

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA
MITIGACIÓN DE RIESGO POR REBOSAMIENTO DEL ALCANTARILLADO EN EL BARRIO SANTA CECILIA DE
LA LOCALIDAD DE SUBA.**

INTEGRANTES:

PAULA ALEJANDRA MORENO PULIDO. Código: 1411322

LADY JULIANA ROA GRANJA. Código: 1420092

SHIRTH JERET VELA PRIETO. Código: 1320208

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

JULIO 30 DE 2021

**ANÁLISIS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA
MITIGACIÓN DE RIESGO POR REBOSAMIENTO DEL ALCANTARILLADO EN EL BARRIO SANTA CECILIA DE
LA LOCALIDAD DE SUBA.**

TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTORA:

ING. YURI ALEJANDRA CAICEDO PÁEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

JULIO 30 DE 2021

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado**Bogotá, julio de 2021.**

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de grado está dedicado principalmente a Dios por brindarnos la capacidad y fuerza para continuar este proceso y lograr el objetivo que nos establecimos adicionalmente nuestros padres y abuelos quienes han sido una parte fundamental de nuestra formación académica con cada voz de aliento, conocimiento y esfuerzo durante todos estos años.

Agradecemos a la Ingeniera Yuri Alejandra Caicedo Páez, directora de investigación en este trabajo de grado, quien nos ha guiado e incentivado la realización de un trabajo investigativo que busca implementar las bases del desarrollo sostenible en pro de la comunidad.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Piloto de Colombia por formarnos durante estos años y ser nuestra alma mater en conocimientos y formación ética la cual aplicaremos en nuestra vida profesional.

Lady Juliana Roa Granja, Paula Alejandra Moreno Pulido, Shirth Jeret Vela Prieto.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	10
2	LINEA DE INVESTIGACION	11
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4	JUSTIFICACIÓN	12
5	ANTECEDENTES	12
5.1	ANTECEDENTES DE INUNDACIONES EN BOGOTÁ	12
5.2	INUNDACIONES EN SUBA.....	15
5.3	INUNDACIONES EN SANTA CECILIA	17
5.4	ANTECEDENTES SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE COMO SOLUCIÓN.....	19
6	OBJETIVOS	21
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	21
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
7	MARCO DE REFERENCIA.....	21
7.1	MARCO GEOGRÁFICO.....	21
7.2	MARCO CONCEPTUAL.....	26
7.3	MARCO TEÓRICO.....	27
7.3.1	CAMBIO CLIMÁTICO.....	27
7.3.2	INUNDACIONES	28
7.3.3	ASENTAMIENTOS INFORMALES	31
7.3.4	SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)	32
7.4	MARCO LEGAL.....	36
8	MÉTODO Y METODOLOGÍA	38
8.1	METODOLOGÍA	38
8.2	MÉTODO Y ANÁLISIS	47
8.2.1	DATOS PRELIMINARES A LA MODELACIÓN.....	47
8.2.2	SIMULACIÓN SISTEMA DE ALCANTARILLADO ACTUAL	49
8.2.3	SIMULACIÓN SISTEMA DE ALCANTARILLADO ACTUAL MÁS EL SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE.	57
8.2.4	COMPARATIVO DE RESULTADOS OBTENIDOS	60
9	RECOMENDACIONES.....	64
10	CONCLUSIONES.....	65
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

12	ANEXOS.....	72
-----------	--------------------	-----------

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Eventos de inundaciones y encharcamientos en la ciudad de Bogotá por localidad (septiembre-diciembre, 2020).....</i>	13
Ilustración 2. <i>Inundación Barrio San Benito Localidad de Tunjuelito.....</i>	14
Ilustración 3. <i>Lluvias causan caos de movilidad en Bogotá.....</i>	14
Ilustración 4. <i>Emergencia en Suba.....</i>	16
Ilustración 5. <i>Suba Afectada por las Lluvias.....</i>	17
Ilustración 6. <i>Mapa zonificación riesgo de inundación Tibabuyes.....</i>	18
Ilustración 7. <i>Inundación Barrio Santa Cecilia.....</i>	19
Ilustración 8. <i>Mapa localización de Suba dentro de la ciudad de Bogotá.....</i>	23
Ilustración 9. <i>Mapa UPZ Tibabuyes (Anexo A).....</i>	24
Ilustración 10. <i>Mapa del barrio Santa Cecilia dentro de la UPZ Tibabuyes (Anexo B).....</i>	25
Ilustración 11. <i>Esquema de estructura pozo de infiltración.....</i>	34
Ilustración 12. <i>Cuadro Comparativo de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.....</i>	38
Ilustración 13. <i>Mapa con la ubicación de la calle 129 C # 159 B dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	41
Ilustración 14. <i>Estado actual de la calle 129 C # 159 B en el barrio Santa Cecilia.....</i>	41
Ilustración 15. <i>Mapa con la ubicación de la calle 135 # 160 dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	42
Ilustración 16. <i>Estado actual de la calle 135 # 160 en el Barrio Santa Cecilia.....</i>	42
Ilustración 17. <i>Mapa con la ubicación de la calle 131 A # 159 dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	43
Ilustración 18. <i>Estado actual de la calle 131 A # 159 en el Barrio Santa Cecilia.....</i>	43
Ilustración 19. <i>Mapa con la ubicación de la calle 131 B # 159 dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	44
Ilustración 20. <i>Estado actual de la calle 131 B # 159 en el Barrio Santa Cecilia.....</i>	44
Ilustración 21. <i>Mapa con la ubicación de la carrera 157 A # 136 dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	45
Ilustración 22. <i>Estado actual de la calle 157 A # 136 en el Barrio Santa Cecilia.....</i>	45
Ilustración 23. <i>Mapa con la ubicación de la carrera 159 C # 129 C dentro del Barrio Santa Cecilia.....</i>	46
Ilustración 24. <i>Estado actual de la carrera 159 C # 129 C en el Barrio Santa Cecilia.....</i>	46
Ilustración 25. <i>Gráfica Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Cerros de Suba.....</i>	48
Ilustración 26. <i>Red principal y red local del sistema de drenaje de alcantarillado actual.....</i>	50
Ilustración 27. <i>Dibujo de la zona de estudio y su red de drenaje en el software EPA-SWMM.....</i>	51
Ilustración 28. <i>Asignación de características para nodos.....</i>	51
Ilustración 29. <i>Asignación de características para conductos.....</i>	52

Ilustración 30. <i>Asignación de características para subcuencas</i>	53
Ilustración 31. <i>Conexión adicional de la tubería</i>	54
Ilustración 32. <i>Asignación de características para pluviómetro</i>	55
Ilustración 33. <i>Asignación serie temporal de lluvias</i>	56
Ilustración 34. <i>Ejecución exitosa del programa</i>	56
Ilustración 35. <i>Implementación de la herramienta LID- Barriles de lluvia</i>	57
Ilustración 36. <i>Asignación del SUDS a la cuenca</i>	57
Ilustración 37. <i>Asignación de las características para los pozos de infiltración</i>	58
Ilustración 38. <i>Asignación de barriles de lluvia en la zona</i>	59
Ilustración 39. <i>Ejecución exitosa de la red con los barriles de lluvia implementados</i>	59
Ilustración 40. <i>Grafica de inundación del sistema de alcantarillado actual</i>	60
Ilustración 41. <i>Grafica de inundación del sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado</i>	60
Ilustración 42. <i>Mapa de inundación sistema de alcantarillado actual</i>	61
Ilustración 43. <i>Mapa de inundación sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado</i>	61
Ilustración 44. <i>Mapa de flujo sistema de alcantarillado actual</i>	62
Ilustración 45. <i>Mapa de flujo sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado</i>	62
Ilustración 46. <i>Perfil de red principal sistema de alcantarillado actual</i>	63
Ilustración 47. <i>Perfil de red principal sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado</i>	63

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. <i>UPZ Amenazadas por Inundación</i>	15
Tabla 2. <i>Cifras demografía y población localidad de Suba</i>	22
Tabla 3. <i>Cifras demografía y población UPZ Tibabuyes, Suba y Bogotá</i>	24
Tabla 4. <i>Categorías de evaluación, amenaza alta, media y baja</i>	30
Tabla 5. <i>Ventajas y desventajas de los pozos de infiltración</i>	35
Tabla 6. <i>Puntos recurrentes ante deficiencias de drenaje del sistema de alcantarillado (inundaciones y encharcamientos) en el barrio Santa Cecilia</i>	40
Tabla 7. <i>Información de precipitaciones estación Colegio 21 Ángeles</i>	47
Tabla 8. <i>Información de precipitaciones estación Colegio Alberto Lleras Camargo</i>	47
Tabla 9. <i>Períodos de retorno de acuerdo a la resolución 0330 de 2017</i>	48
Tabla 10. <i>Intensidad de lluvia para diferentes periodos de duración</i>	49

RESUMEN

Esta investigación tiene como finalidad identificar y analizar la implementación de un sistema de drenaje sostenible (SUD) que funcione adecuadamente para las condiciones de inundabilidad que presenta el barrio Santa Cecilia en la Localidad de Suba en la Ciudad de Bogotá, Colombia. De acuerdo con lo anterior, esta zona presenta problemas con los sistemas de drenaje de aguas lluvia (sistema de alcantarillado), niveles de pendiente muy bajos en la zona que dificultan la correcta evacuación de los caudales y el aumento acelerado y no planificado en la urbanización del suelo provocando la reducción de la capacidad de absorción del terreno.

Para abordar la problemática existente en el sector, el sistema contemplado corresponde a los pozos de infiltración que permiten el ingreso del agua proveniente de las precipitaciones a través de la capa superior o de una red de conductos al pozo, posteriormente se realiza el proceso de filtración para reducir contaminantes de la misma y finalmente pasa a infiltrarse a través de las paredes del pozo hacia el terreno, posibilitando la recarga de acuíferos.

De este modo, las características estructurales y de funcionabilidad hacen que este sistema sea el más adecuado para las condiciones y limitantes de la zona de investigación, orientado en mejorar las dinámicas, bienestar y condiciones de calidad de vida de los habitantes del sector.

Así mismo, esta investigación se enfoca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11, el cual se denomina “Ciudades y comunidades sostenibles”.

ABSTRACT

This investigation has purpose to identify and analyze the implementation of a sustainable drainage system (SUD) that works adequately for the flood conditions that the Santa Cecilia neighborhood presents in the town of Suba in the City of Bogotá, Colombia. In accordance with the above, this area has problems with the rainwater drainage systems (sewerage system), very low slope levels in the area that make it difficult to properly evacuate the flows and the accelerated and unplanned increase in the urbanization from the soil causing the reduction of the soil's absorption capacity.

To address the existing problems in the sector, the system contemplated corresponds to infiltration wells that allow the entry of water from rainfall through the upper layer or a network of conduits to the well, then the filtration process is carried out to reduce pollutants from it and finally it infiltrates through the walls of the well into the ground, making it possible to recharge aquifers.

In this way, the structural and functional characteristics make this system the most suitable for the conditions and limitations of the research area, aimed at improving the dynamics, well-being and quality of life conditions of the inhabitants of the sector.

Likewise, this research focuses on Sustainable Development Goal (SDG) number 11, which is called "Sustainable cities and communities".

1 INTRODUCCIÓN

Tomando como referencia el Estudio Nacional de Agua elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2018):

“Actualmente, Colombia cuenta 190.930 km² de condiciones favorables a inundación equivalentes a un 17% de territorio colombiano, la cual afecta directamente los ecosistemas y las estructuras socioeconómicas regionales, tal como se afirma en el estudio nacional del agua 2018 Colombia viene presentando una transformación antrópica de las zonas potencialmente inundables” (IDEAM, 2018).

Por otro lado, Bogotá se encuentra dividida por cuatro principales cuencas de drenaje donde las zonas más vulnerables a inundaciones se encuentran localizadas al occidente de la capital, siendo así una ciudad con un alto nivel de precipitaciones por su ubicación (IDEAM, 2018).

De acuerdo con lo anterior, este factor influye como evidencia de una problemática de infraestructura ya que en muchos sectores de la ciudad no cuentan con un sistema adecuado de recolección de aguas lluvias ocasionando inundaciones, encharcamientos y desbordamientos; incluso obstrucción de alcantarillados pluviales por causa de la escorrentía. Por esta razón, el análisis para la implementación de un sistema urbano de drenaje sostenible es una alternativa para barrios que cuenten con déficit de alcantarillados y estén propensos a la inundabilidad, así como las futuras urbanizaciones.

Como consecuencia de la problemática expuesta anteriormente, la investigación está establecida con el fin de implementar una solución a las inundaciones causadas por aguas lluvias en el barrio Santa Cecilia ubicado en la UPZ de Tibabuyes. Esta zona presenta un alto índice de desbordamiento desde 1986 (El Tiempo, 1986), por ende, se evidencia una problemática social que se lleva presentando hace más de 30 años en la zona de estudio.

Finalmente, esta investigación analiza que el sistema de drenaje propuesto cumpla con el mejoramiento de las condiciones actuales de drenaje de la zona, a través de la modelación del Sistema Urbano de drenaje Sostenible (SUDS) en el programa StormWater Management Model (EPA SWMM).

2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Sostenibilidad de la Infraestructura.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las inundaciones son uno de los riesgos naturales más comunes a nivel mundial, como lo expone el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER, (2021), exponiendo que éstas pueden ser ocasionadas por precipitaciones excesivas, huracanes, ciclones, maremotos entre otros, así mismo, también pueden ser suscitadas por causas humanas como lo son la falta de la capacidad de las redes de acueducto y alcantarillado, rompimiento y colapso de las tuberías, residuos sólidos que taponan los cauces y, por último, la obstrucción de sumideros y tuberías.

Por lo tanto, se convierten en un riesgo dependiendo de la interacción y el cambio que se produzca entre el medio y las actividades humanas “se consideran un recurso cuando las crecidas no superan los umbrales, pero cuando estos son rebasados, entonces hablamos de un riesgo” (Desenvolupament, 2021).

Sin embargo, en la zona de estudio se encuentra un crecimiento urbano, donde se evidencia aumento en el número de viviendas y urbanizaciones informales ubicadas en zonas con riesgo de inundación, como consecuencia de una factores socioeconómicos y vulnerabilidad. A su vez, estas ocupaciones se pueden producir porque la accesibilidad a estos terrenos para la construcción es mucho más fácil y económica, generando un verdadero inconveniente que tarde o temprano finalmente se traducirá en desastres según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT, 2014).

De acuerdo con dicha problemática, la investigación se enfoca en la ciudad de Bogotá, específicamente en el barrio Santa Cecilia, ubicada en la UPZ 71- Tibabuyes de la localidad de Suba. En esta se presentan inundaciones de tipo pluvial o lenta, debido a que: “al encontrarse al occidente de la ciudad corresponde a una zona plana con un nivel de pendiente muy baja, lo cual impide la efectiva evacuación de caudales” (IDIGER, 2021).

En consecuencia, la importancia del proyecto radica en la mitigación de la problemática en el sector, realizado a través de una investigación para implementar un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUD) ajustado a las características y requerimientos del sector. Además, se realiza un análisis hidrológico, un diagnóstico de la zona y una evaluación de los SUDS; de este modo, se presenta una solución a la pregunta planteada. ¿Es posible reducir o mitigar las inundaciones que se presentan en el barrio Santa Cecilia de la UPZ Tibabuyes?

4 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Hacienda (SHD, 2018) el barrio Santa Cecilia se encuentra en una zona de riesgo alto medio de inundación, y en temporada de lluvia aumenta dicha amenaza como consecuencia de la deficiencia y/o la baja capacidad de las redes de acueducto y alcantarillado, lo que se traduce directamente en afectaciones a las comunidades ya sea por pérdidas económicas o en el peor de los casos pérdidas humanas

Los asentamientos informales que allí se han generado son producto de la sub-urbanización, el crecimiento acelerado y baja capacidad económica de las personas de la zona, que les impide acceder a una vivienda digna con accesos a servicios básicos como agua potable, saneamiento, luz, y una óptima calidad estructural de sus viviendas así mismo como a terrenos aptos y seguros.

De acuerdo con lo anterior, la importancia de esta investigación radica en proponer un sistema urbano de drenaje sostenible que mitigue los impactos negativos que los fenómenos meteorológicos pueda generar a la comunidad protegiendo sus vidas, sus bienes y la integridad de estos.

5 ANTECEDENTES

A continuación, se expone una serie de antecedentes para contextualizar al lector, los cuales abarcan eventos de inundaciones ocurridos en la ciudad de Bogotá, principalmente en la localidad Suba y finalmente en el barrio Santa Cecilia (zona de estudio). Adicionalmente, se describen algunas soluciones que se han hecho frente a la problemática a través de la implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS.

5.1 ANTECEDENTES DE INUNDACIONES EN BOGOTÁ

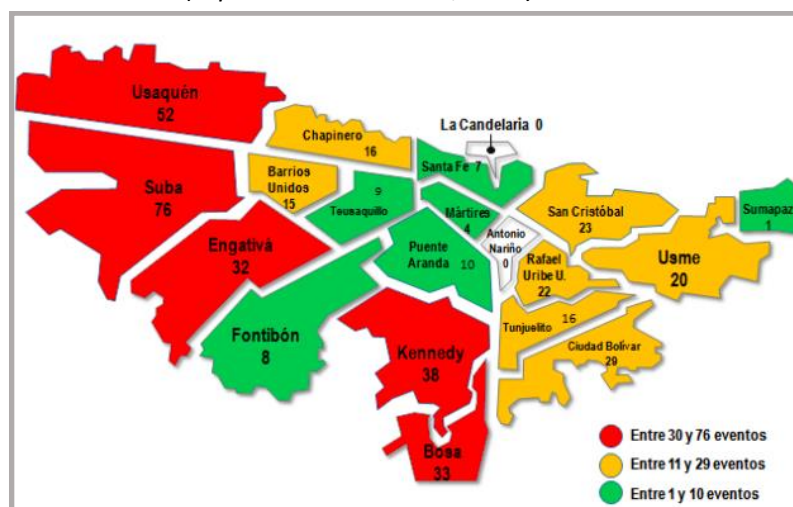
Bogotá se localiza dentro de la zona de confluencia intertropical, la cual cruza la ciudad dos veces al año, situación que la caracteriza por tener entre 150 a 200 días con lluvia en todo el año. Por lo anterior, a la capital se le atribuyen índices de precipitación elevadas como consecuencia de “ la continua deforestación de las cuencas y el proceso de impermeabilización que trae el acelerado desarrollo urbanístico de la ciudad” (IDIGER, 2018).

Por otro lado, los cambios en las dinámicas del suelo como resultado del crecimiento espontáneo y no planificado de urbanizaciones de bajos ingresos (asentamientos) generan una afectación directa tanto en el ciclo hidrológico como en la condición de absorción del suelo (superficies no permeables). El primer contexto, suscita a caudales de precipitación mayores que ingresan de forma

directa a los sistemas de drenaje de las aguas lluvias excediendo su capacidad hidráulica y en el segundo escenario provocan una reducción de la capacidad de percolación del agua en suelo, generando una respuesta más rápida de la esorrentía especialmente en zonas con pendientes más bajas.

Finalmente, durante los últimos 15 años las inundaciones en Bogotá vienen directamente vinculadas con los procesos de expansión de la ciudad y la incidencia del fenómeno de la Niña, desencadenando excesos de precipitación en áreas específicas del nororiente, centro y sur de la capital (IDIGER, 2018).

Ilustración 1. *Eventos de inundaciones y encharcamientos en la ciudad de Bogotá por localidad (septiembre-diciembre, 2020)*



Fuente: (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos, 2021).

Por ese motivo, a continuación, se presentan algunos casos de inundaciones de años previos que generaron afectaciones en la ciudad de Bogotá.

14 de mayo de 1996: San Benito con el agua hasta el cuello

El barrio San Benito el en suroccidente de Bogotá, sufrió inundaciones inicialmente por reflujo de los sistemas de alcantarillado del barrio y posteriormente por el desborde del río Tunjuelo, inundando más de 300 viviendas como consecuencia del colapso del jarillón de la quebrada La Chiguaza. De manera paralela, alrededor de 1200 personas de los barrios Isla del Sol, Santa Rosita y una pequeña parte del Meissen se vieron afectados debido a que la lámina de agua cubrió por completo las primeras plantas de sus viviendas, viéndose perjudicados electrodomésticos, mobiliario y enseres.

Según la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) “el aguacero que cayó en horas de la noche fue el más fuerte de los últimos 15 años” (El Tiempo, 1996)

Ilustración 2. Inundación Barrio San Benito Localidad de Tunjuelito



Nota: Imagen en colaboración con El Tiempo. Fuente: (Hemeroteca de Emergencias de Bogotá, 1996)

11 de noviembre de 2014: Inundaciones y caos por fuerte aguacero

18 Barrios de las localidades de Usaquén y Chapinero en el norte de la ciudad, se vieron afectados por las fuertes precipitaciones ocurridas en horas de la tarde, de acuerdo con la policía y el cuerpo de bomberos, los puntos más críticos se encontraron en corredores viales como en la carrera 9nª y las calles 134, 127, 113 y 100 con carrera 7mª.

El evento climatológico trajo consigo importantes inundaciones y encharcamientos provocando colapso en las principales vías arterias, de igual modo, varias personas quedaron atrapadas en las calles junto con sus automóviles; parqueaderos, locales inundados y caos en la movilidad de la ciudad fue el panorama que se atenuó hasta pasadas las ocho de la noche (El Tiempo, 2014).

Ilustración 3. Lluvias causan caos de movilidad en Bogotá



Nota: Imagen en colaboración con El Tiempo Panorama de la carrera 9nª con calle 106.

Fuente: (Hemeroteca de Emergencias de Bogotá, 2014)

5.2 INUNDACIONES EN SUBA

De acuerdo con el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2004), el panorama de las inundaciones mayormente se presenta hacia el noroccidente y suroccidente de la ciudad más precisamente en las localidades de Suba, Kennedy, Tunjuelito y Bosa. Para abordar el tema, es indispensable tener en cuenta que la primera causa del fenómeno es la deficiencia y baja capacidad de los sistemas de drenaje, por ser desarrolladas de manera espontánea y sin la respectiva planeación de los servicios de alcantarillados; la segunda, hace referencia al desbordamiento de los cauces.

“La localidad de Suba cuenta con 1622.8 hectáreas en zonas de amenaza por inundación, de las cuales 604.32 se encuentran urbanizadas. Allí, las áreas de amenaza alta corresponden al 71.12 % (1153.74 hectáreas), las áreas de amenaza media al 18.17% (294.81 hectáreas) y las áreas de amenaza baja al 10.71% (173.62 hectáreas), siendo las UPZ Tibabuyes y Guaymaral las de mayor riesgo” (Serrano y Hernández, 2012).

Tabla 1. UPZ Amenazadas por Inundación

Zonas por UPZ amenazadas por Inundación. Suba 2002						
UPZ	Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja	Área Total zona de amenaza (ha)	Área Total UPZ (ha)	%*
La Academia	37,54	14,87	0,54	52,95	610,07	8,68%
Guaymaral	129,89	49,75	24,63	204,27	1135,67	17,99%
San José de Bavaria	0,00	0,00	0,00	0,00	439,68	0,00%
Britalia	0,00	0,00	0,00	0,00	28,41	0,00%
El Prado	0,00	0,00	0,00	0,00	428,95	0,00%
La Alhambra	8,93	3,95	15,03	27,91	284,28	9,82%
Casa Blanca Suba	0,00	0,00	0,00	0,00	419,92	0,00%
Niza	48,22	8,77	14,42	71,41	764,86	9,34%
La Floresta	47,02	12,18	23,53	82,73	389,94	21,22%
Suba	16,67	6,22	0,00	22,89	645,78	3,54%
El Rincón	53,67	11,18	7,79	72,64	720,33	10,08%
Tibabuyes	316,05	103,22	5,79	425,06	745,78	57,00%
Fuera de UPZ	495,77	84,65	81,90	662,32	0,00	
Total	1153,76	294,79	173,63	1622,18	6913,67	23,46%

Nota: Relación porcentual entre el área en zona de amenaza y el área total de cada UPZ de la localidad.

Fuente: Secretaría de Hacienda (2004)

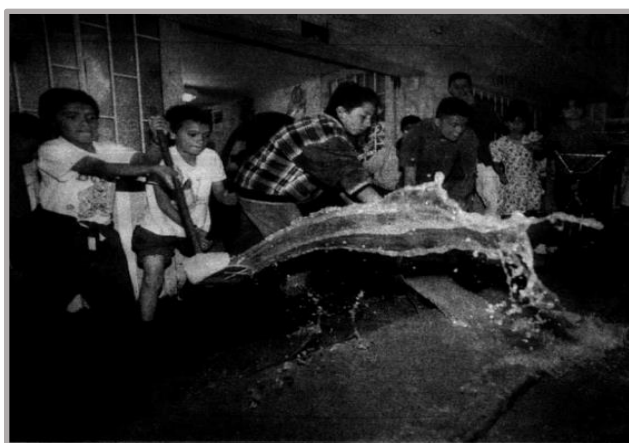
Con base en lo anterior, se presentan algunos casos de inundaciones de años previos que generaron afectaciones en la localidad de Suba.

8 de noviembre de 1999: Emergencia en Suba

Como consecuencia con la emergencia invernal, los bomberos reportaron que en 8 barrios de la localidad de Suba se encuentran 150 familias damnificadas por el evento, además, se encuentran en alerta por amenaza de desbordamiento del río Juan Amarillo. En los barrios Santa Cecilia, Villa Hermosa, San Luis, Villa del Campo I y II, Alaska, Lisboa y Bilbao, se reportaron inundaciones con altura de la lámina de agua de hasta un metro, razón por la cual los habitantes se vieron obligados a desalojar las aguas de sus viviendas hasta con baldes y recogedores, en otros escenarios, varias familias se resguardaron en salones de acción comunal, colegios y casas de familiares mientras apaciguaba la emergencia.

Según el cuerpo oficial de bomberos “una peligrosa mezcla invernal entre alcantarillas colapsadas, inexistencia de redes de drenaje y desbordamiento de cuerpos de agua afectaron barrios y las familias en la localidad” (El Tiempo, 1999).

Ilustración 4. *Emergencia en Suba*



Nota: Imagen en colaboración con El Tiempo. Fuente: Hemeroteca de Emergencias de Bogotá (1999)

10 de noviembre de 2020: Suba fuertemente afectada por las lluvias

Los organismos de socorro y atención de emergencias informaron que no solo la movilidad a la altura de la estación de Transmilenio 21 Ángeles fue perjudicada, sino también, barrios localizados en la zona occidental se vieron afectados por las precipitaciones y caída de árboles “ los barrios que se localizan en inmediaciones al río Bogotá, sufren de obstrucciones recurrentes debido a las precarias condiciones de alcantarillado y a la ausencia del mismo en otros sectores. (Suba Alternativa, 2020).

Ilustración 5. Suba Afectada por las Lluvias



Nota: inundaciones en inmediaciones a la estación de Transmilenio 21 Ángeles, Localidad de Suba.

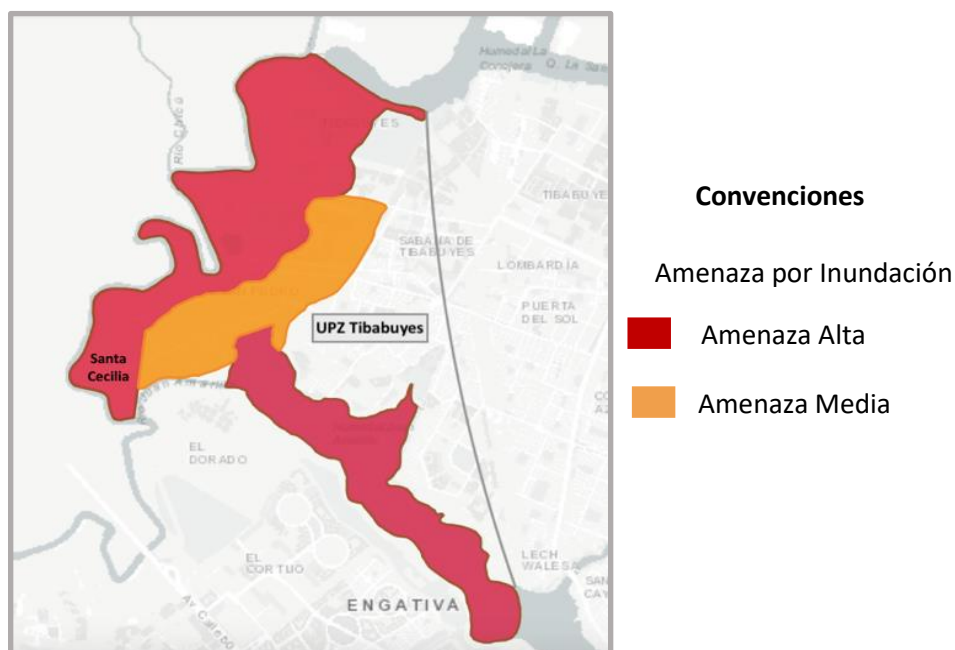
Fuente: (Periódico Suba Alternativa, 2020)

5.3 INUNDACIONES EN SANTA CECILIA

Como consecuencia de la localización geográfica del barrio Santa Cecilia en inmediaciones a los cuerpos de agua situados hacia el sur-occidente de la UPZ Tibabuyes (localidad de Suba), se encuentra identificada como zona de amenaza alta, lo que implica que las precipitaciones extensas y continuas sobrepasen la capacidad de retención del suelo y que los pocos sistemas de drenaje con los que cuenta el sector se colmaten trayendo consigo profundidades de lámina de agua excesivas, duración, y velocidad del caudal con efectos perjudiciales (SHD, 2004).

Conforme al mapa de zonificación de riesgos de inundación generada por la Unidad de Prevención y Atención de desastres, el barrio Santa Cecilia y otros barrios como Lisboa, Bilbao y Berlín (el primero ubicado en cercanías del humedal Juan Amarillo y río Bogotá, los demás con el humedal Juan Amarillo), son los que históricamente han presentado la mayor cantidad de casos de inundación, debido a la deficiencia en los sistemas de alcantarillado y la cercanía con estas fuentes de agua (SHD, 2004).

Ilustración 6. Mapa zonificación riesgo de inundación Tibabuyes



Fuente: Elaboración propia en colaboración con la información geográfica de IDECA (2021). y datos de la Secretaría de Hacienda-Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2004)

A continuación, se exponen algunos casos de inundaciones que se han presentado años previos, generando afectaciones en el barrio Santa Cecilia.

24 de abril de 1996: Falta de sistema de alcantarillado que provoca inundaciones

Una fuerte precipitación deja las calles y viviendas del barrio Santa Cecilia plenamente anegadas, al evento se le suma un apagón de más de cinco horas que no permitió la utilización de la motobomba para la respectiva evacuación, conducción y disposición del agua al río Juan Amarillo.

En barrios vecinos como Lisboa, Santa Rita y San Martín se presentaron inundaciones similares, porque al igual que Santa Cecilia son barrios de invasión construidos por debajo del nivel de los ríos Juan Amarillo y Bogotá que carecen totalmente de redes de desagüe. (El Tiempo, 1996).

Ilustración 7. Inundación Barrio Santa Cecilia



Nota: Imagen en colaboración con El Tiempo. Fuente: Hemeroteca de Emergencias de Bogotá (1996)

6 de mayo de 2008: Aguacero anegó cuatro zonas de suba

Sectores como Santa Cecilia, Cañiza, La Gaitana y Lagos de Suba presentaron enormes encharcamientos por colapso de la red de alcantarillado, situación que dificultó la correcta evacuación de caudales producto de fuertes precipitaciones registradas en horas de la tarde. De acuerdo con el informe del Departamento de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) “no hubo inundaciones dentro de las viviendas, solo en las vías”. (El Tiempo, 2008).

Los casos evidenciados previamente, son una muestra de que la gestión de la escorrentía e implementación de sistemas óptimos para el drenaje de alcantarillado son una de las problemáticas con las que se enfrenta la ciudad, la localidad y el barrio; el manejo de las aguas lluvias no es el adecuado y se convierte en una labor más complicada debido a la falta de atención que le prestan los organismos locales, de un mismo modo, el descontrolado y acelerado proceso de urbanización afecta de manera directa las dinámicas naturales del suelo siendo más propenso a este tipo de emergencias.

5.4 ANTECEDENTES SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE COMO SOLUCIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, el rápido desarrollo urbano ha ocasionado que las redes de drenaje durante los últimos años presenten problemas con la capacidad de evacuación de las aguas pluviales. Estas dinámicas territoriales han dejado de un lado las coberturas vegetales por suelos

con muy baja capacidad de infiltración de la escorrentía, generando grandes concentraciones de caudales en las superficies lo que se traduce en encharcamientos e inundaciones.

“El principio básico de estos sistemas es reproducir de la mejor manera posible el régimen natural del ciclo hidrológico, para así disminuir los efectos negativos del cambio en la hidrología, producto del desarrollo” (IDIGER, 2021).

Los trabajos que se presentan a continuación; describen estudios, propuestas e implementaciones para gestionar la problemática, contemplando los sistemas urbanos de drenaje sostenible como solución.

Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio en la ciudad de Bogotá:

Este documento muestra el análisis de la comparación entre la implementación de tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y el comportamiento de un sistema de drenaje convencional, apoyados de una modelación digital que describe el funcionamiento del drenaje pluvial en su estado actual, basados en la información de la estación pluviométrica COD. 2120523 (IDEAM), estableciendo capas con herramienta LID (Low Impact Development) en la simulación desarrollada en el software EPA SWMM. Establece en porcentajes la reducción del caudal con implementación de SUDS, con cubiertas verdes y pavimentos permeables. (Jiménez y Joya, 2015)

Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con Autopista Norte:

En el desarrollo de este trabajo de investigación, se plantea el diseño de un (SUDS) para la zona de la autopista norte comprendida entre la calle 127 y calle 170 en Bogotá, que genere la reducción de los niveles de inundación, por medio de la ejecución de un análisis hidrológico, basados en información recopilada del IDIGER, la Secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto de Bogotá; además se brinda un hidrograma de escorrentía unitario con la implementación de drenajes filtrantes para lograr una reducción del volumen de la escorrentía en este punto. (Camargo y Lozada, 2018).

Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos y/o Zanjas de Infiltración:

El caso de estudio se desarrolló en la localidad de Fontibón (Localidad 9), específicamente en el sector ubicado sobre las calles 13 y 17, entre la Av. Ciudad de Cali y la Carrera 96B, incluyendo la denominada “Ye” de Fontibón. La modelación hidráulica e hidrológica se realizó por medio del software

EPA-SWMM. En este escenario, la alternativa presentada fueron los pozos de infiltración, cuyo principal propósito además de aminorar los picos de tormenta, era garantizar la gestión sostenible del agua lluvia antes de entregarse a un cuerpo receptor.

Antes de analizar la implementación los SUDS propuestos, se consideraron aspectos relevantes como las etapas de diseño o de pre factibilidad, posteriormente se contemplaron análisis hidrológicos (análisis de lluvia, cálculo de caudales máximos, cálculo de hietogramas de diseño) y por último, se realizó el análisis hidráulico, teniendo en cuenta las redes existentes y sus aportes de lluvia, caracterización de sedimentos y medición de caudales/lluvia para corroborar el correcto funcionamiento de los SUDS. (Cubides y Santos, 2018).

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear y analizar un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) óptimo para mitigar el riesgo de inundación por encharcamiento en el barrio Santa Cecilia localidad de Suba en la ciudad de Bogotá.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Considerar e identificar los sistemas de drenaje urbano sostenible que se encuentran adoptados en el territorio nacional, con el objetivo de establecer bases para la implementación de SUDS en la zona a intervenir.
2. Analizar los antecedentes de los históricos e hidrológicos de los últimos 10 años en el barrio Santa Cecilia de la localidad de Suba con el fin de determinar la viabilidad del sistema de drenaje sostenible a implementar.
3. Comparar el sistema de alcantarillado pluvial existente de la Barrio Santa Cecilia con el sistema de alcantarillado (SUDS) propuesto.

7 MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO GEOGRÁFICO

El siguiente marco entrega una descripción geográfica y territorial de la localidad de Suba, de la UPZ Tibabuyes y del barrio Santa Cecilia que finalmente comprende la zona de investigación, y que hace parte de la UPZ y la localidad mencionada al inicio, por lo tanto, es de vital importancia introducir espacialmente al lector en estos tres sectores de la ciudad.

LOCALIDAD DE SUBA

La localidad de Suba se posiciona en el extremo noroccidental de la ciudad y limita por el norte con el municipio de Chía, por el sur con la localidad de Engativá, por el oriente con la localidad de Usaquén y por el occidente con el municipio de Cota. Suba tiene una extensión total de 10.056 hectáreas, es decir, el 6.1 % de la ciudad de Bogotá; 5.801 hectáreas (58%) se clasifican como suelo urbano, 493 hectáreas (5%) como suelo de expansión y 3.763 que corresponden al 37% apuntan hacia un suelo de tipo rural; por lo tanto, Suba es la localidad con mayor área urbana del Distrito. (Secretaría de Hacienda, 2004)

El área se encuentra dividida en 119 sectores catastrales y un total de 13 unidades de planeamiento zonal (UPZ) que son: La Academia, Guaymaral, San José de Bavaria, Britalia, La Alhambra, El Prado, Casa Blanca Suba, Niza, La Floresta, Suba, El Rincón, Tibabuyes y UPR Zona Norte.

“Las informes poblaciones al año 2020 datan que la localidad cuenta con 1.381.697 habitantes y su densidad poblacional es de 237.8 Hab/Ha” (Veeduría Distrital, 2020).

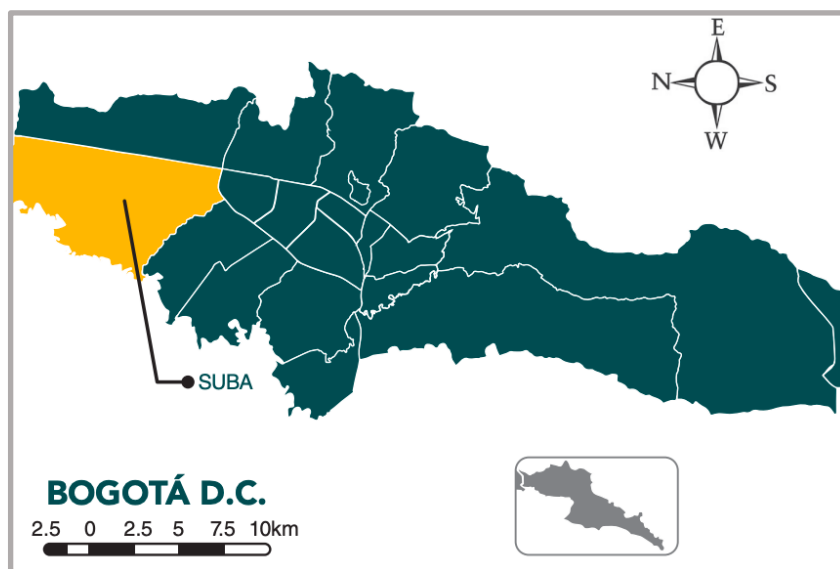
Tabla 2. *Cifras demografía y población localidad de Suba*

Variable	Suba	Bogotá
Extensión	10.056 hectáreas (6.1% de Bogotá)	163.637 hectáreas
Tipo de Suelo (Urbano/rural)	Urbano: 5.801 ha (58%) Expansión: 493 ha (5%) Rural: 3.763 ha (37%)	Urbano: 3.763 (23%) Expansión: 2.975 (2%) Rural: 122.687 (75%)
Número de Unidades de Planeamiento Zonal	UPZ: 13 UPR: 1	UPZ: 120 UPR: 4
Número de Sectores Catastrales	119	1.162
Población (2020)	1.381.597 habitantes	8.281.030 habitantes
Densidad Poblacional Urbana (2020)	237.8 hab/ha	215 hab/ha

Nota. La tabla muestra los datos de la localidad de suba comparado con los datos de la ciudad de Bogotá para el año 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de Veeduría Distrital (2020).

La localidad cuenta con importantes fuentes hídricas que colindan a su alrededor como lo son: el Humedal Guaymaral con una extensión de 49 Ha, Humedal La Conejera limitando al norte de la localidad, Humedal Córdoba perteneciente a la cuenca del Humedal Tibabuyes con una extensión de 40.4 Ha, el Humedal Tibabuyes que se encuentra en la parte sur de la localidad y finalmente el río Bogotá que colinda con la parte occidental de Suba. (Secretaría de Hacienda, 2004).

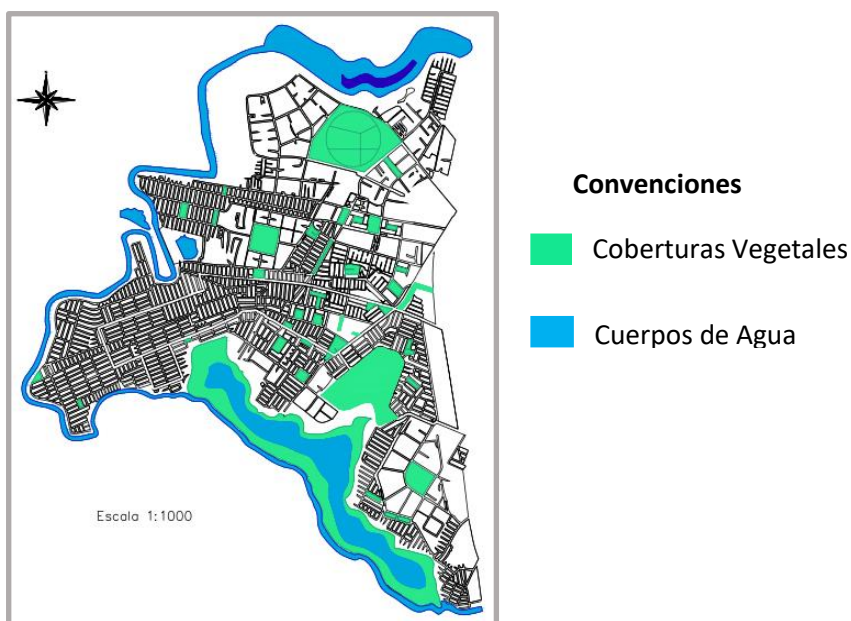
Ilustración 8. Mapa localización de Suba dentro de la ciudad de Bogotá



Fuente: (Veeduría Distrital, 2020)

UPZ TIBABUYES

Por otra parte, la UPZ 71 Tibabuyes se ubica en el extremo suroccidental de la localidad de Suba, limita por el norte con suelo rural de Suba y el humedal La Conejera; al oriente con las UPZ El Rincón, Suba y la avenida longitudinal de occidente (ALO); por el sur con la UPZ Bolivia de la localidad de Engativá y el humedal Juan Amarillo; y finalmente por el occidente, con el municipio de Cota y con río Bogotá de por medio. (Secretaría Distrital de Planeación, 2011)

Ilustración 9. Mapa UPZ Tibabuyes (Anexo A)

Fuente: Elaboración Propia (2021).

Conforme a datos de la Veeduría Distrital (2017), Tibabuyes posee una extensión de 662 hectáreas, albergando una población de 265.459 habitantes en los estratos uno, dos y tres; su densidad poblacional es de 401 Hab/Ha y se encuentra constituido por 30 barrios.

Tabla 3. Cifras demografía y población UPZ Tibabuyes, Suba y Bogotá

Variable	UPZ Tibabuyes	Suba	Bogotá
Extensión Urbana	662 hectáreas	10.056 hectáreas	163.637 hectáreas
Población Urbana	265.459 habitantes	1.381.597 habitantes	8.281.030 habitantes
Densidad Poblacional	401 hab/ha	237.8 hab/ha	215 hab/ha
Barrios	31	119	1.162

Nota. La tabla muestra los datos de la UPZ Tibabuyes comparados con los datos de la localidad de Suba y la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia con datos Veeduría Distrital (2017).

Su ubicación estratégica y conexión con importantes elementos ecológicos como el humedal La Conejera, Humedal Tibabuyes y la Ronda del Río Bogotá, influyen en el desarrollo y articulación de la UPZ con centralidades aledañas. Entre los espacios importantes ubicados en el sector se resaltan: El Parque Distrital de La Gaitana, El Polideportivo de Tibabuyes, El CADE de La Gaitana, Hospital de nivel I de Suba y el Parque Fontanar del Río. (Secretaría Distrital de Planeación, 2018)

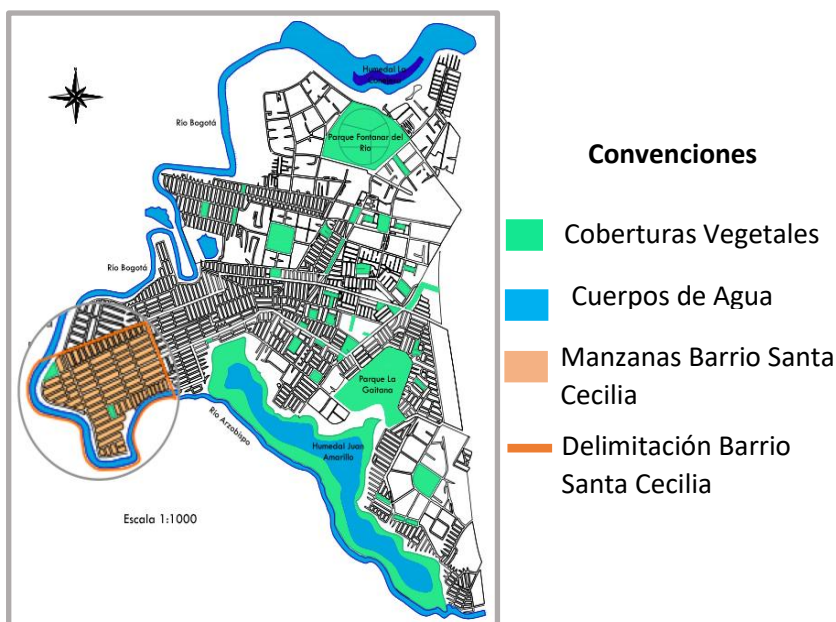
BARRIO SANTA CECILIA

Santa Cecilia como área de estudio, hace parte de la UPZ Tibabuyes, el barrio se encuentra ubicado al suroccidente de esta unidad de planeamiento zonal y como elementos ambientales a su alrededor tiene el río Bogotá y el humedal Juan Amarillo. Los estratos predominantes en el sector son el uno y el dos con un promedio de 5 personas por familia.

El barrio se formalizó en 1991 como una urbanización informal o pirata en terrenos pertenecientes a una finca. Se encuentra conformado por lotes con un tamaño promedio de los 72 m² (ancho: 6 m, largo: 12 m), las dotaciones y servicios públicos en algunos lugares del sector se encuentran funcionando de manera ilegal. (Torres et al., 2009, p.121).

Nota: Se encuentra información muy limitada para el barrio Santa Cecilia en cuanto a contenidos geográficos, demográficos y poblacionales.

Ilustración 10. Mapa del barrio Santa Cecilia dentro de la UPZ Tibabuyes (Anexo B)



Fuente: Elaboración Propia (2021).

7.2 MARCO CONCEPTUAL

Acuíferos: Es una formación geológica que se caracteriza por poseer una permeabilidad y porosidad determinada, son capaces de almacenar y ceder el agua al subsuelo. Se sitúa en la zona denominada zona saturada.

Asentamientos informales: Son aquellas comunidades de las grandes, medianas y pequeñas urbes que se han desarrollado al margen de las normas urbanísticas y arquitectónicas de las ciudades.

Avenidas: Aumento inusual del caudal de agua en un cauce que puede o no producir desbordamientos e inundaciones.

Capacidad hidráulica: Caudal máximo que un conducto, canal u otra estructura hidráulica es capaz de conducir.

Caudal: Volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. Usualmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos.

Colmatar: Es la acumulación de sedimentos que reduce la capacidad de los sistemas de drenaje.

Desbordamiento: Fenómeno que se presenta cuando el agua sube mucho su nivel en los ríos, lagunas, lagos y mar; entonces, cubre o llena zonas de tierra que normalmente son secas.

EPA- SWMM: StormWater Management Model por sus siglas en inglés, es un software de ingeniería de aguas utilizado para realizar modelaciones hidráulicas.

Escorrentía: La escorrentía es un proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial. La escorrentía es uno de los procesos básicos que se incluye en el ciclo del agua.

Hidráulica en tuberías parcialmente llenas: Toda alcantarilla circular en su periodo de vida útil se diseña para trabajar principalmente a sección parcial, esto sugiere tener al alcance las expresiones de las propiedades hidráulicas para un correcto comportamiento hidráulico, tales como; Razón de profundidad, perímetro mojado, área hidráulica, radio hidráulico velocidad y caudal.

Impermeabilización de suelos: Se catalogan como aquellas superficies que evitan la infiltración del agua hacia el interior del suelo, sus causas se encuentran asociadas a factores naturales (geológicas) o factores antrópicas consecuencia de la actividad humana (urbanización).

Inundación o anegación: Son excesos de agua que invaden zonas que en condiciones normales se encuentran secas. Normalmente se producen por el aporte inusual de una cantidad de agua superior que excede la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje.

Lluvia Máxima: Es la mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible, para una determinada duración en un área afectada por un temporal y en una época del año determinada sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo.

ODS: Conocidos como los objetivos de desarrollo sostenible, son objetivos establecidos a nivel mundial para intervenir en temáticas como: erradicación de la pobreza, protección del planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

Precipitación: Es el descenso de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación forma parte del ciclo del agua que mantiene el equilibrio y sustento de todos los ecosistemas.

Sistema de Drenaje Sostenible (SUD): Son estructuras que se unifican en conjunto al sistema de drenaje urbano convencional con el propósito de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía.

Sub-urbanización: Es el fenómeno de propagación de una ciudad y sus barrios hacia la tierra rural en la periferia de una zona urbana.

Vulnerabilidad: Hace referencia a la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad.

7.3 MARCO TEÓRICO

Tanto las inundaciones que son consecuencia del cambio climático y algunos factores antrópicos, como los asentamientos informales, son fenómenos evidentes que se presentan en el área de estudio y los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) apuntan como propuesta para mitigar la primera problemática, por esta razón, es pertinente abordarlos de una manera más detallada para fines de contextualización al lector.

7.3.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es uno de los factores principales que propicia las inundaciones, de acuerdo con la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, este se define como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de

la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático lo define como “ un cambio en el estado del clima como consecuencia de una alteración en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que perdura durante un largo periodo. Evidencia de una constante modificación climática como consecuencia de procesos naturales o de la actividad humana. (IPCC, 2007).

Los impactos del cambio climático se evidencian de manera más sólida en los sistemas naturales. En muchas regiones, las cambiantes y extremas precipitaciones, el derretimiento de nieve o hielo y las fuertes olas de calor, están alterando los sistemas hidrológicos, lo que afecta a los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad.

Finalmente, es muy probable que existan muchas regiones en que haya aumentado y no disminuido el número de sucesos de precipitaciones intensas, olas de calor y otros fenómenos asociados al cambio climático. Recientemente, se ha evidenciado una tendencia al aumento de las precipitaciones y caudales extremos, lo que implica mayores riesgos de inundación ya sea por desbordamientos de los cuerpos de agua o encharcamientos (IPCC, 2014).

7.3.2 INUNDACIONES

Como resultado del cambio climático las inundaciones son las amenazas meteorológicas e hidrológicas que más riesgo suponen a nivel mundial.

Tal como lo menciona el (IDIGER, 2021) “Las inundaciones son producidas por exceso de agua que invaden zonas que anteriormente se encontraban en estado seco. Este fenómeno desempeña un papel importante en la regulación de los sistemas hídricos, por esta razón, cuando se modifican dichos sistemas o se ocupan las áreas susceptibles de ser inundadas pueden generar afectaciones.”

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, producidas por lluvias intensas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas, ocasionando desbordamientos y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, s.f).

Las inundaciones se clasifican de la siguiente manera:

Inundaciones por desbordamiento: Son inundaciones de tipo aluvial o lentas producidas por el desbordamiento del cauce anegando áreas planas aledañas al mismo, suelen ser generadas por crecidas progresivas y de larga duración (IDIGER, 2019).

Inundaciones por encharcamiento: Son inundaciones generadas principalmente por la ocurrencia de fuertes precipitaciones que provocan el incremento de los niveles de agua, produciendo el colapso de las redes de alcantarillado o desbordamiento de cuerpos de agua (IDIGER, 2019).

Inundaciones repentinas o súbitas: Se caracterizan por tener áreas de afectación menores, se producen rápidamente a causa de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos del nivel del agua son de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días (IDEAM, 2014).

Flujos torrenciales: Son flujos de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbito, rápido), o como torrente. Se aplica como avalancha cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca (IDEAM, 2014).

Las principales causas que suscitan los eventos asociados a inundaciones son: precipitaciones fuertes e intensas, que provocan aumento de los niveles de los cuerpos de agua y colmatación de las redes de alcantarillado, aumento en los residuos sólidos que taponan y reducen la sección de los cauces de los cuerpos de agua, el colapso de jarillones anegando las zonas colindantes a estos, rompimiento de tuberías y falta de capacidad hidráulica de la redes de alcantarillado, debido a fallas en los diseños y procesos constructivos, y por último, el taponamiento de sumideros y tuberías, como consecuencia de la obstrucción de la red; por basuras, sedimentos y otros residuos sólidos que impiden la correcta conducción y evacuación del agua (IDIGER, 2021).

La amenaza por riesgo de inundación se clasifica en tres criterios de evaluación con base a estudios realizados por el IDIGER . Las tres categorías se presentan a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías de evaluación, amenaza alta, media y baja

Categorización de la Amenaza	Descripción	Probabilidad de Ocurrencia
Amenaza Alta	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua igual o superior a 0,50 m, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada diez años durante la vida útil del jarillón hasta ese nivel	>65%
Amenaza Media	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.	10% - 65%
Amenaza Baja	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, ya sea por causas naturales o intervención antrópica no intencional, y con una profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada cien años durante la vida útil del jarillón.	<10%

Fuente: Elaboración propia con base a los datos del documento técnico de soporte amenaza por inundación en perspectiva del cambio climático (IDIGER, 2018).

Finalmente, la distribución del riesgo de inundaciones es global y afecta a amplias regiones del mundo, ya que su impacto es significativo en los territorios densamente poblados de los países más pobres con pocos medios para hacerles frente y mitigar los efectos. De acuerdo con lo anterior, la ocupación de los cauces de los ríos y los terrenos inundables es muy habitual por ser terrenos más accesibles y económicos, de este modo se genera un crecimiento espontáneo y acelerado de los asentamientos informales (Riesgo de inundación, s.f)

7.3.3 ASENTAMIENTOS INFORMALES

Los asentamientos informales o también llamados barrios de invasión, barrios ilegales, o barrios marginales, son aquellos territorios que se han consolidado y crecido por fuera de las normas urbanísticas, arquitectónicas y estructurales de las ciudades. Son territorios resultado de la necesidad de refugio de familias que, para el caso colombiano, son en su gran mayoría desplazadas por la violencia y con niveles de pobreza histórica (Lozano Carvajal, 2016).

El crecimiento no controlado de las ciudades colombianas y en general de América Latina, ha conllevado al desarrollo de numerosas familias en zonas con precarios sistemas de drenaje y en asentamientos informales construidos en los márgenes de los ríos o invadiendo las áreas de inundación natural de los cuerpos de agua. La urbanización sin planificación ha sido un reto para los organismos de control y del estado, debido a que estas familias se encuentran en un riesgo permanente al producirse eventos ocasionados por movimientos en masa e inundaciones que afectan directamente a los pobladores en su calidad de vida, sus bienes e infraestructura. (Banco de Desarrollo de América Latina, 2017).

“Los asentamientos informales se encuentran asociados a una serie de factores interrelacionados, que incluyen el crecimiento de la población y la migración rural-urbana, la falta de acceso a vivienda digna para la población pobre de las ciudades, falta de acción de los gobiernos (en ámbitos referentes a políticas, urbanismo, uso de la tierra y gestión urbana), condiciones económicas bajas (pobreza), la discriminación y marginalización, desplazamientos causados por los conflictos, y los desastres naturales consecuencia del cambio climático” (Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo urbano Sostenible, 2015).

7.3.4 SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)

Las fallas en los sistemas de drenaje urbano convencional junto con el alto nivel de impermeabilización de los suelos producto de la urbanización y otros factores, aumentan la probabilidad de inundación de las áreas expuestas. Cuando se producen lluvias intensas, los pavimentos impermeables provocan una rápida concentración del agua precipitada, generando encharcamientos y estancamientos del agua en la superficie urbana, y produciendo avenidas de agua que desembocan rápidamente en la red general rebasando la capacidad hidráulica de la misma (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

Conforme a la Secretaría Distrital de Ambiente (2011) los sistemas urbanos de drenaje sostenible son técnicas de gestión de aguas pluviales que pretenden simular de la manera más natural posible, los procesos hidrológicos en el desarrollo urbanístico de las ciudades. Su principal objetivo es mitigar tanto los problemas de cantidad como de calidad de las escorrentías urbanas, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y potencializando la integración paisajística.

The Construction Industry Research and Information Association (CIRIA, 2007) establece que los objetivos de los SUDS van ligados a la sostenibilidad debido a:

- Disminuyen los caudales pico de escorrentía y volúmenes, lo que de manera paralela reduce los eventos de inundación.
- Promueven la recarga de acuíferos minimizando los impactos en los caudales de las aguas subterráneas.
- Por medio de estructuras alternas implementadas en estos sistemas, se logra aminorar la concentración de sedimentos y otros contaminantes transportados por la escorrentía, permitiendo así, una mejor calidad del agua que se deposita en los cuerpos receptores.
- Mejoran, preservan y potencializan el valor paisajístico y natural de la zona.
- Permitir la reutilización de las aguas recolectadas de los SUDS reduciendo el consumo del agua potable.

En el caso de la ciudad de Bogotá aunque el sistema de alcantarillado posee una alta capacidad, aún existen zonas con altas probabilidades de inundación y encharcamientos debido a la deficiencia y/o inexistencia de los sistemas de drenaje. Por esto, es pertinente considerar la implementación de sistemas de drenaje sostenible en Bogotá, debido a que como se ha mencionado en apartados anteriores, estos mitigan el impacto de las zonas no permeables, disminuyendo el volumen de escorrentía y promoviendo el trabajo eficiente de las redes de drenaje convencionales. (Centro de investigaciones en ingeniería ambiental, 2017)

Tipología de SUDS

Existen diferentes clasificaciones de sistemas urbanos de drenaje sostenible y estas dependen de su estrategia de acción en el medio. De acuerdo con lo anterior, se muestran a continuación:

1. Control en origen:

Conforme al Ministerio para la Transición Ecológica (2019), son los sistemas que interceptan y detienen el agua en su lugar de origen, es decir, cuando llega a la superficie urbanizada. La finalidad es evitar la escorrentía descontrolada a lo largo de la superficie urbana. La detención de las aguas en su lugar de origen contribuye a controlar la propagación de los contaminantes existentes hacia las redes de drenaje. Dentro de esta tipología se encuentran: cubiertas vegetadas o techos verdes y los pavimentos permeables.

2. Ralentización y Conducción:

La finalidad principal de este tipo de estructuras es controlar la caudal punta que llega al punto de vertido, infiltración o almacenamiento, de manera que llegue de forma escalonada y gradual. Con esto se consigue evitar la posible colmatación de los sistemas que componen la cadena de drenaje, que derivaría en un peor funcionamiento del sistema y en un incremento económico considerable. Dentro de esta tipología se destacan: drenes filtrantes y cunetas verdes (Ministerio para la Transición Ecológica 2019).

3. Almacenamiento:

Son sistemas que previenen las inundaciones concentrando y reteniendo durante determinado periodo de tiempo los volúmenes de escorrentía en un lugar específico para su posterior reutilización, infiltración o vertido a un cuerpo receptor. En esta tipología se incluyen: tanques de almacenamiento, estanques de retención y humedales artificiales (Ministerio para la Transición Ecológica 2019).

4. Infiltración:

Estos sistemas permiten la introducción controlada y pausada del agua de escorrentía al suelo, por lo tanto, el agua termina siendo absorbida por el terreno con recarga de acuíferos, o en algunos casos siendo conducida por una red para luego ser depositada en un cuerpo receptor. Para esta

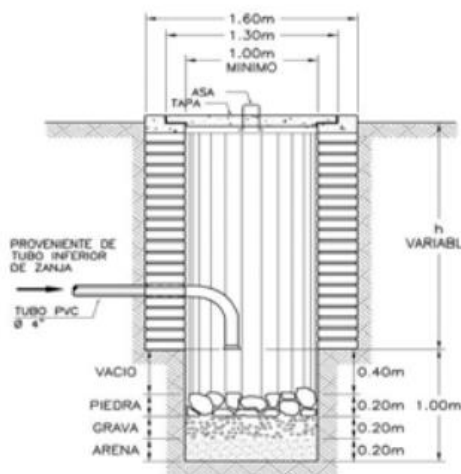
Tipología se destacan: zanjas de infiltración, zonas de bio-retención, alcorques inundables y finalmente pozos de infiltración (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

Los pozos de infiltración consisten en excavaciones generalmente cilíndricas de profundidad variable, que pueden estar o no rellenas de material, se construyen para infiltrar el agua lluvia hacia el subsuelo en espacios reducidos.

Estos pozos son fácilmente integrables en espacios abiertos o zonas muy densificadas y se constituyen una alternativa en lugares donde otros tipos de SUDS como zanjas de infiltración, cunetas verdes, jardines de bio-retención, no pueden ser implementados.

El funcionamiento hidráulico de estas estructuras consta de varias etapas. Inicia con la entrada del agua proveniente de precipitaciones al pozo de infiltración, esta infiltración se puede efectuar a través de la superficie o desde una red de conductos. Una vez el agua ingresa al pozo, queda almacenada temporalmente para después infiltrarse paulatinamente (Subsecretaría de Desarrollo Rural, s.f).

Ilustración 11. Esquema de estructura pozo de infiltración



Unidad de Atención al Ambiente (2009)

De acuerdo con la Subsecretaría de Desarrollo Rural, los principales objetivos de los pozos de infiltración son:

1. Captar el flujo superficial proveniente de las precipitaciones.
2. Infiltrar la escorrentía superficial directamente al suelo.
3. Disminuir el caudal máximo instantáneo.

4. Permitir usos alternativos del agua filtrada.
5. Recarga de acuíferos.
6. Mejorar la calidad del agua filtrada.

Adicionalmente, basados en la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural (UNATSABAR, 2003) las consideraciones de diseño que se deben tener en cuenta son:

1. La distancia mínima entre el pozo y cualquier árbol debe ser mayor a 5 m.
2. Todo pozo de infiltración deberá ser introducido por lo menos a 2 m de la capa filtrante del terreno, y el fondo del pozo debe quedar por lo menos 2 m por encima del nivel freático de las aguas subterráneas.
3. El diámetro mínimo del pozo de infiltración será de 1.50 m y la profundidad útil recomendada será no mayor a 5 m.
4. La altura de infiltración quedará fijada por la distancia entre el nivel a donde llega el tubo de descarga y el fondo del pozo.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los pozos de infiltración

Ventajas	Desventajas
1. Son estructuras que se integran perfectamente a condiciones restringidas, con poca visibilidad, no tienen restricciones topográficas para su instalación y solo ocupan una pequeña parte del terreno. 2. Permite la filtración del agua proveniente de precipitaciones, evitando la saturación de las mismas en las superficies. 3. Bajos costos de inversión y operación. 4. Requieren espacios pequeños para su instalación. 5. Son sistemas que cuentan con la posibilidad de emplear las aguas filtradas para usos posteriores.	1. Poseen una capacidad de almacenamiento reducida. 2. Son estructuras que tienden a tener problemas de colmatación, como consecuencia de la retención de partículas presentes en el agua. 3. Debido a que tienen problemas de acumulación de sedimentos se requiere realizar mantenimiento durante el tiempo de vida útil de la estructura.

Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo con lo anterior, se evidencia una vez más que el uso de nuevas alternativas de drenaje urbano sostenible como complemento a los sistemas de drenajes existentes, permiten mejorar de manera significativa la eficiencia de desagües de aguas lluvias en las ciudades, disminuyendo los aportes de escorrentía hacia las redes de drenaje existentes y al mismo tiempo generando una mejora en el impacto ambiental.

Esta información recopilada de antecedentes y marco teórico permite tener un fundamento tanto de las problemáticas como de las soluciones, dando paso al análisis de la modelación de los pozos de infiltración como sistema urbano de drenaje sostenible electo que atenuará el fenómeno que presenta el barrio Santa Cecilia en la localidad de Suba.

7.4 MARCO LEGAL

Actualmente, para el caso de Bogotá D.C, la normatividad que contempla la implementación de SUDS se encuentra enmarcada en el Decreto 528 de 2014, por medio del cual se establece el Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible (SDPS) del distrito, se organizan sus instancias de dirección, coordinación y administración y se definen lineamientos para su funcionamiento.

En este decreto se manifiesta, además, la creación del Plan Estratégico de Transformación del Sistema de Drenaje, el cual será el instrumento mediante el cual la administración distrital orientará la transformación progresiva del actual sistema de drenaje de la ciudad en el SDPS, contemplando inversiones, estudios técnicos, cartografía y demás herramientas que permitan evaluar las características particulares de cada elemento del sistema para dicha transformación.

Este plan será formulado por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) conjuntamente con las demás entidades del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (Universidad de los andes, 2017)

Adicionalmente, los SUDS también se encuentran regidos de acuerdo a las normas establecidas y emitidas por la secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, donde se establecen las normas de diseño para la implementación de sistemas de Drenaje convencional y sistemas de drenaje sostenible en el suelo distrital, para ello se debe garantizar la sostenibilidad y la protección del medio ambiente asegurando la permanencia de la estructura ecológica principal de la zona.

2011 Resolución 6523 de 2011 Secretaría Distrital de Ambiente

“Reglamenta y adopta los lineamientos técnicos para los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en el plan de ordenamiento zonal norte (POZN), contribuyendo así a minimizar los impactos del desarrollo urbano, en cuanto a la reducción de volúmenes de aguas contaminadas en los medios receptores y la reducción del riesgo de inundaciones derivado de volúmenes y caudales punta de escorrentía.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

2014 Decreto 528 de 2014 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

” Establece el Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital como subsistema del Sistema Hídrico del Distrito Capital, organiza sus instancias de dirección, coordinación y administración, y dicta los lineamientos que se requieren para su adecuado funcionamiento. Dicho sistema es el conjunto de elementos conformado por infraestructuras y espacios naturales, alterados o artificiales, superficiales y/o subterráneos, por donde fluyen las aguas lluvias a través del territorio urbano de manera controlada, y que contribuyen de manera directa a la conservación, regulación y/o recuperación del ciclo hidrológico y demás servicios ambientales, su aprovechamiento y a la minimización de impactos del desarrollo urbanístico, maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de la ciudad” (EAAB-Norma Técnica NS-166, 2018).

Lineamientos Técnicos y Normativos para el diseño e implementación de Sistema de drenaje sostenible

Esta norma describe el procedimiento de diseño, la implementación y la construcción de sistemas poco convencionales en la ciudad de Bogotá como lo son los SUDS. En caso de plantearse el desarrollo de este tipo de estructuras se debe cumplir de manera obligatoria los lineamientos establecidos por norma técnica NS-166 de acuerdo con la resolución 0330.

Para nuevos desarrollos urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas en el aumento de los caudales de escorrentía. Se requieren diseñar sistemas urbanos de drenajes sostenible, con el objeto de reducir mínimo en un 25% el caudal pico del hidrograma de creciente de diseño, a fin de evitar sobre cargas de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones, para ello, adicionalmente, se debe hacer un análisis de las condiciones de escorrentía antes y después del proyecto versus la capacidad de flujo de los cuerpos receptores ya sea el sistema de alcantarillado de drenaje o cuerpos naturales. (Ministerio de Vivienda Resolución 0330 Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles- Artículo 153).

8 MÉTODO Y METODOLOGÍA

8.1 METODOLOGÍA

Para materializar el análisis de la implementación del sistema urbano de drenaje sostenible en el barrio Santa Cecilia de la localidad de Suba, primero, se llevaron a cabo una serie de indagaciones netamente teóricas, desde casos de estudio, antecedentes, tipos de SUDS y demás material teórico hasta dirigir el estudio a una forma más práctica, como la modelación mediante el software EPA-SWMM. Por medio de la herramienta tecnológica y con apoyo de los registros hidrológicos, se comparó el antes y después de la implementación de los pozos de infiltración en el sector, y posteriormente, se determinó si funcionaba o no, conforme a las características de la zona.

Como primer paso, se procedió a realizar una investigación acerca de los tipos de SUDS en donde se contemplaron las descripciones de cada uno, tipología, funcionamiento, lugares para la implementación y ventajas/desventajas. La comparación se realizó para varios tipos de sistemas los cuales fueron: cunetas verdes, tanques de almacenamiento, zanjas de infiltración, jardines de bioretención pavimentos permeables, alcorques inundables, y pozos de infiltración.

Ilustración 12. Cuadro Comparativo de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)	DESCRIPCIÓN	FUNCIONAMIENTO	VENTAJAS/DESVENTAJAS
Cunetas Verdes	Las cunetas verdes corresponden a una de las tipologías de SUDS más implementadas para transportar y dirigir el flujo de escurrimiento. Consisten en depresiones del terreno con un rango de pendientes longitudinales que permiten la circulación del agua. Se caracteriza por tener franjas de césped como estructura anexa a ambos lados.	El agua entra por la superficie se infiltra gradualmente y posteriormente es conducida por el sistema de drenaje.	Ventajas: Eliminación de contaminantes presentes en la escurrimiento, facilidad de incorporación al paisaje. Reducción de los coeficientes y los volúmenes de escurrimiento. Desventajas: Si no se construyen de manera adecuada pueden generar problemas de erosión, en algunos casos estas estructuras son vistas como sistemas que reducen el valor de las propiedades aledañas, solamente adaptables a terrenos con pendientes.
Pavimentos Permeables	Los Pavimentos Permeables consisten en un grupo de sistemas cuyo principal objetivo es reemplazar el pavimento convencional por un tipo de pavimento que permita drenar el agua hacia el subsuelo, de manera que la escurrimiento no se acumule en la superficie. Esta tipología no abarca solamente el componente superficial de los pavimentos, pues incluye un grupo de componentes subterráneos, por medio de los cuales de filtración e infiltración hacia el subsuelo.	La escurrimiento ingresa al sistema y se infiltra por medio de la capa superior. Si se requiere se debe acoplar una estructura de pre-tratamiento. Una vez el agua ingresa al pavimento, ésta se detiene temporalmente en el reservorio, el cual puede estar compuesto por geoceldas u otros materiales, con el objetivo de reducir el pico de escurrimiento convencional o a otra medio.	Ventajas: Reducen significativamente la escurrimiento de las áreas pavimentadas, promueven la disminución de caudales pico de descarga, proveen recarga a las aguas subterráneas a través de la infiltración, disminuyen el estancamiento de agua en zonas de parqueo. Desventajas: Propensos a obstrucción por parte de partículas de sedimentos, requieren de mantenimiento constante y especializado, su uso está dado a áreas con limitaciones de tráfico.
Alcorques Inundables	Los alcorques inundables con sistemas de apariencia similar a los árboles que se disponen en los andenes, pero presentan un conjunto de modificaciones que los hacen adecuados para el manejo de la escurrimiento. Estas modificaciones tienen el objetivo de incrementar la habilidad del árbol para reducir la escurrimiento y proveer condiciones para que este pueda soportar problemas asociados a las inundaciones y la interacciones con demás estructuras.	1. Primeramente, la escurrimiento superficial es dirigida a una rejilla donde se interceptan los residuos de gran tamaño. 2. La escurrimiento es conducida al alcorque a través de sumideros convencionales, allí puede realizarse el pretratamiento del agua para la extracción de sedimentos antes de que ingrese al alcorque. 3. El agua es captada y almacenada en el suelo donde ocurren procesos físicos de filtración, asimilación de nutrientes y adsorción de contaminantes.	Ventajas: Pueden ser usados como una estructura de pretratamiento para otras tipologías, tienen una alta eficiencia de remoción de contaminantes, reducen el volumen de escurrimiento a través de los procesos de retención e infiltración, reducen los caudales pico de descarga, ideal para pequeños espacios. Desventajas: Requieren de un constante mantenimiento, limitados a pequeñas áreas de drenaje, limitados al tratamiento de pequeños volúmenes de agua.
Pozos de Infiltración	Es un elemento puntual de captación del agua superficial para su almacenamiento e infiltración. Se pueden disponer en el medio urbano integrándose en alcorques, rotondas o áreas verdes, o como complemento en zanjas de infiltración, permitiendo así la infiltración de un mayor volumen de agua y evitando el posible desbordamiento de la zanja. El pozo de infiltración debe estar relleno de material drenante granular para filtrar el agua de escurrimiento antes de su infiltración al terreno.	1. El caudal total captado entra al pozo de infiltración. 2. El agua comienza a llenar el pozo e inmediatamente comienza a infiltrarse por las paredes del mismo en función de su capacidad de infiltración. 3. El agua sigue drenando por las paredes hasta quedar vacío el pozo.	Ventajas: Son estructuras que se integran perfectamente a condiciones restringidas, permiten la filtración del agua proveniente de precipitaciones, evitando la saturación de las mismas en las superficies, bajos costos de inversión y operación, requieren espacios pequeños para su instalación, son sistemas que cuentan con la posibilidad de emplear las aguas filtradas para usos posteriores. Desventajas: poseen una capacidad de almacenamiento reducida, tienden a tener problemas de oclumación, como consecuencia de la retención de partículas presentes en el agua.

Fuente: Elaboración Propia (2021).

Para las cunetas verdes y las zanjas de infiltración se estableció que eran sistemas los cuales requerían un área longitudinal muy grande para su implementación, razón por la cual se descartaron para el barrio Santa Cecilia, debido a que sus características paisajísticas (déficit de espacio, calles demasiado reducidas) no permitían su puesta en funcionamiento, de modo que fueron descartadas para su posterior análisis de implementación.

Los tanques de almacenamiento al igual que los pavimentos permeables también se rechazaron debido a que son sistemas muy invasivos, con costos de implementación y de mantenimiento muy elevados, además, se encontró que los pavimentos permeables tenían restricción de uso para tráfico pesado, estos factores llevaron a la conclusión que la futura implementación de estos sistemas no era la más idónea para las características territoriales ni socioeconómicas del sector.

Las zonas de bio-retención y alcorques inundables no fueron contemplados, debido a que son estructuras pequeñas cuya capacidad de retención es muy reducida, factor por el cuál se deben disponer varias estructuras de este tipo (se sabe que el barrio no cuenta con la disponibilidad espacial suficiente para ello) incrementando los costos de ejecución. Adicionalmente, son sistemas que sirven como complemento a la red de drenaje existente, es decir, si se disponen de manera independiente el sistema podrían no funcionar. Cabe mencionar que muchas zonas del barrio de Santa Cecilia no cuentan con red de alcantarillado pluvial, ni sanitario, por lo cual la probabilidad de obtención de resultados no favorables incrementa.

Finalmente, los pozos de infiltración fueron los únicos sistemas de drenaje sostenible que más se adaptaron a las condiciones del sector, primero; porque son sistemas poco invasivos que no requieren grandes áreas para su implementación, encajando con la problemática de espacio que tiene el barrio, segundo; su sistema constructivo es uno de los más sencillos y con costos de implementación menores a los demás SUDS, lo que apunta a la problemática socioeconómica del sector, y por último, trabajan de manera paralela a la red o de forma independiente, apuntando a la problemática del sistema de drenaje en la zona.

Con los pozos de infiltración como SUDS electos, se procedió a investigar cuales eran los puntos críticos de inundaciones, estos puntos se establecieron con el apoyo del documento “Plan de Acción

Primera Temporada de Lluvias 2021” emitido por el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático.

Tabla 6. *Puntos recurrentes ante deficiencias de drenaje del sistema de alcantarillado (inundaciones y encharcamientos) en el barrio Santa Cecilia*

Localidad	Barrio	Dirección
Suba	Santa Cecilia	Calle 129 C # 159 B
		Calle 135 # 160
		Calle 131 A # 159
		Calle 131 B # 159
		Carrera 157 A # 136
		Carrera 159 C # 129 C

Elaboración propia - con base a la información emitida por el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático.

Una vez establecidas las zonas de inundación, se llevó a cabo la verificación en campo de las mismas, esto se efectuó por medio de la toma de fotografías, las cuales una vez más evidencian y soportan las problemáticas territoriales que afectan el sector (déficit de espacio, habitantes con condiciones socioeconómicas bajas, mal estado y/o ausencia del sistema de drenaje, población establecida informalmente). A continuación, se presentan el estado en que se encuentran las calles donde se realizó la inspección:

Ilustración 13. Mapa con la ubicación de la calle 129 C # 159 B dentro del Barrio Santa Cecilia



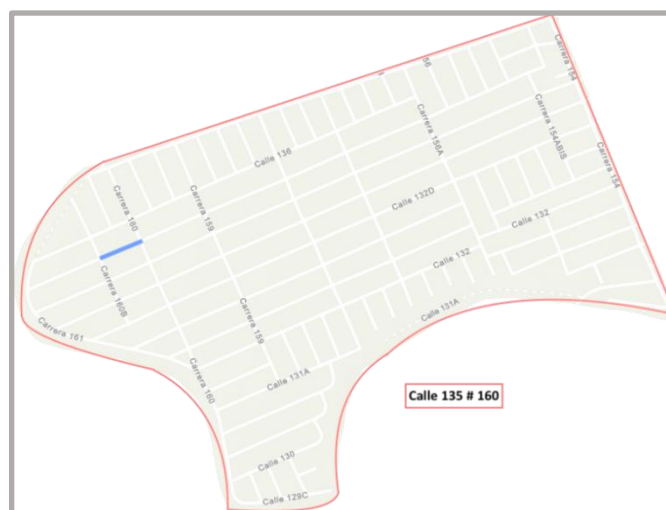
Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 14. Estado actual de la calle 129 C # 159 B en el barrio Santa Cecilia



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 15. Mapa con la ubicación de la calle 135 # 160 dentro del Barrio Santa Cecilia



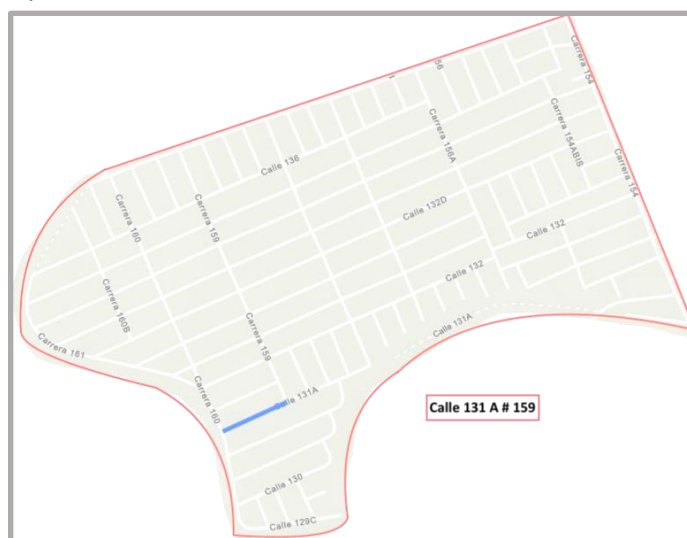
Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 16. Estado actual de la calle 135 # 160 en el Barrio Santa Cecilia



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 17. Mapa con la ubicación de la calle 131 A # 159 dentro del Barrio Santa Cecilia



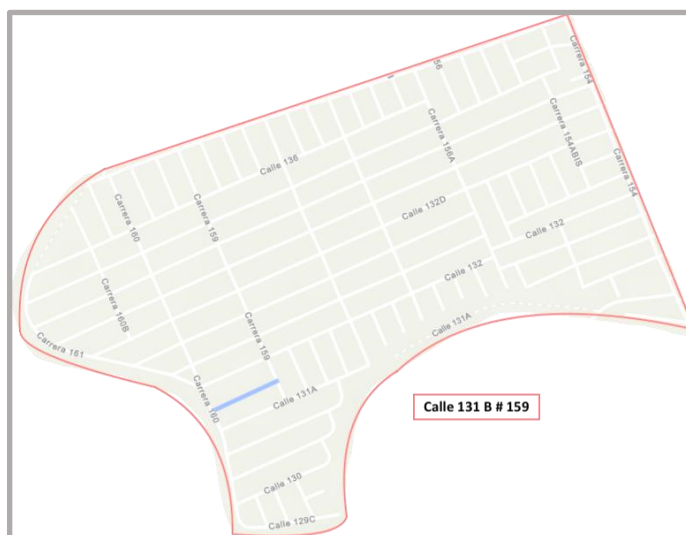
Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 18. Estado actual de la calle 131 A # 159 en el Barrio Santa Cecilia



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 19. Mapa con la ubicación de la calle 131 B # 159 dentro del Barrio Santa Cecilia



Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 20. Estado actual de la calle 131 B # 159 en el Barrio Santa Cecilia



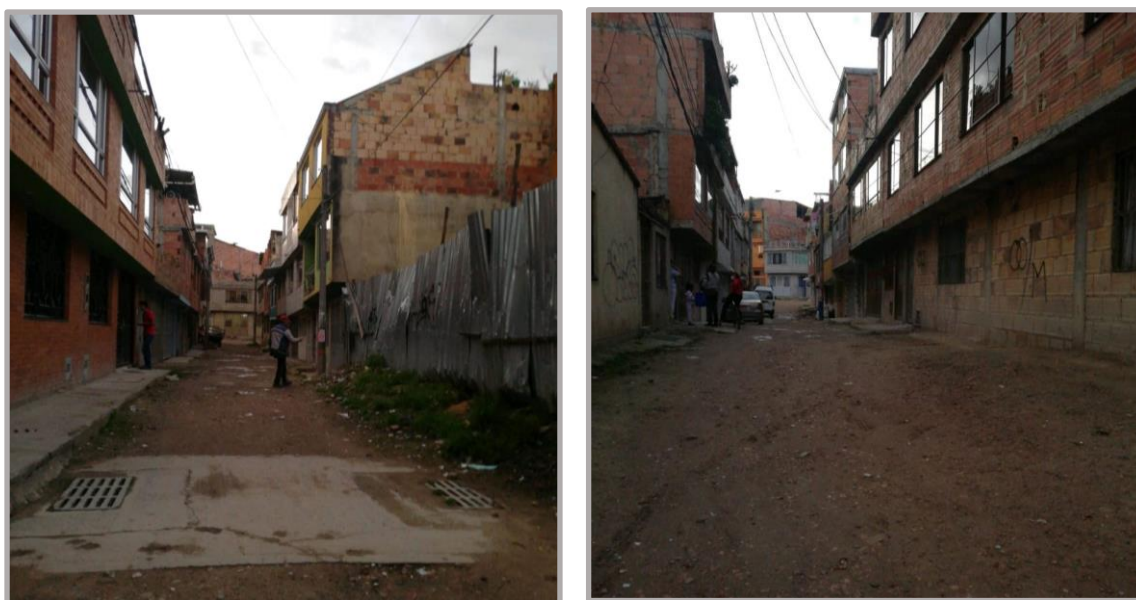
Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 21. Mapa con la ubicación de la carrera 157 A # 136 dentro del Barrio Santa Cecilia



Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 22. Estado actual de la calle 157 A # 136 en el Barrio Santa Cecilia



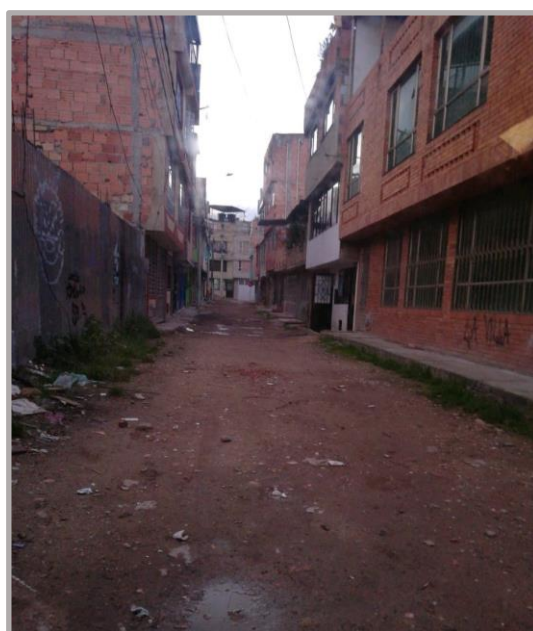
Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 23. Mapa con la ubicación de la carrera 159 C # 129 C dentro del Barrio Santa Cecilia



Nota: En color azul se denota la zona. Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 24. Estado actual de la carrera 159 C # 129 C en el Barrio Santa Cecilia



Fuente: Elaboración propia (2021).

8.2 MÉTODO Y ANÁLISIS

Después de la investigación teórica y la inspección de campo previa, se procedió con el inicio de la modelación hidráulica a través del software EPA-SWMM, con el fin de determinar los puntos críticos de inundación a partir de las características de la tubería existente consultadas por medio del Geoportal del Acueducto (EAAB) y los datos hidrometeorológicos proporcionados por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Cabe mencionar que con ayuda del modelo se llevó a cabo un análisis de la red existente (sin pozos de infiltración) y luego con la implementación de los mismos.

8.2.1 DATOS PRELIMINARES A LA MODELACIÓN

Para la obtención de los datos hidrometeorológicos fue necesario realizar la identificación de las estaciones pluviométricas más cercanas al barrio Santa Cecilia, entre las cuales se eligieron las siguientes: Estación Colegio Alberto Lleras Camargo (2120000118), Estación colegio 21 ángeles (2120000099), Estación Tibabuyes (21205560) y Estación Cerros de Suba (21200310). Se consiguieron los datos históricos de precipitación correspondientes a los últimos 10 años solo para dos estaciones activas que corresponden a las siguientes:

Tabla 7. Información de precipitaciones estación Colegio 21 Ángeles

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Precipitacion Max mensual (mm/mes)	Precipitacion anual (mm/año)
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2015										45,00	127,60		127,60	172,60
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2016	18,80	13,10	93,90	121,40	103,70	38,20	21,10	37,40	93,30	94,70	263,00	78,90	263,00	977,50
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2017	20,80	54,80	85,60	134,50	86,40	62,00	26,50	54,00	18,10	93,30	92,90	54,70	134,50	783,60
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2018	46,80	47,80	144,00	112,10	113,60	31,70	38,90	34,90	65,20	39,00	130,00	33,00	144,00	837,00
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2019	35,80	55,60	130,70	257,70	152,50	64,60	29,60	27,60	67,52	138,30	180,00	46,00	257,70	1.185,92
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2020	31,50	84,80	53,60	91,60	70,00	85,40	45,40	55,30	165,00	28,90	235,70	95,00	235,70	1.042,20
2120000099	Colegio 21 Ángeles	2021	25,10	109,40	132,70	120,50	185,10	141,70	8,60						185,10	723,10
PRECIPITACION MES ANUAL (mm/mes)		Mínimo	18,80	13,10	53,60	91,60	70,00	31,70	8,60	27,60	18,10	28,90	92,90	33,00		
		Promedio	29,80	60,92	106,75	139,63	118,55	70,60	28,35	41,84	81,82	73,20	171,53	61,52		
		Máximo	46,80	109,40	144,00	257,70	185,10	141,70	45,40	55,30	165,00	138,30	263,00	95,00		

Fuente: Elaboración propia con base a los datos del SIRE (2021).

Tabla 8. Información de precipitaciones estación Colegio Alberto Lleras Camargo

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Precipitacion Max mensual (mm/mes)	Precipitacion anual (mm/año)
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2016												61,60	61,60	61,60
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2017	26,30	55,80	167,80	91,40	190,00		19,80	78,70	43,40	117,90	189,60	21,70	190,00	1.002,40
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2018						41,20	42,00	34,20	89,60	75,60	160,60		160,60	443,20
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2019	28,20	61,00	115,20	148,40	90,20	63,50	27,30	26,20	68,00	117,80	217,50	45,00	217,50	1.008,30
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2020	31,30	59,10	84,00	56,00	69,50	74,60	72,20	54,70	65,80	106,60	222,31	73,37	222,31	969,48
20120000118	IED COL ALBERTO LL	2021	18,01	72,73	128,12	144,57	180,50	106,00							180,50	649,93
PRECIPITACION MES ANUAL (mm/mes)		Mínimo	18,01	55,80	84,00	56,00	69,50	41,20	19,80	26,20	43,40	75,60	160,60	21,70		
		Promedio	25,95	62,16	123,78	110,09	132,55	71,33	40,33	48,45	86,70	104,48	197,50	50,42		
		Máximo	31,30	72,73	167,80	148,40	190,00	106,00	72,20	78,70	89,60	117,90	222,31	73,37		

Fuente: Elaboración propia con base a los datos del SIRE (2021).

Posteriormente, para la determinación de las intensidades que se ingresarán al modelo, se estableció un periodo de retorno de 10 años, con base a la resolución 0330 del 2017 la cual indica: “el periodo de retorno de debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, prejuicios o molestias a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura” (Ministerio de vivienda ciudad y territorio, 2017, P85).

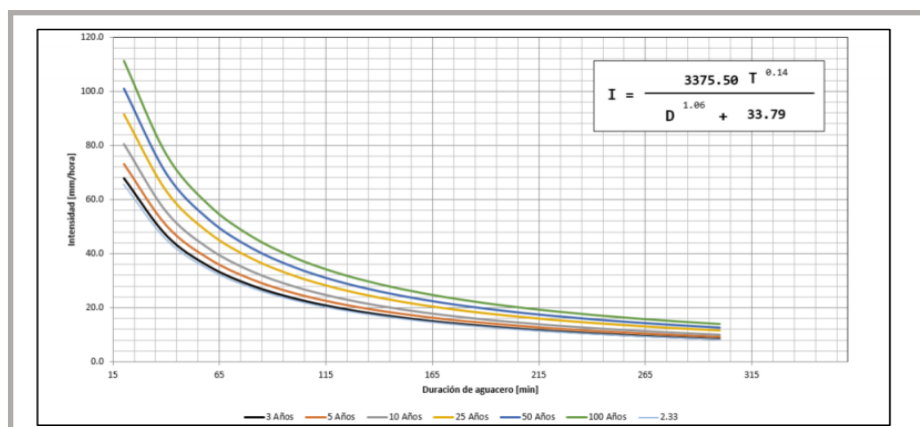
Tabla 9. *Períodos de retorno de acuerdo a la resolución 0330 de 2017*

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Nota. La tabla muestra los datos de periodos de retorno a partir de las características del área de drenaje para el año 2017 Fuente: Fuente: MVCT., Resolución 0330, (2017).

Teniendo en cuenta que el área en hectáreas de nuestra zona de estudio es de 25 Ha se elige el periodo de retorno de 10 años con el fin de identificar las intensidades con la curva IDF de la zona.

Ilustración 25. *Gráfica Curva Intensidad – Duración – Frecuencia Estación Cerros de Suba.*



Nota. La gráfica indica la intensidad de lluvia a través de un intervalo de tiempo en distintos periodos de retorno. Fuente: EAAB, (2015).

Luego, se calcularon las intensidades para diferentes periodos de tiempo en una hora con la siguiente formula:

$$I = \frac{3375.50 T^{0.14}}{D^{1.06} + 33.79}$$

De acuerdo a la aplicación de la fórmula anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. *Intensidad de lluvia para diferentes periodos de duración*

ESTACION CERROS DE SUBA (Tr 10 años)	
Duración	Intensidad
15	90,59
30	66,02
45	51,58
60	42,17
75	35,58
90	30,72
105	26,99
120	24,05

Fuente: Elaboración propia (2021).

8.2.2 SIMULACIÓN SISTEMA DE ALCANTARILLADO ACTUAL.

Una vez determinadas las intensidades, para la simulación en el programa EPA SWMM a través del Geoportal SIGUE de la empresa de Acueducto de Bogotá, se ubicó la zona de estudio, se identificó el alcantarillado pluvial existente y las características como cotas, longitudes, diámetros, materiales, etc., de la red principal, local y pozos pluviales.

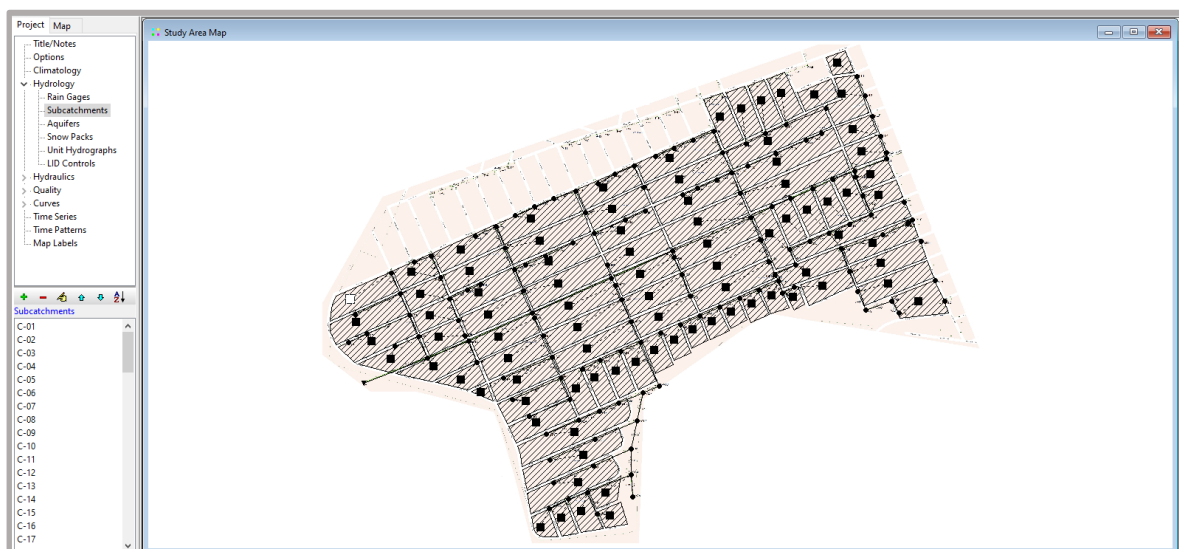
Ilustración 26. Red principal y red local del sistema de drenaje de alcantarillado actual



Fuente: Geoportal SIGUE de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2021).

Con el fin de complementar el procedimiento anterior, se procedió a trabajar en el software EPA-SWMM, donde se le asignó una nomenclatura a los pozos y tubería, con el fin de identificar cada elemento perteneciente al alcantarillado. Para facilitar el dibujo en el software; se cargó la imagen del mapa de la zona como fondo de pantalla en el programa, y se procedió a dibujar los nodos (pozos), conductos (tubería) y subcuencas. Para cada uno de estos elementos se le asignaron las características correspondientes.

Ilustración 27. Dibujo de la zona de estudio y su red de drenaje en el software EPA-SWMM



Fuente: Elaboración propia con apoyo del mapa base del Geoportal SIGUE (2021).

Ilustración 28. Asignación de características para nodos

Asignación de características para Nodos	
Junction P-A1	
Property	Value
Name	P-A1
X-Coordinate	2796.443
Y-Coordinate	780.717
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	2541.37
Max. Depth	1.58
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

Name (Nombre):
Nomenclatura asignada al Nodo.

Invert El. (Cota de Fondo):
Es la cota rasante – la profundidad del pozo – el diámetro de la tubería. *

Max. Depth (Profundidad):
Profundidad del pozo en m.*

*Datos obtenidos del geoportal SIGUE.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de los datos proporcionados por el Geoportal SIGUE (2021).

Ilustración 29. Asignación de características para conductos

Asignación de características para Conductos																											
Conduit T-A1 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Name</td> <td>T-A1</td> </tr> <tr> <td>Inlet Node</td> <td>P-A1</td> </tr> <tr> <td>Outlet Node</td> <td>P-A2</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tag</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shape</td> <td>CIRCULAR</td> </tr> <tr> <td>Max. Depth</td> <td>0.4572</td> </tr> <tr> <td>Length</td> <td>30.13</td> </tr> <tr> <td>Roughness</td> <td>0.011</td> </tr> <tr> <td>Inlet Offset</td> <td>*</td> </tr> <tr> <td>Outlet Offset</td> <td>*</td> </tr> <tr> <td>Initial Flow</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Property	Value	Name	T-A1	Inlet Node	P-A1	Outlet Node	P-A2	Description		Tag		Shape	CIRCULAR	Max. Depth	0.4572	Length	30.13	Roughness	0.011	Inlet Offset	*	Outlet Offset	*	Initial Flow	0
Property	Value																										
Name	T-A1																										
Inlet Node	P-A1																										
Outlet Node	P-A2																										
Description																											
Tag																											
Shape	CIRCULAR																										
Max. Depth	0.4572																										
Length	30.13																										
Roughness	0.011																										
Inlet Offset	*																										
Outlet Offset	*																										
Initial Flow	0																										
Name (Nombre): Nomenclatura asignada al Conducto. Node (Nudo Inicial): Pozo inicial del conducto. Outlet Node (Nudo Final): Pozo final del conducto. Shape (Forma): Forma geométrica del conducto. * Max. Depth (Profundidad): Diámetro del conducto en m.* Length (Longitud): Longitud del conducto en m.* Roughness (Rugosidad): Coeficiente de rugosidad de Manning, tomado de la tabla "A.7 Valores de coeficiente <i>n</i> de Manning para flujo de conductos cerrados" del Manual de usuario SWMM MODELO DE GESTION DE AGUAS PLUVIALES 5.0vE. *Datos obtenidos del geoportal SIGUE.																											

Fuente: Elaboración propia con apoyo de los datos proporcionados por el Geoportal SIGUE (2021).

Ilustración 30. Asignación de características para subcuencas

Asignación de características para Subcuencas																																																									
Subcatchment C-01 <table> <tr> <th>Property</th><th>Value</th></tr> <tr> <td>Name</td><td>C-01</td></tr> <tr> <td>X-Coordinate</td><td>2626.352</td></tr> <tr> <td>Y-Coordinate</td><td>429.227</td></tr> <tr> <td>Description</td><td></td></tr> <tr> <td>Tag</td><td></td></tr> <tr> <td>Rain Gage</td><td>PV1</td></tr> <tr> <td>Outlet</td><td>P-A1</td></tr> <tr> <td>Area</td><td>0.1</td></tr> <tr> <td>Width</td><td>25.3</td></tr> <tr> <td>% Slope</td><td>0.5</td></tr> <tr> <td>% Imperv</td><td>25</td></tr> <tr> <td>N-Imperv</td><td>0.02</td></tr> <tr> <td colspan="2">Depth of depression storage on pervious area (mm)</td></tr> </table>	Property	Value	Name	C-01	X-Coordinate	2626.352	Y-Coordinate	429.227	Description		Tag		Rain Gage	PV1	Outlet	P-A1	Area	0.1	Width	25.3	% Slope	0.5	% Imperv	25	N-Imperv	0.02	Depth of depression storage on pervious area (mm)		Subcatchment C-01 <table> <tr> <th>Property</th><th>Value</th></tr> <tr> <td>Dstore-Imperv</td><td>0.05</td></tr> <tr> <td>Dstore-Perv</td><td>0.05</td></tr> <tr> <td>%Zero-Imperv</td><td>25</td></tr> <tr> <td>Subarea Routing</td><td>OUTLET</td></tr> <tr> <td>Percent Routed</td><td>100</td></tr> <tr> <td>Infiltration</td><td>HORTON</td></tr> <tr> <td>Groundwater</td><td>NO</td></tr> <tr> <td>Snow Pack</td><td></td></tr> <tr> <td>LID Controls</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Land Uses</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Initial Buildup</td><td>NONE</td></tr> <tr> <td>Curb Length</td><td>0</td></tr> <tr> <td colspan="2">Depth of depression storage on pervious area (mm)</td></tr> </table>	Property	Value	Dstore-Imperv	0.05	Dstore-Perv	0.05	%Zero-Imperv	25	Subarea Routing	OUTLET	Percent Routed	100	Infiltration	HORTON	Groundwater	NO	Snow Pack		LID Controls	0	Land Uses	0	Initial Buildup	NONE	Curb Length	0	Depth of depression storage on pervious area (mm)	
Property	Value																																																								
Name	C-01																																																								
X-Coordinate	2626.352																																																								
Y-Coordinate	429.227																																																								
Description																																																									
Tag																																																									
Rain Gage	PV1																																																								
Outlet	P-A1																																																								
Area	0.1																																																								
Width	25.3																																																								
% Slope	0.5																																																								
% Imperv	25																																																								
N-Imperv	0.02																																																								
Depth of depression storage on pervious area (mm)																																																									
Property	Value																																																								
Dstore-Imperv	0.05																																																								
Dstore-Perv	0.05																																																								
%Zero-Imperv	25																																																								
Subarea Routing	OUTLET																																																								
Percent Routed	100																																																								
Infiltration	HORTON																																																								
Groundwater	NO																																																								
Snow Pack																																																									
LID Controls	0																																																								
Land Uses	0																																																								
Initial Buildup	NONE																																																								
Curb Length	0																																																								
Depth of depression storage on pervious area (mm)																																																									

Name (Nombre):
Nomenclatura asignada a la Subcuenca.

Rain Gage (Pluviómetro):
Pluviómetro asignado.

Outlet (Salida):
Pozo que recibirá la descarga.

Area (Área):
Área de la subcuenca en Ha.*

Width (Ancho):
Anchura de la subcuenca en m.*

Infiltration (Infiltración):
Modelo de Infiltración.

LID Controls (Controles LID):
Sistema Urbano de Drenaje Sostenible implementar en la Subcuenca.

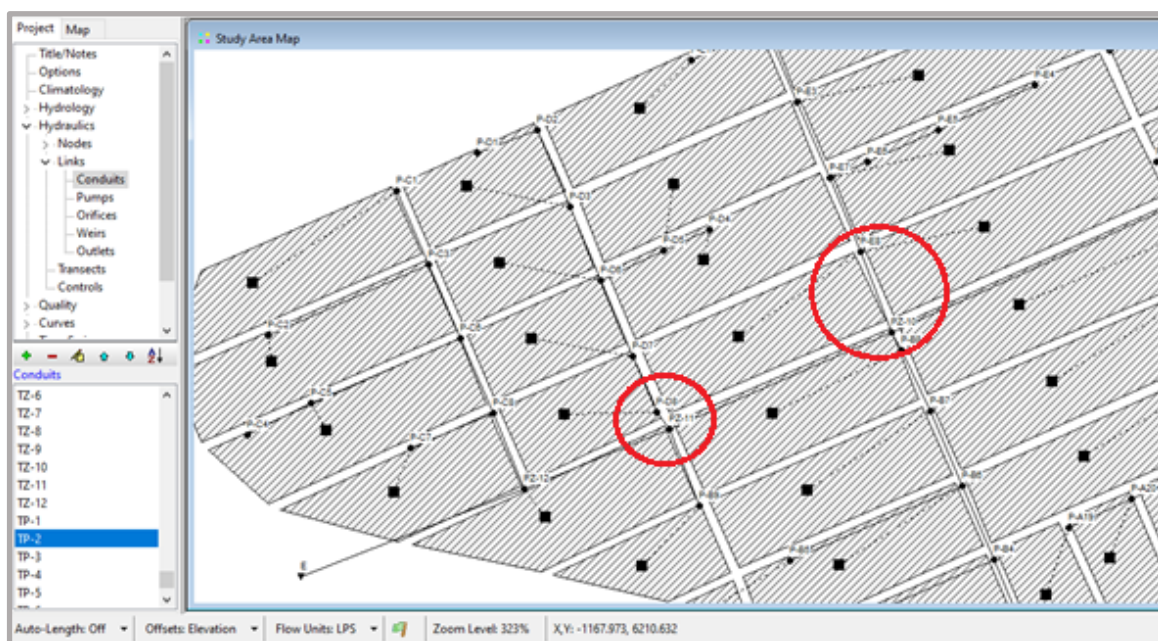
*Datos obtenidos del geoportal SIGUE.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de los datos proporcionados por el Geoportal SIGUE (2021).

Es importante mencionar que se decidió eliminar algunos tramos de alcantarillado pluvial de la parte superior de Santa Cecilia, que, si bien es cierto, pertenecen a la zona de estudio, están conectados al desagüe del barrio colindante; Adicionalmente, se propone la conexión de dos secciones de tubería a la red principal ya que no se encontraban relacionadas, las características de estos elementos se asignaron de la siguiente manera:

- Longitud: Medida a través del geoportal SIGUE.
- Diámetro de la tubería: Se continua con el diámetro de la anterior conexión.
- Material de la tubería: Se continua con el material de la anterior conexión.
- Rugosidad: Coeficiente de rugosidad de Manning, tomado de la tabla “A.7 Valores de coeficiente n de Manning para flujo de conductos cerrados” del Manual de usuario SWMM MODELO DE GESTION DE AGUAS PLUVIALES 5.0vE. (Ver anexo C)

Ilustración 31. Conexión adicional de la tubería



Fuente: Elaboración propia (2021).

Una vez finalizada la asignación de las características de los elementos anteriores, se agrega el pluviómetro y se asigna a las subcuencas de la zona de estudio.

Ilustración 32. Asignación de características para pluviómetro.

Asignación de características para Pluviómetro	
Rain Gage PV1	
Property	Value
Name	PV1
X-Coordinate	-923.984
Y-Coordinate	7313.237
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:15
Snow Catch Factor	0.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	P1
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	MM
Name of rainfall time series (double-click to edit time series)	

Name (Nombre):
Nomenclatura asignada al Pluviómetro.

Rain Format (Formato de Lluvia):
Formato de los datos de Lluvia.

Time Interval (Intervalo de tiempo):
Intervalo de tiempo entre lectura del Pluviómetro.

Data Source (Origen de datos):
Serie temporal de lluvia.

Series Name (Nombre de la serie):
Serie de precipitación asignada.

Rain Units (Unidades de lluvia):
Asignación de unidades.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 33. *Asignación serie temporal de lluvias*

Serie temporal de lluvia.

Time Series Editor

Time Series Name:

Description:

☐ Use external data file named below:

☒ Enter time series data in the table below
No dates means times are relative to start of simulation.

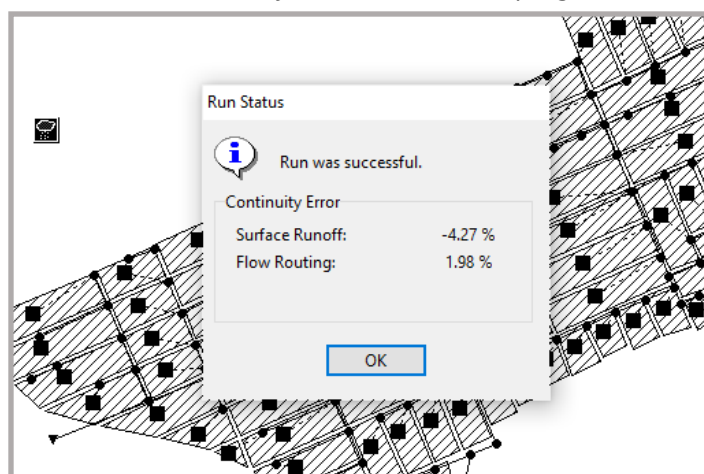
Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:00	0
	0:15	90.59
	0:30	66.02
	0:45	51.58
	1:00	42.17
	1:15	35.58
	1:30	30.72
	1:45	26.99
	2:00	24.05
	2:15	0

View OK Cancel Help

Fuente: Elaboración propia (2021).

Con la serie temporal creada y los parámetros ajustados, se corre la simulación del Sistema de Alcantarillado Actual exitosamente.

Ilustración 34. *Ejecución exitosa del programa*



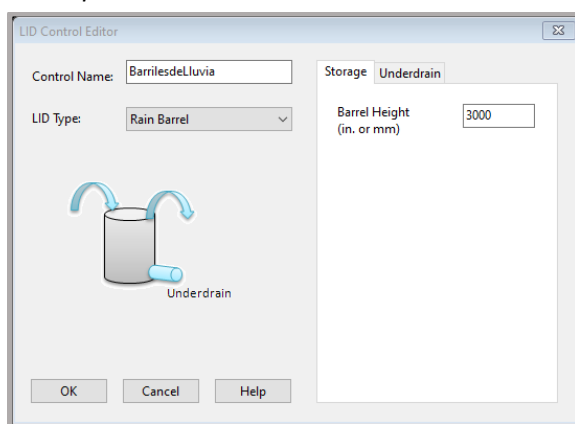
Fuente: Elaboración propia (2021).

8.2.3 SIMULACIÓN SISTEMA DE ALCANTARILLADO ACTUAL MÁS EL SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE.

Adicionalmente, el modelo del sistema de alcantarillado actual se le implementará el Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) con la herramienta LID Controls, como entre las opciones de esta herramienta no existen los pozos de infiltración se utilizará la opción de barriles de lluvia puesto que es el sistema que se asemeja al requerido.

Para crear el tipo de SUDS se selecciona la herramienta LID Controls y se da clic en agregar, saldrá una ventana donde se seleccionará el SUDS requerido, en este caso “Rain Barrel”, la altura del barril será de 3.00m y las unidades a ingresar deben ser en mm.

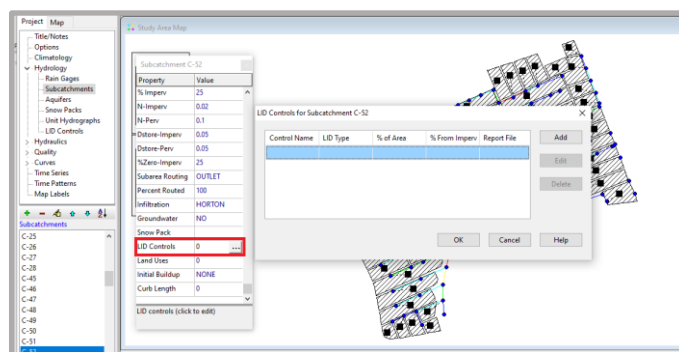
Ilustración 35. Implementación de la herramienta LID- Barriles de lluvia



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ahora, para asignar el SUDS a la cuenca necesaria, en las características de esta se selecciona la opción de LID Controls y se desplegará una ventana para agregarlo.

Ilustración 36. Asignación del SUDS a la cuenca



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 37. Asignación de las características para los pozos de infiltración

Asignación de características para SUDS:

LID Usage Editor

LID Control Name: **BarrilesdeLluvia**

LID Area

☐ LID Occupies Full Subcatchment

Area of Each Unit (sq ft or sq m): 19.63

Number of Units: 3

% of Subcatchment Occupied: 1.732

Surface Width per Unit (ft or m): 5.00

% Initially Saturated: 0

% of Impervious Area Treated: 0

☐ Return all Outflow to Pervious Area

Detailed Report File (Optional):

OK Cancel Help

LID Occupies Full Subcatchment (LID ocupa la subcuenca completa):

Se selecciona que el SUDS no ocupara el área total de la subcuenca.

Area of each unit (Área de cada unidad): Se ingresa el área del barril.

Number of Units (Número de Unidades): Número de unidades a implementar en la subcuenca según necesidad.

% of Subcatchment Occupied (% De ocupación de la subcuenca):

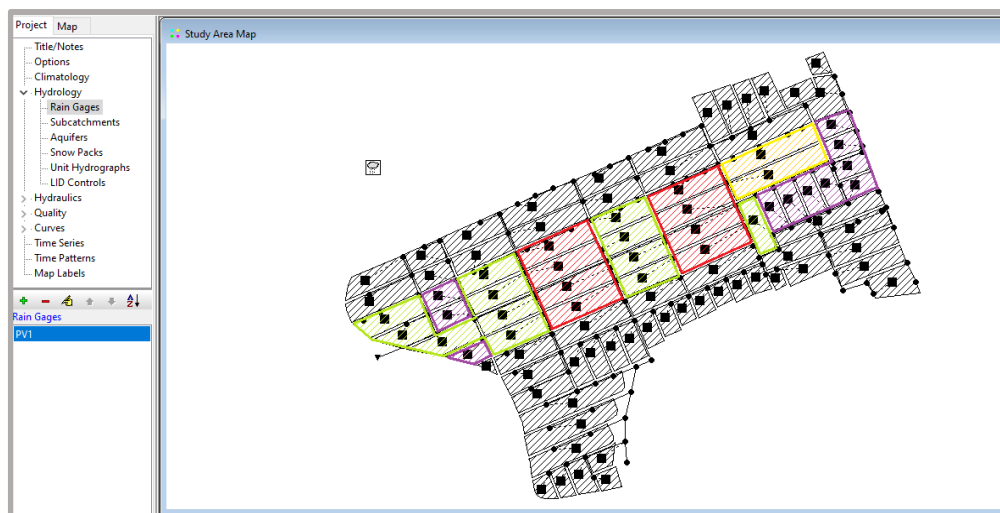
El % de ocupación de la subcuenca.

Surface Width per Unit (Ancho de superficie por unidad): El ancho del barril será de 5.00m.

Return all Outflow to Pervious Area (Devolver todo el flujo de salida al área anterior): No se devolverá el flujo al área anterior.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 38. Asignación de barriles de lluvia en la zona



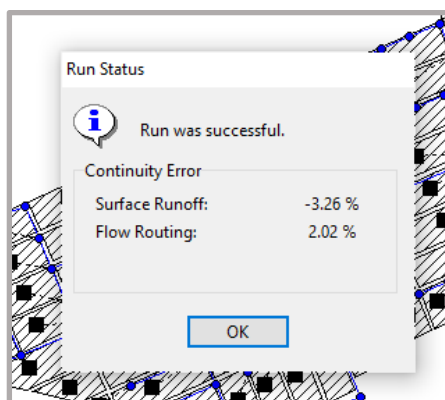
Fuente: Elaboración propia (2021).

La implementación de los barriles de lluvia para las cuencas se realizó de la siguiente manera:

- | | |
|--|--|
| ■ En color rojo: 4 Unidades. | ■ En color lila: 2 unidades. |
| ■ En color verde: 3 Unidades. | ■ En color amarillo: 6 unidades. |

Finalizada la asignación del sistema urbano de drenaje sostenible a las subcuencas, se procede a correr la simulación exitosamente.

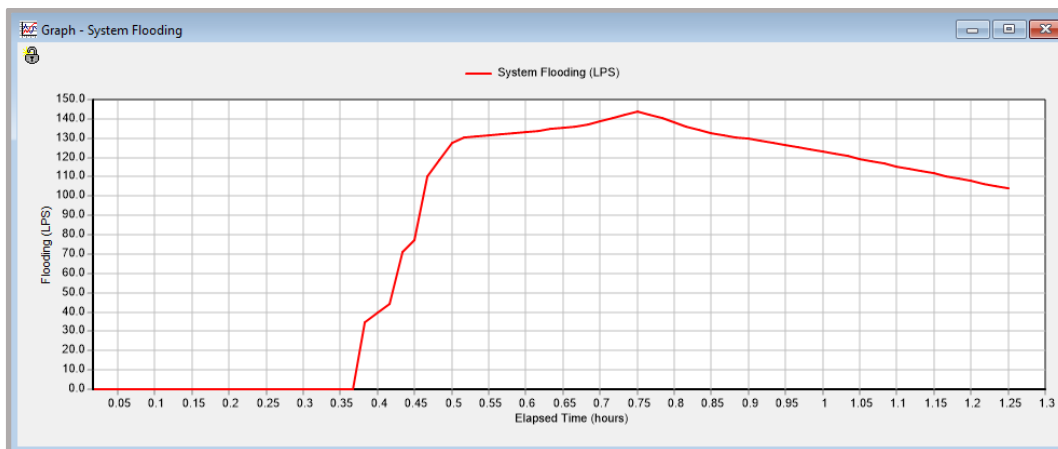
Ilustración 39. Ejecución exitosa de la red con los barriles de lluvia implementados



Fuente: Elaboración propia (2021).

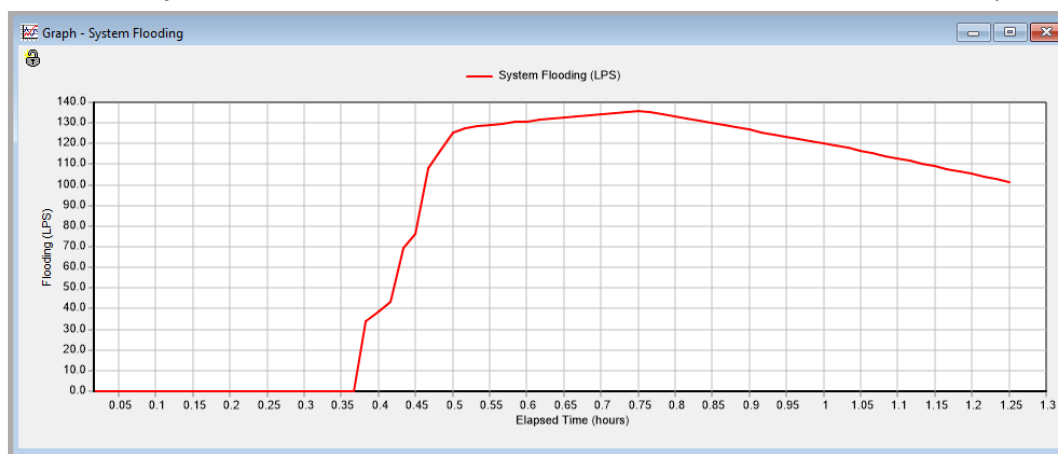
8.2.4 COMPARATIVO DE RESULTADOS OBTENIDOS

Ilustración 40. *Grafica de inundación del sistema de alcantarillado actual*



Fuente: Elaboración propia (2021).

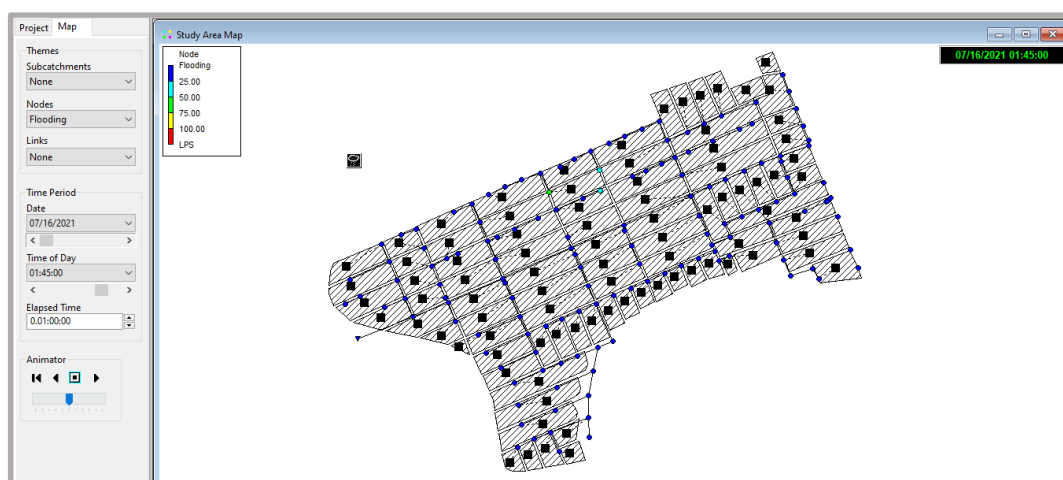
Ilustración 41. *Grafica de inundación del sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado*



Fuente: Elaboración propia (2021).

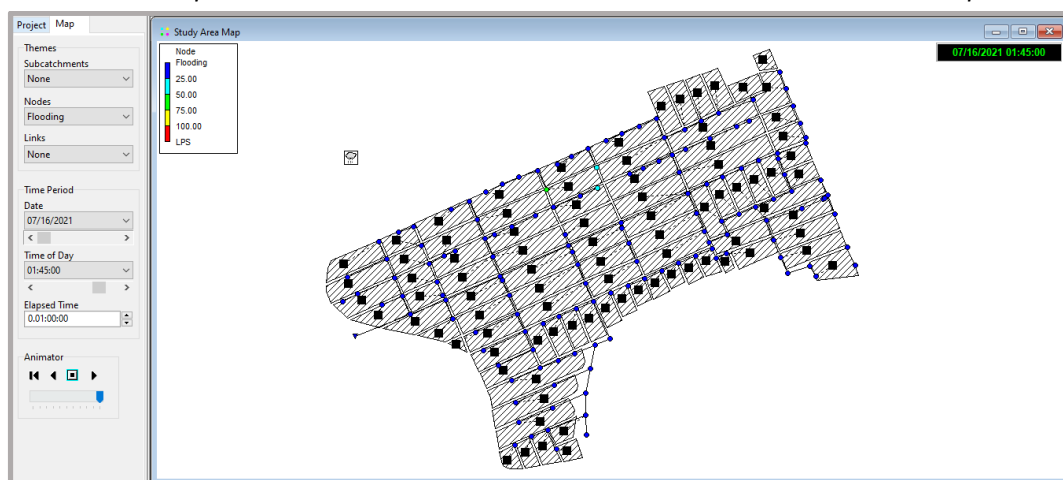
Se puede apreciar en la gráfica de inundación del sistema de alcantarillado actual que el punto más alto de inundación se da a las 0.75 horas (45 minutos) con un caudal de 144LPS (l/s) aproximadamente; mientras que en la gráfica de inundación del sistema de alcantarillado con el SUDS implementado, se aprecia que su punto más alto se da también en las 0.75 horas (45 minutos) pero con un caudal de 138 LPS (l/s) aproximadamente. Es decir, que la implementación realizada de los SUDS refleja una disminución en el caudal de la tubería de 4.17%.

Ilustración 42. Mapa de inundación sistema de alcantarillado actual



Fuente: Elaboración propia (2021).

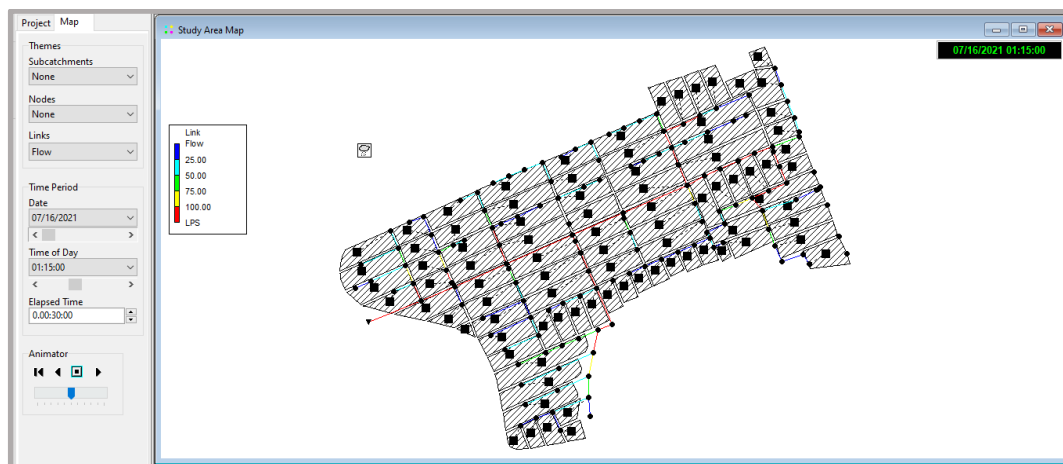
Ilustración 43. Mapa de inundación sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado



Fuente: Elaboración propia (2021).

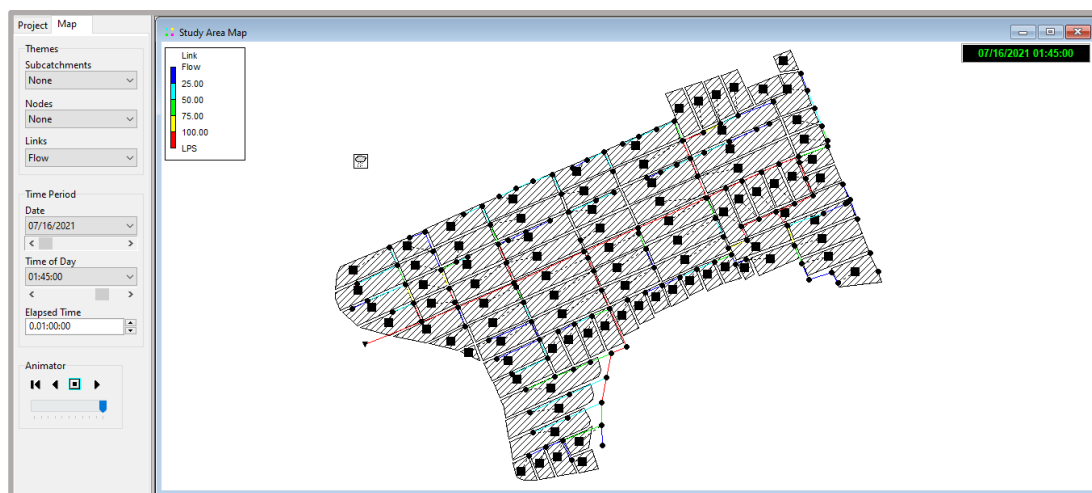
En los mapas de inundación del sistema de alcantarillado actual y el sistema de alcantarillado con el SUDS, se observa que únicamente hay tres nodos que presentan variación, dos de estos con un rango entre los 25 y 50 LPS (l/s) y uno con un rango de 50 a 75 LPS (l/s); esto, debido a que la tubería de estos tramos no cuenta con un desagüe, puesto que no están conectados a ninguna red principal, y no se propuso la conexión de este tramo a la red principal porque el desarrollo longitudinal superaba los 150m y las características del conducto eran inciertas para definir. Así mismo, en los mapas de inundaciones no se aprecian áreas inundadas como consecuencia de la falta de información de la zona y de estudios más puntuales que permitieran ingresar las características completas en el programa de modelación EPA-SWMM.

Ilustración 44. Mapa de flujo sistema de alcantarillado actual



Fuente: Elaboración propia (2021).

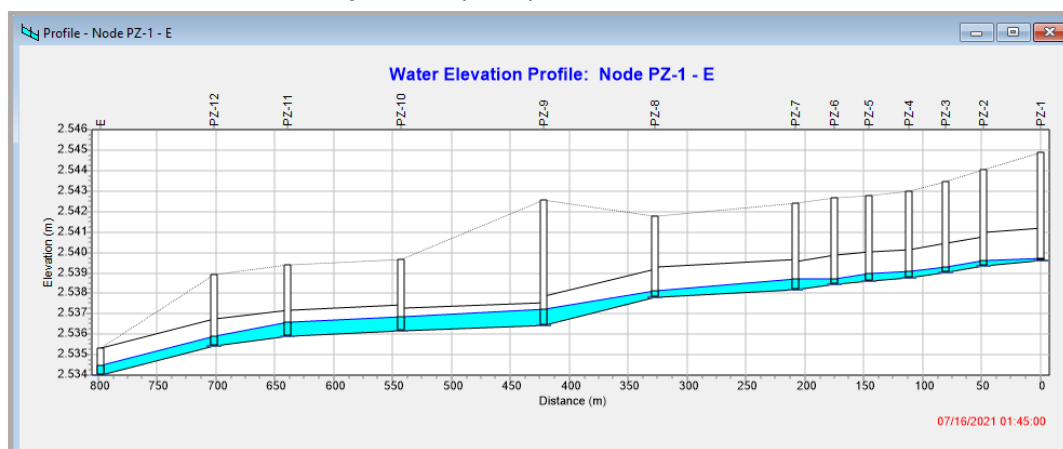
Ilustración 45. Mapa de flujo sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado



Fuente: Elaboración propia (2021).

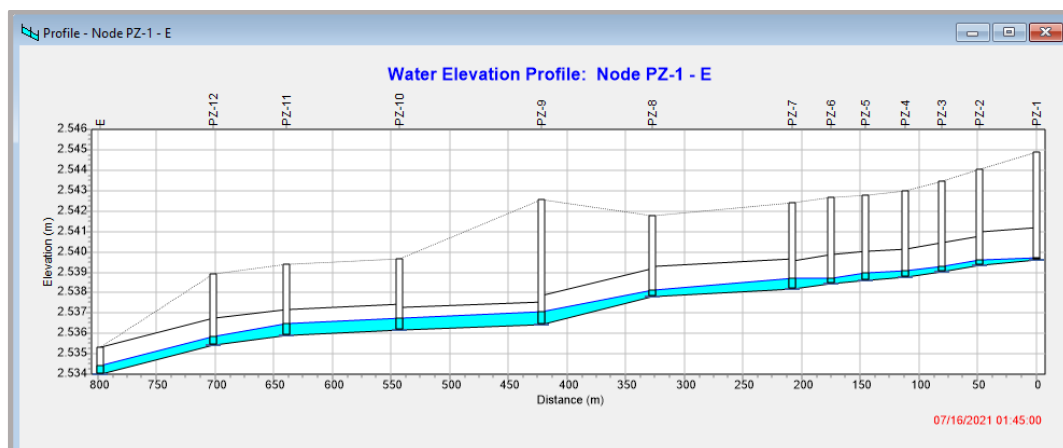
En el mapa de flujo de los dos sistemas se puede evidenciar los rangos del caudal, el tramo de la red principal se aprecia con un rango superior a los 100 LPS (l/s) y hay variables entre los rangos de tramos de red local. Si bien es cierto, que no se observa un cambio significativo entre los mapas de flujo de los sistemas, si existe una disminución en el caudal comprobado en la gráfica de inundación.

Ilustración 46. Perfil de red principal sistema de alcantarillado actual



Fuente: Elaboración propia (2021).

Ilustración 47. Perfil de red principal sistema de alcantarillado actual con el SUDS implementado



Fuente: Elaboración propia (2021).

En los perfiles de la red principal de los sistemas se observa la lámina de agua en los conductos y se evidencia que existe disminución en la lámina de agua del tramo PZ-9 al PZ-12 debido a la implementación del SUDS en las subcuencas perimetrales de este tramo.

9 RECOMENDACIONES

Para un adecuado funcionamiento del SUDS, se recomienda realizar la respectiva intervención de la malla vial de los sectores que se encuentran en mal estado, ya que al no encontrarse pavimentados cuando ocurran eventos de precipitaciones, los sedimentos y demás partículas sólidas tenderán a colmatar el sistema urbano de drenaje sostenible implementado y por consiguiente el sistema de drenaje existente, conllevando nuevamente a eventos de anegaciones.

En el barrio Santa Cecilia existen cuadras que no cuentan con una red de alcantarillado como consecuencia del desarrollo informal y no planificado del mismo. Por esto, se recomienda llevar a cabo una actualización del sistema de alcantarillado vigente para la confiabilidad de la información.

Los pozos de infiltración pueden disponer los volúmenes de agua provenientes de la escorrentía de dos maneras: a través de la recarga de acuíferos o conduciéndolos mediante la red de drenaje existente al cuerpo receptor más cercano, teniendo en cuenta las problemáticas del sector respecto a su sistema de drenaje; en este caso, se sugiere disponer el agua de captación para recarga de acuíferos, evitando así una mayor afectación a la capacidad de las redes existentes.

Para garantizar un mayor porcentaje de disminución del caudal de la tubería y por consiguiente mejorar la optimización del funcionamiento de los pozos de infiltración, se deben contemplar aspectos relevantes como estudios de pre factibilidad, estudio de suelo y estudios hidráulicos e hidrológicos para que así el diseño y puesta en marcha del sistema cumpla con los requerimientos de la zona.

Se recomienda que al momento de realizar el dibujo en el programa EPA SWMM se realice previamente la verificación de cotas, niveles, profundidades, diámetros y sentidos de la tubería; puesto que, la información obtenida puede tener un porcentaje de error, y al momento de asignar las características de los elementos y correr la simulación, es probable que se presenten alertas y errores en la simulación. También se recomienda seleccionar los tramos de tubería que se conectan con la red principal y los tramos que no están conectados proponer su conexión o eliminarlo del sistema, ya que, al momento de simular presentará inundación debido a que no tiene un desagüe de salida.

10 CONCLUSIONES

A partir de la información previa recolectada en el proyecto, se identificaron los diferentes tipos de SUDS y se lograron establecer características, ventajas/ desventajas, funcionamiento y empleabilidad para cada uno de estos dando así cumplimiento al objetivo número uno.

Teniendo en cuenta los datos históricos suministrados por el IDEAM, se establece que los meses con mayores precipitaciones en el Barrio Santa Cecilia y sus alrededores fueron los meses de abril, octubre y noviembre, cabe mencionar que estas precipitaciones no deben considerarse como datos absolutos en la determinación de las intensidades de lluvia y de manera paralela asociarlos a las inundaciones en el sector ya que esto dependerá de otros factores.

Con respecto a la comparación de la red d drenaje existente y la red de drenaje con los pozos de infiltración como SUDS implementados, se logró reducir en un 4,17 % los caudales en las tuberías, demostrando que el sistema funciona ante eventos de inundación.

Se puede concluir que la implementación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible es una acción válida para ejecutar en zonas que tengan problemas de inundación, hay una variedad de opciones para implementar según las condiciones, necesidades y adaptación del modelo; igualmente, con el apoyo de la tecnología y los diferentes programas de simulación es posible evaluar los resultados propuestos y definir las posibles mejoras y funcionamiento del SUDS. Hay que destacar que estos modelos están en continuo de desarrollo y mejora, por lo cual será un aliado para las futuras urbanizaciones, así, como para las actuales que requieren una solución ante el manejo de aguas.

Los resultados obtenidos logran resaltar que los sistemas de drenaje sostenible son una buena alternativa para el manejo de las esorrentías urbanas, además son sistemas que mejoran la calidad del agua antes de ser depuesta a un cuerpo receptor. En este caso los pozos de infiltración cumplen con este objetivo ya que por medio de los sistemas de filtros liberan el agua de sedimentos antes de ser infiltrada al terreno para la posterior recarga de las aguas subterráneas (acuíferos).

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS TEÓRICAS

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2018). *Estudio Nacional de agua*. <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf?>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2018). *Estudio Nacional de agua*. <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf?>
- El Tiempo, (8 de enero de 1986). Se recrudece emergencia por invierno. *El Tiempo*. <https://news.google.com/newspapers?nid=N2osnxbUuuUC&dat=19860405&printsec=frontpage&hl=es>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER. (2021). *Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación*. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Desenvolupament Sostenible. (2021). *Módulos Universitarios en Ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS)-Riesgo de Inundaciones*. <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-7-riesgo-de-inundaciones>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Banco Mundial. (2014). *Guía Metodológica para el Inventario de Asentamientos en Zonas de Alto Riesgo*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-aplicacion-asentamientos.pdf>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER. (2021). *Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación*. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Secretaría de Hacienda, Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2004). *Recorriendo Suba: Diagnóstico Físico y Socioeconómico de las Localidades de Bogotá, D.C.* <https://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/RECORRIENDO%20SUBA.pdf>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2018). *Amenaza por Inundación en Perspectiva del Cambio Climático*. <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/4-DOCUMENTO-TECNICO-DE-SOPORTE/Gestion%20del%20Riesgo.%20Amenazas%20inundacion%20Urbano.pdf>
- El Tiempo, (15 de mayo de 1996). San Benito con el agua hasta el cuello. *El Tiempo*. <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/#abajo>
- El Tiempo, (5 de noviembre de 2014). Inundaciones y caos por fuerte aguacero. *El Tiempo*. <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/#abajo>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2018). *Estudio Nacional de agua*. <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf?>
- El Tiempo, (18 de marzo de 1999). El agua los trasnocha. *El Tiempo*. <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/#abajo>
- Instituto Distrital de Gestión Riesgos y Cambio Climático. (2021). *Hemeroteca de Emergencias de Bogotá*. <http://app2.sire.gov.co:8084/Hemeroteca/>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- CityTV. (2013, 29 de noviembre). *Colapso Red de Alcantarillado*. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=RPkZ58h5JPk>
- Serrano, R y Hernández, D. (2012). *Diagnóstico y Propuesta de Mitigación para los Sectores Críticos de Inundación en la localidad de Suba* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000549.pdf>
- Jiménez, G. (2020, 10 de noviembre). Suba, fuertemente afectada por las lluvias de las últimas horas. *Suba Alternativa*. <https://www.subaalternativa.co/suba-fuertemente-afectada-por-las-lluvias-de-las-ultimas-horas/>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2021). *Plan de Acción Específico: Primera Temporada de Lluvias 2021*. <https://www.sire.gov.co/documents/82884/1000084/PA+1RA+TEMPORADA+DE+LLUVIAS+2021+v3.2.pdf/0c7d6ea2-29d1-4da4-8d6e-ec7c4ea1b3ac>
- Cubides, E y Santos, G. (2018, 28 de junio). Control de Escorrentías Urbanas Mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de Infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*. (12),32-42. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/view/98/106>
- Camargo, E y Lozada, J. (2018). *Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16424/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20-%20DISE%C3%91O%20DE%20SUDS%20VERSION%20FINAL.pdf>
- Jiménez, A y Joya, J. (2015). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio sector en la ciudad de Bogotá*. Recuperado [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/71895062.pdf>
- Trapote, A. (2016,12 de diciembre). Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible. *Journal of Engineering and Technology*.(5),26-38. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/view/1308/1081>

- Veeduría Distrital. (2020, diciembre). *Ficha local Suba*.
<http://veeduriadistrital.gov.co/sites/default/files/files/Publicaciones%202020/Ficha%20Local%20Suba.pdf>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2011). *21 monografías de las Localidades: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos localidad 11 Suba año 2011*.
<http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dice073-monografiasuba-31122011.pdf>
- Veeduría Distrital. (2017, diciembre). *Ficha UPZ Tibabuyes-Suba*.
<http://veeduriadistrital.gov.co/sites/default/files/files/UPZ/TIBABUYES.pdf>
- Tovar, C., Torres, C., Jiménez, L., Fique, L., Negret, F., Ruíz, N., Catillo, M., Hernández, N., Millán, D., Guarín, G., Peña, M., Atanassova, D., Cárdenas, J., Peña, C., Vargas, J., Robles, Godoy, T., García, H. y Luengas, L. (2009, agosto). *Ciudad informal colombiana barrios construidos por la gente*. [Trabajo de investigación].
http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/institutos/ihct/docs/ciudad_informal.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Cambio Climático*.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico/que-es-cambio-climatico/que-es-el-cambio-climatico>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2021). *Caracterización General del Escenario de Cambio Climático para Bogotá*. <https://www.idiger.gov.co/rcc>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio Climático Informe de Síntesis 2007*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático Informe de Síntesis 2014*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (s.f). *Modelación Hidrológica, Amenaza de Inundación*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio climático- IDIGER. (2019, 11 de enero). *Proyecto actualización componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del plan de ordenamiento territorial: Documento Técnico de Soporte Amenaza por Inundación*.
http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo07_Amenaza_por_Inundacion_por_DesbordamientoZonalRural.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*.
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Lozano, T. (2016, 14 de diciembre). Asentamientos Informales la Ciudad Invisible. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*.
<https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/presscenter/articles/2016/12/16/asentamientos-informales-la-ciudad-invisible-si-no-nos-los-atendemos-s-lo-habremos-hecho-la-mitad-de-la-tarea-en-materia-de-reduccion-de-pobreza.html>

- Banco de desarrollo de América Latina. (2017, 3 de enero). *¿Cómo mitigar los riesgos de las inundaciones urbanas en Latinoamérica?* <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2017/01/como-mitigar-los-riesgos-de-las-inundaciones-urbanas-en-latinoamerica/>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo urbano Sostenible. (2015, 29 de mayo). *Temas Hábitat III: Documento Temático sobre Asentamientos Informales*. https://uploads.habitat3.org/hb3/Issue-Paper-22_ASENTAMIENTOS-INFORMALES-SP.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2019, octubre). *Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/guia-adaptacion-riesgo-inundacion-sistemas-urbano-drenaje-sostenible_tcm30-503726.pdf
- The Construction Industry Research and Information Association-CIRIA. (2007). *The SUDS Manual*. <http://www.scotsnet.org.uk/documents/nrdg/ciria-report-c753-the-suds-manual-v6.pdf>
- Universidad de los Andes, Centro de Investigaciones en ingeniería Ambiental CIIA. (2017, 24 de febrero). *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, Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci
- Sosa, A y Castillo, Y. (2020). *Comparación hidráulica a nivel de perfectibilidad de diferentes tipos de SUDS en proyectos urbanísticos menores a 1 hectárea*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24569/1/560486-Sosa-Merch%C3%A1nAL-y-560493-Castillo-Rozo-YA-TdG.pdf>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2018, 9 de febrero). *Norma técnica NS-166, Criterios para el diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. <https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%cc%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/?wpdmdl=15970&refresh=60f98a641fd5a1626966628>
- Abellán, A. (s.f). Estanques de retención. *SUD Sostenible*. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/estanques-de-retencion/>
- Abellán, A. (s.f). Humedales artificiales. *SUD Sostenible*. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/humedales/>
- Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Producción Rural Sustentable en Zonas Prioritarias. (s.f). *Pozos de absorción*. <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/pozos-de-absorcion>
- Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural-UNATSABAR. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozos de infiltración*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especifici

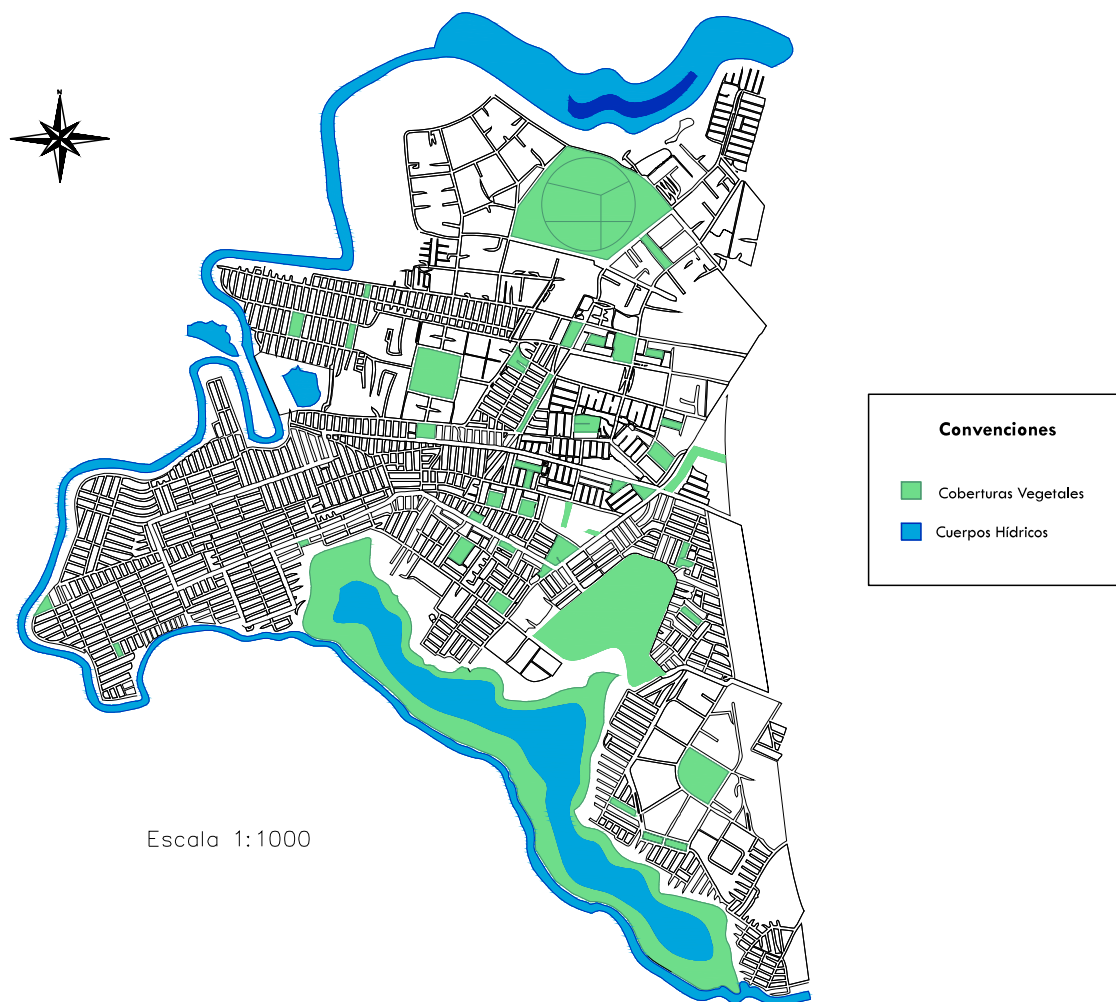
caciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf

- Borrero, C., Giraldo, M. y Vega, L. (2016). *Evaluación del diseño y monitoreo de sistemas de drenaje urbano sostenible. Caso de estudio: Avenida Rincón Tabor y Jardín Botánico de Bogotá*. [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Archivo digital.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15033/u754025.pdf?sequence=1>
- Environmental Protection Agency-EPA. (2005). *SWMM Modelo de gestión de agua pluviales, manual de usuario*. http://www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf
- Sarmiento, A. y Parra, G. (2020, 14 de octubre). *Optimización en el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable en el municipio de Carmen de Apicalá*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9389>
- Bustos, C. y Serrano, L. (2020, 1 de septiembre). *Techos verdes una alternativa para el desarrollo sostenible de la Universidad Piloto de Colombia, sede Bogotá*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital.
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10292>
- Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del Riesgo de Desastres. (2012). *Como desarrollar ciudades más resilientes: Un manual para líderes de los gobiernos locales*.
https://www.unisdr.org/files/26462_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf
- Congreso Nacional del Medio Ambiente, Fundación Conama. (2018). *Agua y Ciudad, Sistemas urbanos de drenaje sostenible*
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/STs%202018/10_preliminar.pdf
- Secretaría Distrital de Ambiente, Subdirección de Eco urbanismo y Gestión ambiental empresarial. (2011). *Documento técnico de soporte DTS, Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN*.
<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- Martínez, G. (2013). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira*. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Archivo digital.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11075/INFORME%20FINAL%20SUDS-GEINNER%20MARTINEZ%20C-23%2001%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bouarafa, S., Lassabatere, L. Lipeme, G. y Angulo, R. (2019, 30 de marzo). Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) by using Beerkan Infiltration Experiment. *Water*, 11, 2-17. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/660>
- Williams, J., Roshni, J., Moobela, C., Hutchinson, D., Wise, R. y Gaterell, M. (2019, 1 de julio). Residents' Perceptions of Sustainable Drainage Systems as Highly Functional T Blue Green Infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, 190, 1-10.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618311848>

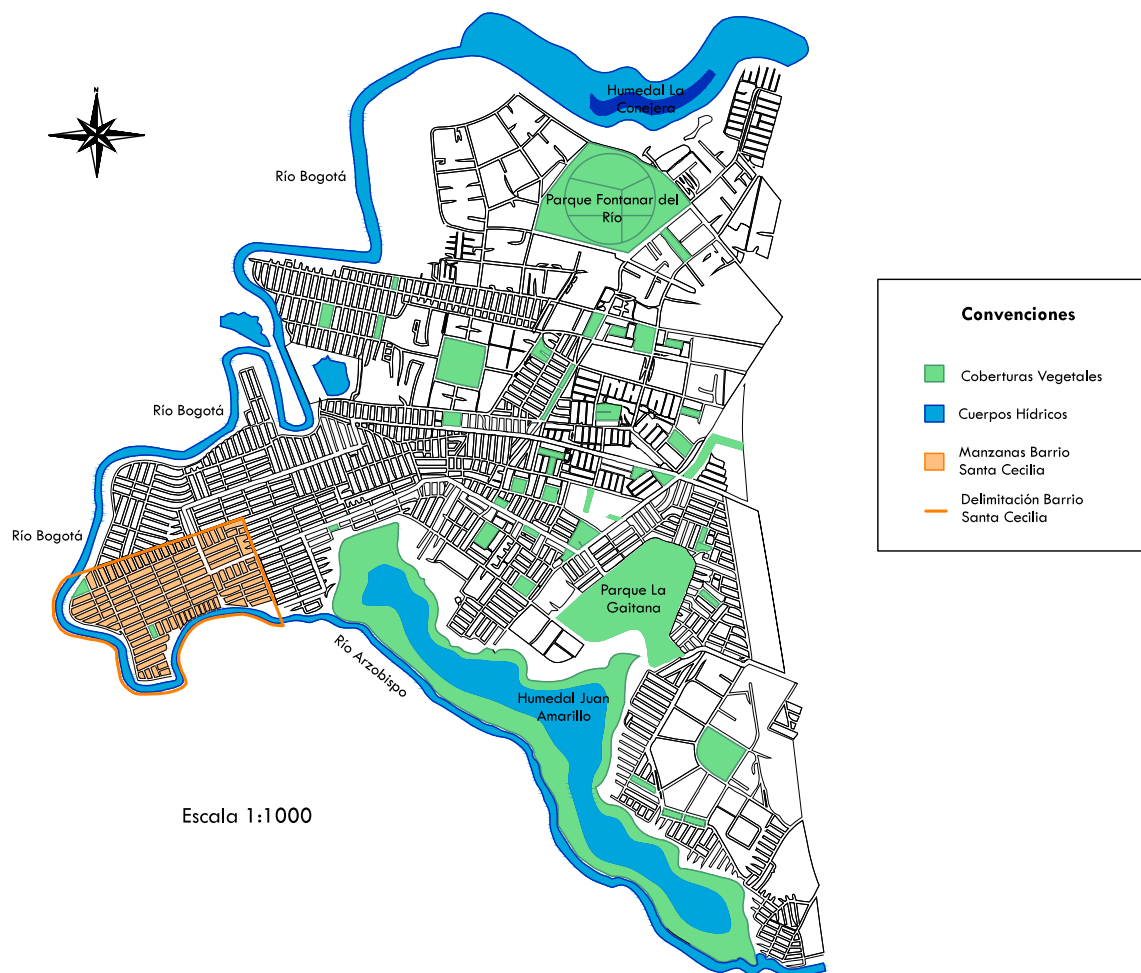
- Everett, G., Lamond, J., Morzillo, A., Ka Shun, F. y Matsler, A. (2015, 6 de junio). Sustainable drainage systems: helping people live with wáter. *Water Managment*, 169, 1-11.
https://www.researchgate.net/publication/279212681_Sustainable_drainage_systems_Helping_people_live_with_water
- Resolución 0330 de 2017. (2017, 8 de junio). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- NS- 166. (2018, 9 de febrero). Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – Norma Técnica.
<https://www.cccs.org.co/wp/download/1-ns-166-criterios-para-disen%cc%83o-y-construccion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-pdf/?wpdmdl=15970&refresh=60f98a641fd5a1626966628>

12 ANEXOS

(Anexo A) Mapa UPZ Tibabuyes



(Anexo B) Mapa del barrio Santa Cecilia dentro de la UPZ Tibabuyes



(Anexo C) Tabla coeficiente de rugosidad de Manning

Material del conducto	<i>n</i>
Canales revestidos:	
De asfalto	0,013 - 0,017
De ladrillo	0,012 - 0,018
De hormigón	0,011 – 0,020
De escombros	0,020 – 0,035
De vegetación	0,03 – 0,04
Excavado o en zanja:	
En tierra, recto y uniforme	0,020 - 0,030
En tierra, con curvas o no uniforme	0,025 – 0,040
En roca	0,030 – 0,045
Sin mantenimiento	0,05 – 0,14
Canales o cauces naturales ⁸ :	
Sección más o menos regular	0,03 - 0,07
Sección irregular con charcos	0,04 – 0,10