el nivel del suelo que esta sobre el Rio Bogotá por que su capacidad en tiempos de retención de lluvias es mínima y genera riesgos en inundaciones y encharcamientos.

Para hacer un sistema de drenaje urbano sostenible se necesitan mas datos para poder estudiar detalladamente las zonas de estudio como también hacer modelaciones, además personal capacitado para hacer este tipo de sistemas complejos.

Con los datos generados de precipitación en la zona multianual el problema de encharcamientos e inundaciones puede ser mas frecuente por el aumento de lluvias en el sector, siendo para Bogotá una estrategia para la adaptación del Cambio Climático.

Estos sistemas ayudarían a poder filtrar contaminantes y mejor la calidad del agua hacia el rio de Bogotá

A pesar de ser una propuesta si es necesario tomar acciones encaminadas a la adaptación al cambio climático y estos sistemas podrían disminuir los riesgos comentados en el artículo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CIIA, C. D. (2017). Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá DC. Bogotá DC.

[2] Molina, M. P., Gutiérrez, L., & Salazar, J. (2021). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE SUDS PARA EL PLAN DE ORDENAMIENTO ZONAL NORTE POZN. SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE.
http://observatoriagua.uib.es/repositori/suds_colombia_suds.pdf

[3] ESTUDIOS NACIONALES DEL AGUA - ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA - IDEAM. (s/f). Gov.co. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua>

[4] Tang, S., Jiang, J., Zheng, Y., Hong, Y., Chung, E.-S., Shamseldin, A. Y., Wei, Y., & Wang, X. 2021. Robustness analysis of storm water quality modelling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring. The Science of the Total Environment, 753(142007), 142007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.14200>

[5] Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Rodríguez Sánchez, J. P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review.

The Science of the Total Environment, 806 (Pt 2), 150447.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>

[6] Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G. (2019). An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of Environmental Management*, 231, 504–514. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.046>

[7] Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J., & Ballester Muñoz, F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). *Interciencia*, 30(5), 255-260.

[8] Cubides, E. D., & Santos, G. E. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS): Pozos/zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42.

[9] Perales Momparler, S., Andrés Doménech, I., & Fernández Escalante, A. E. (2008, January). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana. In Grupo TRAGSA Madrid. IX Simposio de Hidrogeología. AIH. Elche, Valencia (pp. 1-12).

[10] Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño, Santiago, Chile, 1996, pp. 670.

[11] EAAB (2018), Norma Técnica NS-166-CRITERIOS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. <https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%CC%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanosde-drenaje-sostenible-pdf/>

[12] Martínez Acosta, José A. Universidad de Los Andes. 2017. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS EN ÁREAS RESIDENCIALES, A PARTIR DE SIG. CASO DE ESTUDIO BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

[13] Florez, L. F. (2018). Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (suds) con mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre. Universidad El Bosque. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3307/Florez_Cardozo_Luisa_Fernanda_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[14] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (n.d.). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación. IDIGER. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

[15] Ruiz Murcia, J. F., & De Jesús Escobar García, O. F. (2012). ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANTE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ. IDEAM.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+%28Ruiz+y+Escobar%29.pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1>

[16] Bernal Rojas, R. M. (2022). Diseño de un suds para la avenida circunvalar de oriente entre la calle 50 sur a la calle 42c sur. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d551d15f-1475-419d-b976-a8698381eab8/content>

[17] Chiarito, E., Zimmermann, E., & Mendez Zacarias, S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección.) CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina., 24, 25-36. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7260049.pdf>

[18] Gamarra Mendoza, M. C. (2021). Metodología para la estimación de parámetros de cálculo de tormentas de diseño con datos pluviométricos en Bolivia. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, 1(1), 4. <https://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/download/29/29/57>

[19] Gomez, E. G. (n.d.). ¿Combinar o separar? Una discusión con un siglo de antigüedad y de gran actualidad para los bogotanos. Universidad de los Andes. <https://core.ac.uk/download/pdf/268121205.pdf>

[20] Haydar, S. T. (2015). ¿Separar o combinar las aguas de drenaje urbano? El caso de las ciudades con alto porcentaje de autoconstrucción. Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18751/u722210.pdf?sequence=1#:~:text=Cuando%20las%20aguas%20lluvias%20y,se%20conoce%20como%20alcantarillado%20separado>

[21] Herrera, E. (2019). Caracterización General de Escenarios de Riesgo. Alcaldía Mayor de Bogotá. <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/314085/PLAN+LOCAL+DE+GESTION+DE+RIESGO+KENNEDY/3a2cdcc5-17f7-475f-b499-56b0a3670d6c>

[22] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, o, Instituto Alexander von Humboldt, & Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2014). EVOLUCIÓN DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DURANTE LOS FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA EN BOGOTÁ - CUNDINAMARCA (1951 - 2012). Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).

[23] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (n.d.). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación. IDIGER. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

[24] Molina León, M. P., Gutiérrez, L., & Salazar, J. (2011). Sistemas Urbanos Sostenibles. Secretaria Distrital de Ambiente. http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_colombia_suds.pdf

[25] Ruiz Murcia, J. F., & De Jesús Escobar García, O. F. (2012). ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANTE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ. IDEAM.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Bogota+%28Ruiz+y+Escobar%29.pdf/13e1c051-d085-45b6-8bb0-d1c86df1beb1>