

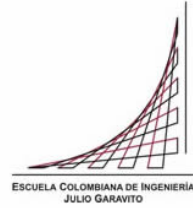
**Maestría en Ingeniería Civil**

**MODELACION DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE  
SOSTENIBLE EN EL BARRIO ATAHUALPA, LOCALIDAD DE  
FONTIBON, CIUDAD DE BOGOTA**

**Diego Andrés Cruz Pachón**

**Daniela Rincón Acosta**

**Bogotá, D.C., 30 de enero de 2024**



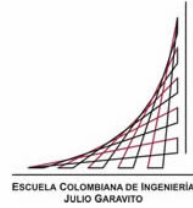
**MODELACION DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE  
SOSTENIBLE EN EL BARRIO ATAHUALPA, LOCALIDAD DE  
FONTIBON, CIUDAD DE BOGOTA**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con  
énfasis en recursos hidráulicos y medio ambiente**

**German Ricardo Santos Granados**

**Director**

**Bogotá, D.C., 30 de enero de 2024**



La tesis de maestría titulada “MODELACION DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN EL BARRIO ATAHUALPA, LOCALIDAD DE FONTIBON, CIUDAD DE BOGOTA”, presentada por Diego Andrés Cruz Pachón y Daniela Rincón Acosta cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

Director

Dr. German Ricardo Santos Granados

Jurado

Ing. Elkin Duvan Cubides

Jurado

Ing. Manuel Contreras Martinez

Bogotá, D.C., 30 de enero del 2024

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a aquellos cuya influencia y apoyo han sido las piedras angulares de nuestra trayectoria académica.

A nuestros padres, Isabel, Adriana y Víctor, cuyo amor incondicional y sacrificios han sido la fuente de nuestra fortaleza y determinación. Su ejemplo de perseverancia y valores ha sido nuestro faro a lo largo de este camino.

A nuestros hermanos Felipe, Karol y Víctor, quienes han compartido risas, ánimos y consejos a lo largo de este viaje. Su presencia ha convertido los momentos difíciles en experiencias compartidas y los triunfos en celebraciones colectivas.

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis. Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de diversas personas y organizaciones.

En primer lugar, agradecer a nuestro director de tesis, Doctor German Ricardo Santos, por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso.

Agradecemos también a nuestro asesor académico, Ing. Elkin Duvan Cubides, por su valioso aporte y por brindarnos la oportunidad de explorar este tema apasionante. Su mentoría y dedicación fueron esenciales para nuestro desarrollo académico.

Nuestra gratitud se extiende a La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por proporcionar los recursos y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

Agradecemos a nuestras familias por su inquebrantable apoyo y comprensión a lo largo de este viaje académico. Sus palabras de aliento y paciencia fueron una fuente de fortaleza.

Gracias a todos los que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. Su influencia positiva ha dejado una marca indeleble en nuestro viaje académico.

## Resumen

Esta tesis se centra en el estudio y análisis de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como enfoque innovador para abordar los desafíos asociados con la gestión del agua en entornos urbanos, particularmente en la ciudad de Bogotá. El objetivo principal es modelar las diferentes tipologías aprobadas por la normativa vigente para la gestión integral del agua en áreas urbanas, con un enfoque especial en la reducción de la escorrentía superficial y la mitigación de inundaciones al interior del casco urbano.

El estudio comienza con una revisión exhaustiva de la literatura sobre los problemas actuales en los sistemas de drenaje urbano convencionales y la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles. Se examinan casos de estudio de implementación exitosa de SUDS en algunas zonas al interior de la ciudad de Bogotá.

El trabajo desarrollado incluye la recopilación de datos hidrológicos y la evaluación de la infraestructura existente en la zona de estudio determinada, barrio Atahualpa, localidad de Fontibón. Se utilizan herramientas de modelado hidráulico para simular y comparar el rendimiento de los sistemas de drenaje convencionales existentes frente a la integración de distintas tipologías de SUDS: Pavimentos porosos, alcorques inundables, zanjas o trincheras de infiltración y cunetas verdes; junto con sus respectivas combinaciones.

Los resultados indican que la implementación de SUDS puede conducir a una reducción de la escorrentía superficial, mitigación de caudales pico que ingresan al sistema de alcantarillado convencional y favorecen la creación de entornos urbanos más sostenibles y resilientes. Se concluye con recomendaciones prácticas para planificadores urbanos, autoridades locales y diseñadores de infraestructura, destacando la necesidad de integrar enfoques sostenibles en la planificación y gestión del agua en entornos urbanos.

# Índice general

## Contenido

Resumen .....	6
Índice general .....	7
Índice de tablas .....	9
Índice de ilustraciones .....	11
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1. Capítulo I Antecedentes .....	18
1.1 Árbol de problemas .....	18
1.2 Eventos hidrológicos en el sistema de drenaje de Bogotá .....	19
1.3 Sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá. ....	23
1.4 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS en Bogotá .....	26
2. Capítulo II Marco Teórico .....	29
2.1. Soluciones Basadas en la Naturaleza SbN.....	29
Las tipologías de SUDS descritas a continuación serán clave en el desarrollo del presente proyecto, pues son los diferentes escenarios que se implementarán para mitigar los encharcamientos en la zona de estudio. ....	29
2.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.....	29
2.2.1. Cunetas verdes.....	30
2.2.2. Cuencas secas de drenaje extendido .....	31
2.2.3. Zonas de bioretención.....	31
2.2.4. Zanjas o trincheras de infiltración .....	32
2.2.5. Alcorques inundables.....	32
2.2.6. Pavimentos/concretos porosos .....	33
2.2.7. Tanques de almacenamiento.....	34
Capítulo III Metodología.....	36
3.1. FASE I – IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	36
3.2. FASE II CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	40
3.2.1. CURVAS DE INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA IDF .....	40
3.2.2. Alcantarillado existente .....	44
3.2.3. Topografía.....	59

3.2.4.	Características geomorfológicas.....	61
3.2.4.1.	Suelo.....	61
3.2.4.2.	Infiltración.....	73
3.2.4.3.	Escorrentía superficial.....	76
3.2.4.4.	Coeficiente de Manning.....	80
3.3.	FASE III MODELACIÓN DEL ESTADO ACTUAL.....	82
3.4.	FASE IV SELECCIÓN DE TIPOLOGIAS DE SUDS.....	103
3.4.1.	Parámetros de pre-dimensionamiento.....	116
3.4.1.1.	Alcorques inundables.....	118
3.4.1.2.	Zanjas de infiltración.....	124
3.4.1.3.	Pavimentos porosos.....	128
3.4.1.4.	Cunetas verdes.....	139
3.5.	FASE V MODELACIÓN DEL SISTEMA CON LAS SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE TIPOLOGIAS.....	143
3.5.1.	Escenario 1.....	143
3.5.2.	Escenario 2.....	148
3.5.3.	Escenario 3.....	153
3.5.4.	Escenario 4.....	158
3.5.5.	Escenario 5.....	162
3.5.6.	Escenario 6.....	164
3.5.7.	Escenario 7.....	165
Capítulo IV	Resultados.....	167
Capítulo V	Conclusión y prospectivas.....	177
Referencias.....		180



## Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de posibles zonas de estudio.....	39
Tabla 2. Intensidad y precipitación zona de estudio, Tr 5 años.....	41
Tabla 3. Lluvia de diseño NS-085 v.4.1 De: E.A.A.B.....	41
Tabla 4. Hietograma de diseño duración 3 hr, intervalos cada 10 minutos.....	43
Tabla 5. Características iniciales del sistema de alcantarillado pluvial de la zona de estudio.....	58
Tabla 6. Áreas categorizadas zona de estudio.....	59
Tabla 7. Parámetros y tipos de suelo encontrados en barrio Kassandra.....	65
Tabla 8. Parámetros y tipos de suelo encontrados en barrio Puente Grande. De: “ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)” .....	68
Tabla 9. Parámetros y tipos de suelo encontrados en Carera 97 y Av. Esperanza. ....	70
Tabla 10. Parámetros y tipos de suelo encontrados en el Refugio. De: “ESTUDIO Y DISEÑO CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS A BARRIO Y PAVIMENTOS LOCALES” .....	73
Tabla 11. Valores de CN De: NS – 0166 .....	74
Tabla 12. Valores de CN De: Manual SWWM.....	75
Tabla 13. CN para áreas tributarias. De: SWMM y NS-085. ....	76
Tabla 14. Valor de CN a implementar. ....	76
Tabla 15. Valores del coeficiente de escorrentía. De: EAAB NS – 085.....	78
Tabla 16. Características del suelo. De: Manual SWWM .....	79
Tabla 17. Parámetros del suelo. De: Manual SWWM .....	79
Tabla 18. Valores para el coeficiente de Manning. De: Manual SWWM.....	81
Tabla 19. Valores para coeficiente de Manning. De: EAAB NS - 085 .....	82
Tabla 20. n de Manning.....	82
Tabla 21. Diagnóstico de la red.....	98
Tabla 22. Disponibilidad de espacio en los tramos. ....	115
Tabla 23. Características del suelo De Manual SWMM v5.1 .....	117
Tabla 24. Definición de parámetros del suelo. De: Manual SWMM v5.1 .....	117
Tabla 25. Comparación de parámetros de dimensionamiento de alcorques inundables. ....	119
Tabla 26. Parámetros de dimensionamiento de Alcorques inundables.....	123
Tabla 27. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Zanjas de Infiltración. ....	124
Tabla 28. Parámetros de dimensionamiento para zanjas de infiltración. ....	127

Tabla 29. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Pavimentos Porosos ..	130
Tabla 30. Parámetros de dimensionamiento de pavimentos porosos.....	137
Tabla 31. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Cunetas Verdes. ....	139
Tabla 32. Parámetros de dimensionamiento de cunetas verdes.....	141
Tabla 33. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	145
Tabla 34. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	147
Tabla 35. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	148
Tabla 36. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	150
Tabla 37. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	152
Tabla 38. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	155
Tabla 39. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	157
Tabla 40. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	160
Tabla 41. Parámetros de asignación de tipología en el área. ....	162
Tabla 42. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 1 y Tramo 2.....	167
Tabla 43. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 3.....	168
Tabla 44. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 11.....	169
Tabla 45. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo Troncal Anden 14. ....	170
Tabla 46. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 7, Troncal Anden 5 y Troncal Anden 1. ....	172
Tabla 47. Porcentaje de disminución caudal pico en SALIDA.....	175
Tabla 48. Diferencia de volumen en la salida en cada escenario. ....	176

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Árbol de problemas .....	18
Ilustración 2. Pérdidas económicas y muertes reportadas. De: Guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21. ....	19
Ilustración 3. Zonas potencialmente inundables en Colombia. De: IDEAM .....	20
Ilustración 4. Localidades afectadas por eventos de inundación De: IDIGER .....	21
Ilustración 5. Densidad de eventos de encharcamiento por Unidades de Gestión de Alcantarillado (UGA) en la ciudad de Bogotá (Eventos/km2) Periodo 2005-2019. De: IDIGER .....	22
Ilustración 6. Mapa de priorización conjunta de UGAS por el objetivo de manejo de escorrentía. De: Figura de 73 de Producto 2 - Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C CIIA Universidad de los Andes. ....	23
Ilustración 7. Distribución UGAS pluviales. De: EAAB.....	24
Ilustración 8. Distribución UGAS sanitarias. De: EAAB.....	24
Ilustración 9. Proyectos finalizados relacionados con SUDS en Bogotá. De: Presentación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Secretaria de Ambiente. ....	27
Ilustración 10. Primeras 3 tipologías de Alcorque inundable en Bogotá. De: Presentación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Secretaria de Ambiente. ....	27
Ilustración 11. Cuarta medida de adaptación según POT 2021. De: Decreto 555 del 2021. ....	28
Ilustración 12. Ubicación zona de estudio. De: Google Earth 2023 .....	39
Ilustración 13. Coeficientes de diseño Fuente: EAAB. ....	40
Ilustración 14. Alcantarillado pluvial existente. De: EAAB.....	45
Ilustración 15. Sistema de alcantarillado pluvial actual. ....	46
Ilustración 16. Áreas zona de estudio.....	60
Ilustración 17. Áreas aferentes correspondientes a tramos de estudio.....	61
Ilustración 18. Ubicación barrio Kasandra. De: Google Maps .....	62
Ilustración 19. Ubicación barrio Puente Grande. De: Google Maps .....	62
Ilustración 20. Barrenos barrio Kassandra. De: “ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)” .....	65
Ilustración 21. Barrenos barrio Puente Grande. De: “ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)” .....	68
Ilustración 22. Ubicación Carera 97 y Av. Esperanza. De: Google Maps 2023. ....	69
Ilustración 23. Ubicación proyecto de urbanización. De: Google Maps 2023. ....	70
Ilustración 24. Parámetros de modelación "General" .....	83
Ilustración 25. Parámetros de modelación "General" De: SWWM .....	83
Ilustración 26. Parámetros de modelación "Dates" .....	84
Ilustración 27. Parámetros de modelación "Dates" .....	84

Ilustración 28. Parámetros de modelación "Time Steps" .....	85
Ilustración 29. Parámetros de modelación "Time Steps" De: SWWM .....	85
Ilustración 30. Parámetros de modelación "Dynamic Wave" .....	86
Ilustración 31. Parámetros de modelación "Dynamic Wave" De: SWWM .....	86
Ilustración 32. Propiedades de los pozos. ....	87
Ilustración 33. Ejemplo información pozos. De: SWWM .....	87
Ilustración 34. Propiedades de los tramos. ....	88
Ilustración 35. Ejemplo información tramos. De: SWWM. ....	89
Ilustración 36. Time Series. De: SWWM .....	89
Ilustración 37. Rain Gage. De: SWWM .....	90
Ilustración 38. Propiedades de las áreas. ....	91
Ilustración 39. Áreas tributarias. De: SWWM .....	92
Ilustración 40. Ejemplo información áreas. De: SWWM .....	92
Ilustración 41. Radio hidráulico para diferentes secciones transversales. De: Wikipedia. ....	94
Ilustración 42. Asignación de flujo base en red troncal. De: SWWM. ....	95
Ilustración 43. Asignación de flujo base en red troncal. De: SWWM. ....	95
Ilustración 44. Hietograma nodo de salida, condición existente. De: SWMM .....	99
Ilustración 45. Profundidad máxima. De: SWMM .....	100
Ilustración 46. Caudal. De: SWMM .....	100
Ilustración 47. Velocidad. De: SWMM .....	101
Ilustración 48. Capacidad. De: SWMM .....	101
Ilustración 49. Capacidad Hidráulica. ....	102
Ilustración 50. Ubicación Tramos .....	103
Ilustración 51. Inicio Tramo 1. ....	104
Ilustración 52. Mitad Tramo 1. ....	104
Ilustración 53. Final Tramo 1 .....	104
Ilustración 54. Inicio Tramo 2. ....	105
Ilustración 55. Mitad Tramo 2. ....	105
Ilustración 56. Final Tramo 2. ....	106
Ilustración 57. Inicio Tramo 3. ....	108
Ilustración 58. Mitad Tramo 3. ....	108
Ilustración 59. Mitad tramo 3. ....	109
Ilustración 60. Final tramo 3. ....	109
Ilustración 61. Inicio Tramo 4. ....	109
Ilustración 62. Mitad tramo 4. ....	109
Ilustración 63. Final Tramo 4. ....	110
Ilustración 64. Inicio Tramo 5. ....	110
Ilustración 65. Mitad tramo 5. ....	110

Ilustración 66. Final Tramo 5.....	110
Ilustración 67. Inicio Tramo 6.....	111
Ilustración 68. Mitad tramo 6.....	111
Ilustración 69. Final tramo 6.....	111
Ilustración 70. Inicio Tramo 7.....	112
Ilustración 71. Final tramo 7.....	112
Ilustración 72. Inicio tramo 8.....	112
Ilustración 73. Final tramo 8.....	113
Ilustración 74. Inicio tramo 9.....	113
Ilustración 75. Mitad Tramo 9.....	113
Ilustración 76. Final tramo 9.....	113
Ilustración 77. Inicio tramo 10.....	114
Ilustración 78. Final tramo 10.....	114
Ilustración 79. inicio del tramo 11.....	114
Ilustración 80. Mitad del tramo 11.....	115
Ilustración 81. Mitad del tramo 11.....	115
Ilustración 82. Final tramo 11.....	115
Ilustración 83. Tamos donde es posible implementar.....	116
Ilustración 84. Tasa de infiltración en Bogotá De norma NS - 166.....	118
Ilustración 85. Parámetros de superficie para alcorques inundables De: SWWM.....	123
Ilustración 86. Parámetros de suelo para alcorques inundables. De: SWWM.....	123
Ilustración 87. Parámetros de superficie para zanjas de infiltración. De: SWWM.....	128
Ilustración 88. Parámetros de almacenamiento para zanjas de infiltración. De: SWWM.....	128
Ilustración 89. Parámetros de drenaje para zanjas de infiltración. De: SWWM.....	128
Ilustración 90. Parámetros de superficie para Pavimentos porosos. De: SWWM.....	138
Ilustración 91. Parámetros de pavimento para Pavimentos porosos. De: SWWM.....	138
Ilustración 92. Parámetros de suelo para Pavimentos porosos. De: SWWM.....	138
Ilustración 93. Parámetros de almacenamiento para Pavimentos porosos. De: SWWM.....	138
Ilustración 94. Parámetros de drenaje para Pavimentos porosos. De: SWWM.....	139
Ilustración 95. Parámetros de superficie para Cuentas verdes. De: SWWM.....	142
Ilustración 96. Parámetros para asignación de SUDS en áreas aferentes. De: SWWM.....	143
Ilustración 97. Tramos donde que inciden en el escenario 1.....	144
Ilustración 98. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3. De: Google Maps.....	145
Ilustración 99. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps.....	145
Ilustración 100. Ubicación de Alcorques inundable tramo 7. De: Google Maps.....	146
Ilustración 101. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps.....	146
Ilustración 102. Ubicación de Alcorques inundable tramo 11. De: Google Maps.....	147
Ilustración 103. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps.....	147
Ilustración 104. Hietograma de salida para la implementación de alcorques inundables. De: SWMM.....	148
Ilustración 105. Tramos que inciden en el escenario 2.....	149

Ilustración 106. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2. De: Google Maps.....	149
Ilustración 107. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	150
Ilustración 108. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3. De: Google Maps.....	151
Ilustración 109. Espacio disponible en el tramo para la implementación De: Google Maps. .....	151
Ilustración 110. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	152
Ilustración 111. Hietograma de salida para la implementación de zanjas de infiltración. De: SWWM.....	153
Ilustración 112. Tramos que inciden en el escenario 3. ....	154
Ilustración 113. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2. De: Google Maps.....	155
Ilustración 114. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	155
Ilustración 115. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3. De: Google Maps.....	156
Ilustración 116. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	156
Ilustración 117. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	157
Ilustración 118. Hietograma de salida para la implementación de cuentas verdes De: SWWM.....	158
Ilustración 119. Tramos que inciden en el escenario 4. ....	159
Ilustración 120. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2. De: Google Maps.....	160
Ilustración 121. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De: Google Maps. .....	160
Ilustración 122. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3. De: Google Maps. ....	161
Ilustración 123. Espacio disponible en el tramo para la implementación. De Google Maps. .....	161
Ilustración 124. Hietograma de salida para la implementación de cuentas verdes De: SWWM.....	162
Ilustración 125. Tramos que inciden en el escenario 5. ....	163
Ilustración 126. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos De: SWWM.....	163
Ilustración 127. Tramos que inciden en el escenario 6. ....	164
Ilustración 128. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos + zanjas de infiltración. De: SWMM.....	165
Ilustración 129. Tramos que inciden en el escenario 7. ....	166
Ilustración 130. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos + cuentas verdes. De: SWMM.....	166
Ilustración 131. Tramos analizados y nodo de salida.....	168
Ilustración 132. Tramos analizados y nodo de salida.....	170
Ilustración 133. Tramos analizados y nodo de salida.....	171
Ilustración 134. Tramos analizados y nodo de salida.....	173
Ilustración 135. Hidrograma de salida en cada escenario.....	174

Ilustración 136. Acercamiento a caudal pico en hidrograma de salida en cada escenario.	175
Ilustración 137. Volumen por escenario.	176

## **1.1. OBJETIVO GENERAL.**

- Implementar la metodología de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el barrio Atahualpa, localidad de Fontibón, zona identificada como escenario de riesgo asociados a fenómenos de encharcamiento.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Caracterizar la zona de estudio teniendo en cuenta los escenarios de riesgo establecidos por las entidades competentes; mediante la identificación de parámetros hidrológicos, topográficos e hidráulicos actuales.
- Identificar las tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible que más se adapten a la zona, optimizando el sistema de alcantarillado existente y de esta manera mitigar los eventos de encharcamiento de la zona.
- Hacer uso del software Storm Water Management Model (SWMM) para modelar los diferentes escenarios implementando los SUDS previamente seleccionados permitiendo evaluar la capacidad hidráulica del sistema.



## Introducción

La ciudad de Bogotá se caracteriza por tener un régimen climático bimodal, influenciado por los desplazamientos de la zona de Confluencia Intertropical. Tiene entre 150 a 200 días con lluvia en todo el año (IDIGER, 2018). Las zonas más propensas a la ocurrencia de inundaciones se encuentran al occidente de la ciudad, dada su topografía plana y extensa, con baja capacidad para evacuar caudales. Las principales causas de las inundaciones en el sistema existente de drenaje de la ciudad.

Esta situación se presenta de manera recurrente en el barrio Atahualpa, ubicado en la localidad de Fontibón, en zona occidental de la ciudad, afectando a comerciantes y residentes de la zona. La recurrencia de estos eventos de encharcamiento es ratificada a su vez por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, IDIGER, al establecer esta zona de la ciudad como zona con riesgo de inundación por encharcamiento en sus mapas de priorización (IDIGER, 2018). En el mismo sentido lo ha hecho la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB en su mapa de priorización conjunta de UGAS por el objetivo de manejo de escorrentía (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2015).

El presente trabajo hace uso de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para mitigar los encharcamientos presentados durante la ocurrencia de eventos críticos, los cuales colapsan el sistema de alcantarillado tradicional existente en el barrio Atahualpa, localidad de Fontibón en la ciudad de Bogotá. la modelación se realiza con el Software Storm Water Managment Model SWMM. Con el objetivo de identificar los sistemas de estructuras que tienen un mejor comportamiento en la zona de estudio escogida, se realizó la modelación de varios escenarios implementando distintas combinaciones de tipologías, teniendo en consideración que los SUDS son estructuras diseñadas con el propósito de aliviar la carga hidráulica que ingresa al sistema de drenaje tradicional existente en la zona. Permitiendo comparar la capacidad hidráulica de cada uno de ellos.

Este trabajo contiene el procedimiento que se ha seguido para la escogencia de la zona de estudio, la obtención de valores de precipitaciones y demás variables hidrológicas requeridas para su desarrollo, modelación y el análisis comparativo de los resultados obtenidos para cada una de las alternativas SUDS dimensionados y modelados.

# 1. Capítulo I

## Antecedentes

En este capítulo, se hace un acercamiento al contexto histórico y actual de la ciudad de Bogotá, en los cuales se identifica la problemática y consecuencias de las inundaciones por encharcamiento en la capital. Se presenta la situación actual del sistema de alcantarillado pluvial, dando relevancia tanto al sistema tradicional como la implementación de sistemas de urbanos de drenaje sostenible en los nuevos proyectos de la ciudad.

### 1.1 Árbol de problemas

Con el objetivo de identificar la naturaleza y contexto de las inundaciones por encharcamientos, que constituyen una problemática recurrente al interior de la ciudad, se presenta el siguiente árbol de problemas:

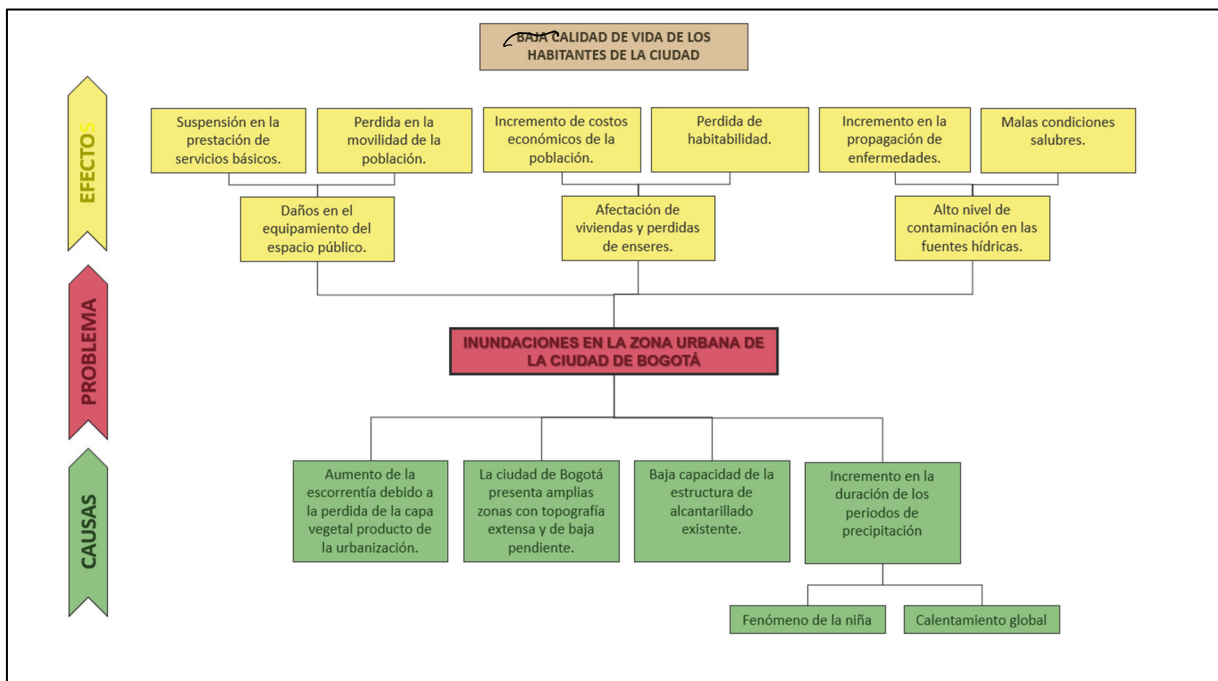


Ilustración 1. Árbol de problemas

## 1.2 Eventos hidrológicos en el sistema de drenaje de Bogotá

La ocurrencia de inundaciones presenta un panorama alarmante en cualquier escenario. Sin embargo, puntualmente en las zonas urbanas, principales núcleos de población, plantean un grave desafío para la vida de sus habitantes, ya que, en comparación con los eventos ocurridos en zonas rurales, los efectos provocados por la ocurrencia de inundaciones en zonas urbanas tienden a ser más costosos, de difícil contención y manejo (Sánchez Paula, 2019) (Jha et al., 2012). En las zonas urbanas dichas catástrofes aumentan su frecuencia y magnitud debido a la impermeabilización del suelo, fallas y/o baja capacidad de los sistemas de alcantarillado y la acumulación de residuos sólidos, tanto en las estructuras recolectoras como conductoras (Tucci.M, 2006).

Las consecuencias de las inundaciones impactan en gran medida en el desarrollo socioeconómico de las comunidades afectadas (Rentschler Jun & Salhab Melda, 2020). La siguiente gráfica, tomada de la “Guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21” (Jha et al., 2012), presenta las pérdidas económicas y cantidad de muertes ocurridas por eventos de inundación en la segunda mitad del siglo 20 a nivel mundial:

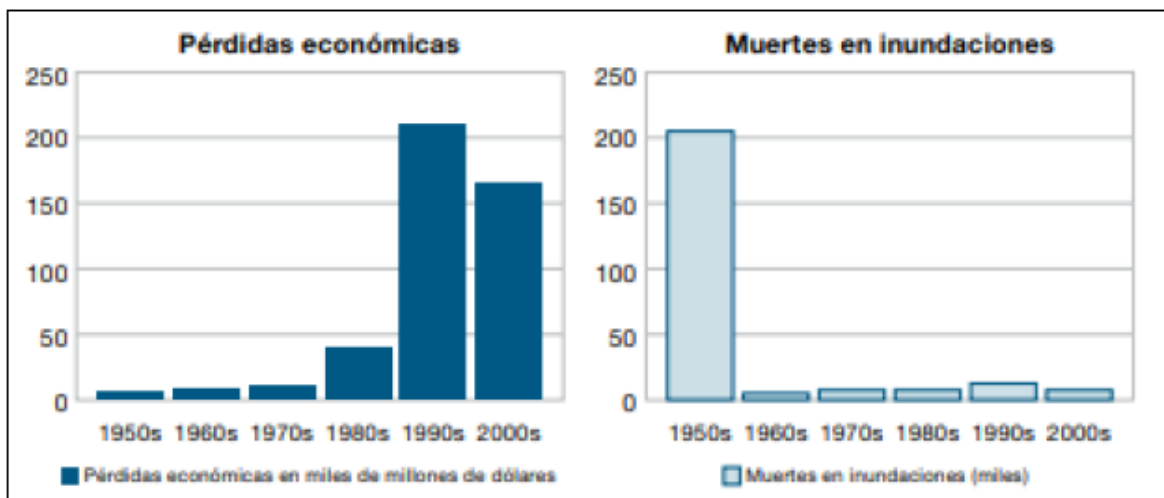
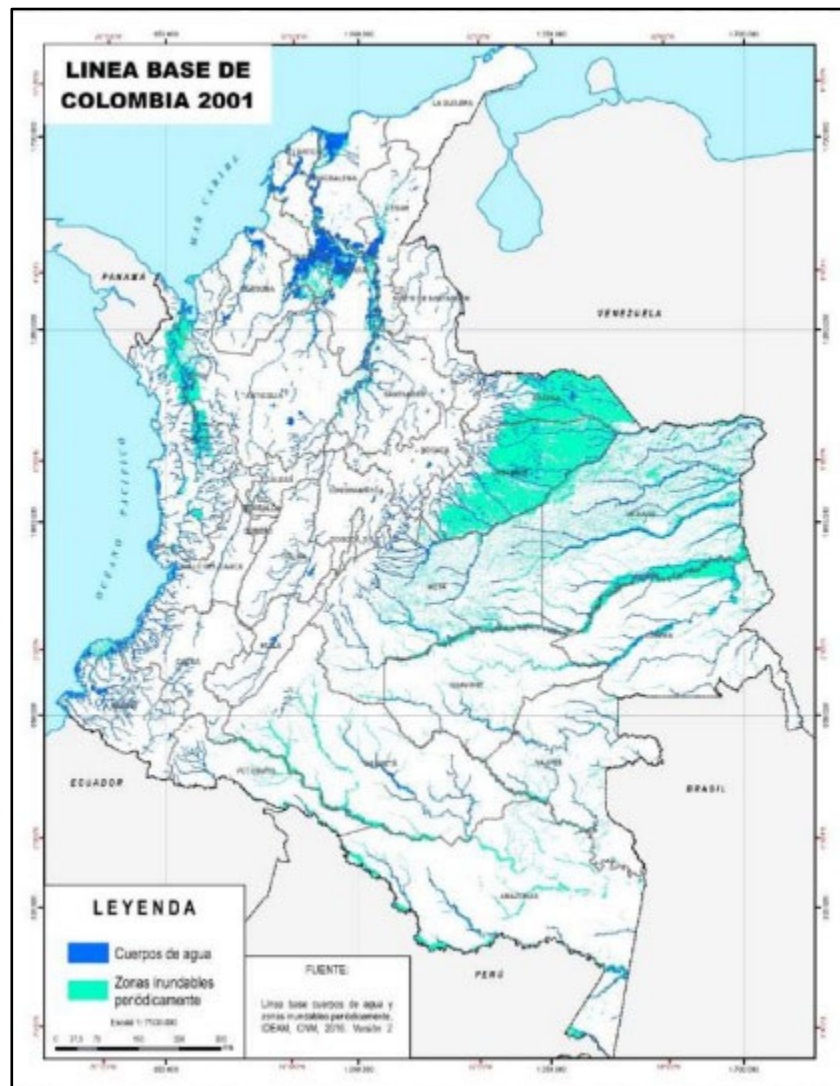


Ilustración 2. Pérdidas económicas y muertes reportadas.

De: Guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21.

El territorio colombiano sigue siendo vulnerable ante posibles eventos ambientales, los cuales se han acentuado por efecto del cambio climático global (Peñalosa et al., 2017). La

falta de planeación y el crecimiento desordenado del área urbana tiene grandes efectos en la infraestructura de las ciudades, pues pueden llegar a encontrarse redes de escurrimiento sanitario sin implementación de una red de drenaje urbano, aumentar la impermeabilización de las superficies y la ocurrencia frecuente de inundaciones (Tucci.M, 2006). Del estudio desarrollado por el IDEAM se identifican los cuerpos de agua y las zonas inundables en el territorio nacional, donde las zonas verdes representan las zonas potencialmente inundables y las zonas azules representan los cuerpos de agua(IDEAM, 2017), tal como se evidencia en la Ilustración 3:



*Ilustración 3. Zonas potencialmente inundables en Colombia.*

De: IDEAM

Concentrándonos en el área urbana de la ciudad de Bogotá, capital del Colombia, Bogotá es una zona con alta densidad poblacional, es la ciudad más grande del país, con 7.181.469 habitantes (DANE, 2021). Durante el año 2020, las localidades en las que se presentaron mayor cantidad de eventos asociados a inundación fueron: Usaquén, Chapinero, Suba y Usme. El mayor número de afectaciones se presentó en el mes de noviembre, con un número total de 361 personas y 81 familias damnificadas (IDIGER, 2021), tal como se muestra en la Ilustración 4.

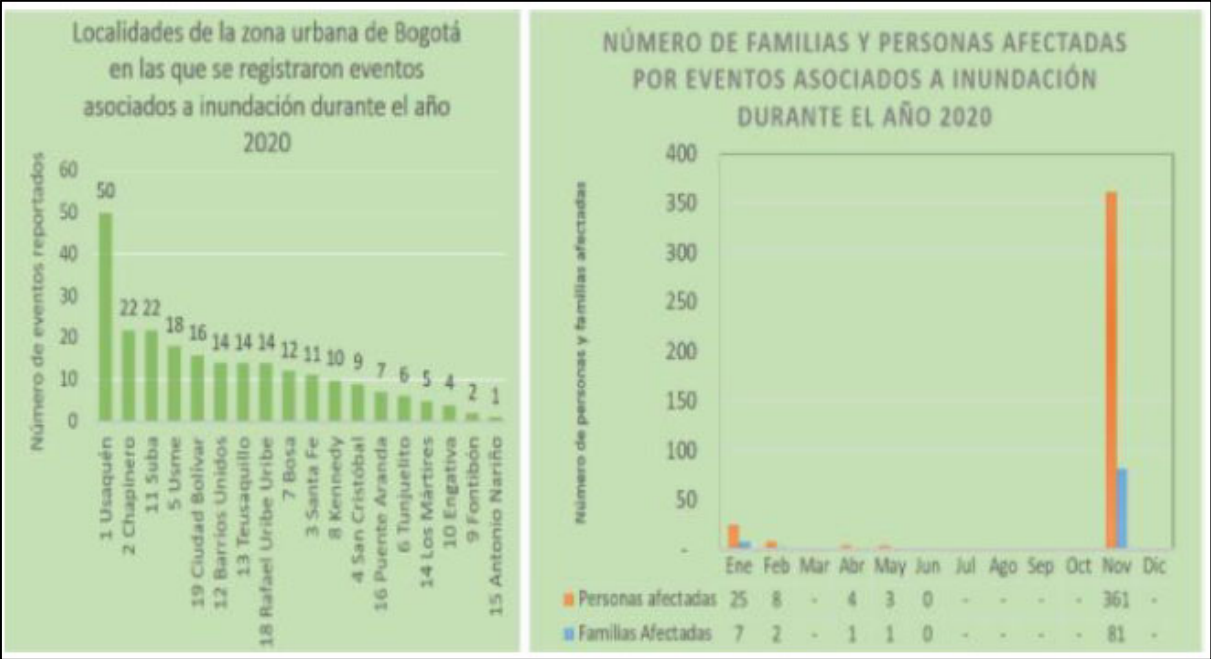
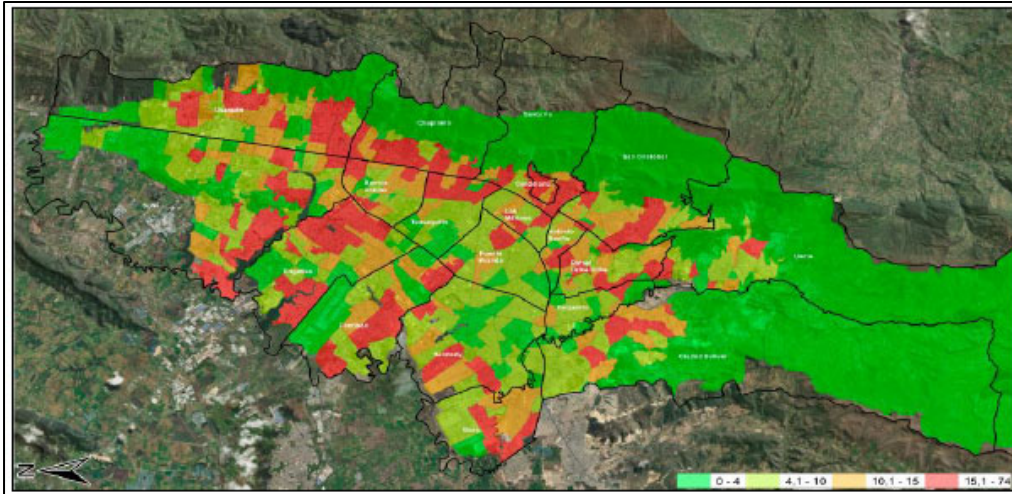


Ilustración 4. Localidades afectadas por eventos de inundación  
De: IDIGER

Una de las principales causas de las inundaciones en Bogotá son las fuertes y frecuentes precipitaciones que se presentan cada año. Estas ocurren también como consecuencia de fallas existentes en el sistema de drenaje de la ciudad. El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER identificó las zonas de la ciudad en las cuales se han presentado mayor cantidad de encharcamientos (IDIGER, 2021):

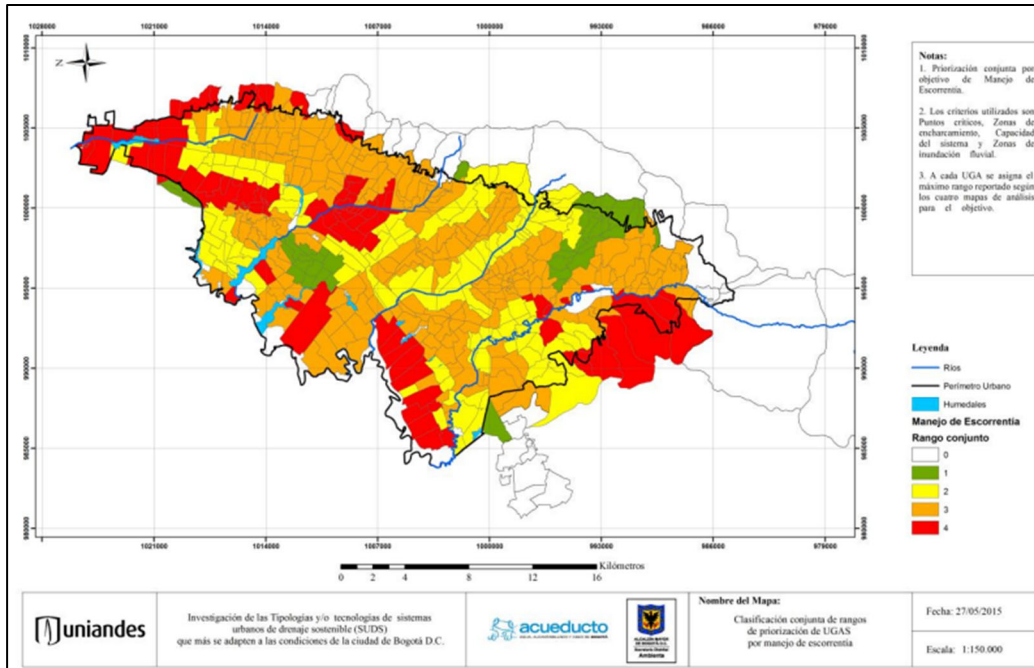


*Ilustración 5. Densidad de eventos de encharcamiento por Unidades de Gestión de Alcantarillado (UGA) en la ciudad de Bogotá (Eventos/km<sup>2</sup>) Periodo 2005-2019.*

*De: IDIGER*

Se evidencia que existen zonas en la ciudad de Bogotá mucho más propensas a la ocurrencia de inundaciones, debido a sus características geomorfológicas y la infraestructura tradicional de drenaje existente en las mismas. Para identificar las zonas más propensas a la ocurrencia de estos fenómenos se tienen en cuenta: Unidades de gestión y planeación, uso del suelo, sistema de drenaje natural, sistema de alcantarillado construido, infraestructura y espacio público, características físicas del suelo y condición climáticas (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2015).

Teniendo en cuenta la capacidad del sistema de alcantarillado de la ciudad, las zonas de encharcamiento, puntos críticos y zonas de inundación fluvial, se evidencia que las zonas que presentan mayor necesidad para el manejo de escorrentía son las ubicadas en las localidades de Suba, Usaquén, Fontibón, Kennedy, Usme y Barrios Unidos, tal como se evidencia en la Ilustración 6 (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2015)



*Ilustración 6. Mapa de priorización conjunta de UGAS por el objetivo de manejo de escorrentía. De: Figura de 73 de Producto 2 - Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C CIIA Universidad de los Andes.*

### 1.3 Sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá.

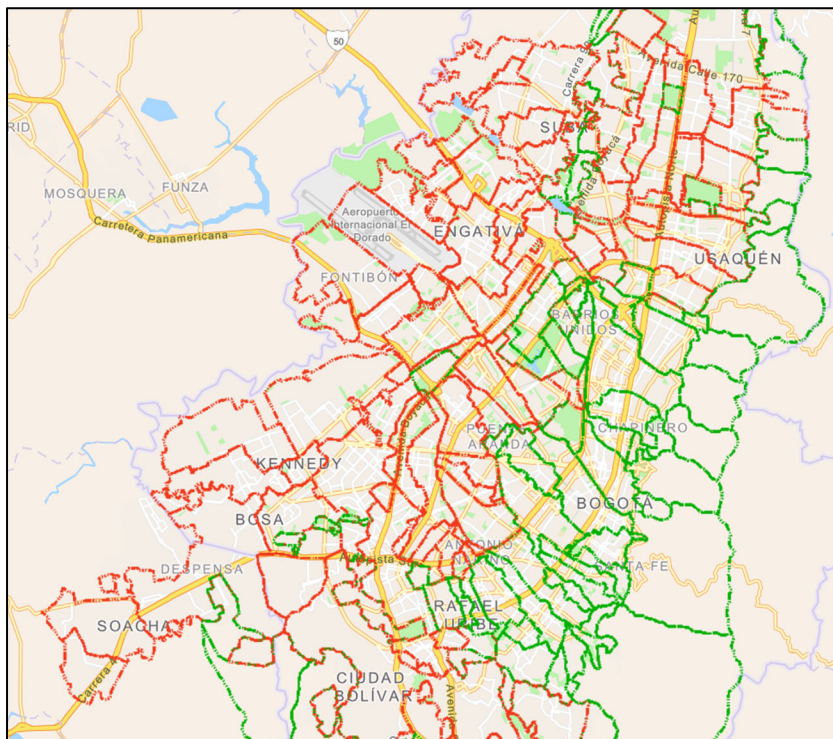
De manera general, los sistemas de alcantarillado se dividen tres tipos: Alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y alcantarillado combinado, este último corresponde a la unión de los dos sistemas anteriores. En el centro de la ciudad de Bogotá predomina el sistema de alcantarillado combinado, mientras que en las zonas del occidente de la ciudad se encuentran sistemas independientes, es decir; pluvial y sanitario (EAAB, 2023b).

Es importante resaltar que el sistema hídrico del río Bogotá está conformado por 15 subcuencas y es dividido en tres sectores (alta, media y baja) conformado por un conjunto de áreas clasificadas por su estructura de drenaje, llamadas Unidades de Gestión de Alcantarillado UGAS, las cuales debido a los sistemas existentes se encuentran divididas en 463 UGAS pluviales y 457 UGAS sanitarias, tal como se puede evidenciar en la Ilustración 7 y la Ilustración 8 respectivamente.



*Ilustración 7. Distribución UGAS pluviales.*

*De: EAAB*



*Ilustración 8. Distribución UGAS sanitarias.*

*De: EAAB*



Adicionalmente, el sistema de alcantarillado pluvial es compuesto por la interrelación entre un sistema natural y uno artificial o construido:

- ✓ El sistema natural hace referencia a aquellos ecosistemas y cuerpos de agua cuya existencia se remonta a un periodo de tiempo anterior al desarrollo de la infraestructura del centro urbano.
- ✓ El sistema artificial hace referencia a toda infraestructura diseñada y construida con el objetivo de captar, transportar y evacuar la escorrentía al interior del centro urbano, evitando la ocurrencia de eventos tales como inundaciones, deslizamientos y posibles afectaciones producto de la coocurrencia de estos fenómenos naturales.

En el caso particular de la ciudad de Bogotá, la combinación de estos dos sistemas predomina en la zona centro y oriental de la ciudad, en donde prevalecen terrenos con altas pendientes, por lo que presentan un bajo riesgo de ocurrencia de eventos de encharcamiento e inundaciones. Los sistemas aislados, tanto natural como artificial, destacan en las zonas norte y occidental de la ciudad, en donde figuran zonas extensas de baja pendiente. Estas zonas han sido históricamente afectadas por la ocurrencia de estos fenómenos naturales (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB opera el sistema de alcantarillado pluvial. Actualmente para la evaluación de la capacidad de la red pluvial y la rehabilitación de canales y tuberías de red troncal se tienen en cuenta los periodos de retorno de 10, 20 y 100 años y 10 o 25 años respectivamente. A partir de estas evaluaciones y con objetivo de manejar la ocurrencia de caudales extremos se tiene previsto el desarrollo de proyectos cuyo objetivo es la retención de volúmenes de agua previo a su ingreso al sistema de drenaje actual, utilizando los conceptos de: *“Estructuras de amortiguación de caudales en los sistemas hídricos y de alcantarillado, recuperación y generación de área verde y de infiltración y renaturalización de los espacios del agua (quebradas, ríos, humedales, parques, entre otras”* (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2022). A raíz de la necesidad evidenciada se contempla la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles SUDS, teniendo en cuenta que estos cumplen con el objetivo de retención de la escorrentía y disminución de los caudales pico en el sistema tradicional, adicional al beneficio ambiental que estos brindan.

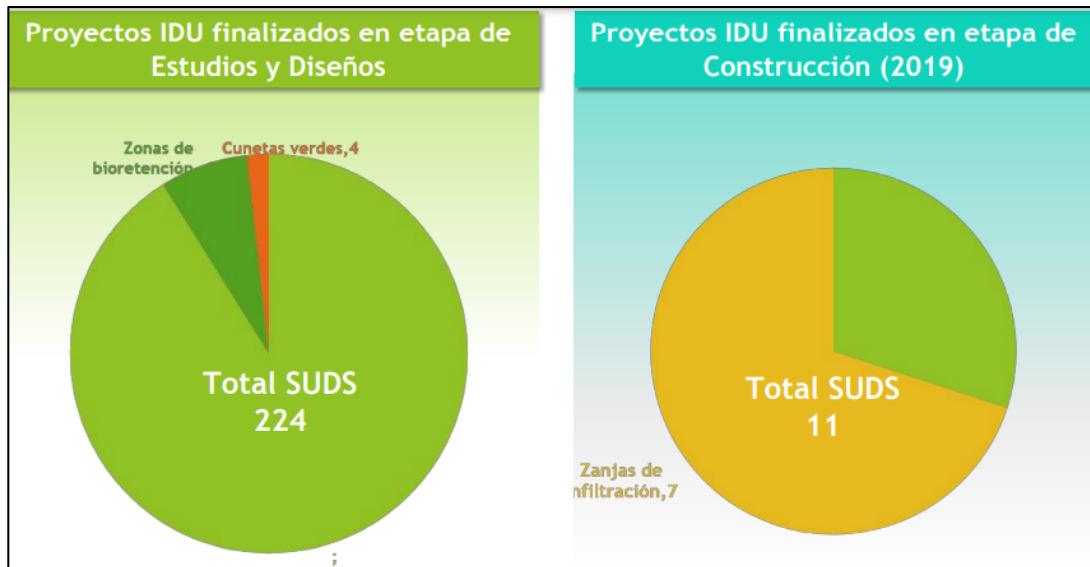
## **1.4 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS en Bogotá**

Los SUDS corresponden a sistemas alternativos de drenaje que funcionan como apoyo a la infraestructura tradicional de alcantarillado, sus objetivos principales son disminuir la ocurrencia de eventos de encharcamiento en la ciudad y mejorar la calidad del agua, adicionalmente incrementan la amenidad y favorecen la creación de hábitats naturales (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2021).

Teniendo en cuenta los beneficios y usos que tiene la implementación de SUDS al interior de los cascos urbanos, Bogotá incorpora este tipo de drenaje alternativo con el objetivo de emular el ciclo natural del agua; pues el agua captada mediante las estructuras implementadas es reciclada, ya sea por infiltración al terreno o vertida directamente a un cauce natural, controlando cantidad calidad y tiempo (Arias John, 2021)

La implementación de las diferentes tipologías de SUDS pretende mejorar la circulación de la escorrentía debida a las fuertes precipitaciones, mitigando el riesgo de encharcamiento y mejorando la calidad del agua que llega a los cuerpos receptores. Entre las tipologías más implementadas encontramos: Alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, pavimentos permeables, tanques de almacenamiento, zanjas de infiltración, zonas de bio-retención, entre otros.

En la ciudad de Bogotá se han involucrado SUDS en diferentes proyectos de infraestructura vial, como la mega obra de la alimentadora del Metro de Bogotá, Avenida 68, convirtiéndola en el trayecto, a nivel nacional, con mayor despliegue de drenajes sostenibles. Adicionalmente para el 2019 se reportan 224 proyectos de estudios y diseño finalizados y 11 proyectos de construcción finalizados, como se muestra en las ilustraciones 9 y 10 (Arias John, 2021).



*Ilustración 9. Proyectos finalizados relacionados con SUDS en Bogotá.*

*De: Presentación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Secretaria de Ambiente.*



*Ilustración 10. Primeras 3 tipologías de Alcorque inundable en Bogotá.*

*De: Presentación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Secretaria de Ambiente.*

El Plan de Ordenamiento Territorial POT del 2021 incorpora los SUDS en sus lineamientos, inicialmente en el capítulo 2 sección 1, el cual manifiesta “**INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ORDENAMIENTO**” como una de las medidas de adaptación que se orientan a mitigar los

actuales y futuros efectos del cambio climático, como se muestra en la Ilustración 11 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021)

<p>4. Gestión integral del recurso hídrico</p>	<p>Se plantean estrategias territoriales de adaptación para la protección y gestión de recurso hídrico asociadas al fortalecimiento del sistema hídrico del Distrito, consolidación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), renaturalización de los ríos y quebradas, en articulación con el PDA o el que lo modifique, adicione o sustituya y los POMCA adoptados.</p>	<p>Gestión del recurso hídrico para la adaptación y resiliencia al cambio climático.</p> <p>Fortalecimiento y consolidación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para la adaptación al cambio climático ante eventos de precipitaciones extremas.</p>
--	---	---

*Ilustración 11. Cuarta medida de adaptación según POT 2021.  
De: Decreto 555 del 2021.*

A partir de lo anteriormente expuesto, se puede evidenciar el contexto histórico asociado a la problemática generada por las inundaciones presentadas en la ciudad de Bogotá identificando sus principales causas; analizando el estado actual de las zonas afectadas y sus características. Permitiendo establecer como una posible solución la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible a partir del cumplimiento de la norma NS-166 de la Empresa de acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

## **2. Capítulo II**

### **Marco Teórico**

En este capítulo se abordan aspectos teóricos indispensables para el desarrollo del proyecto, entre los cuales se encuentran las Soluciones Basadas en la Naturaleza SbN, concepto del cual nace el diseño e implementación de SUDS como una solución viable y económica para la mitigación de inundaciones producto de encharcamientos al interior de las ciudades. Así mismo, se describen las diferentes tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) establecidas en la norma de la EAAB NS-166 para la implementación de estos sistemas en la ciudad de Bogotá (EAAB, 2018).

#### **2.1. Soluciones Basadas en la Naturaleza SbN**

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza SbN corresponden a una serie de servicios ecosistémicos, los cuales tienen la capacidad de proporcionar beneficios ambientales, económicos y sociales, incrementando el bienestar humano, la salud pública y la calidad de vida (Morandi et al., 2021). La característica principal de estos sistemas es que se enfocan en reproducir ciertos principios de funcionamiento del medio ambiente natural para brindar soluciones a diferentes problemáticas, tales como la ocurrencia de inundaciones, control de la contaminación, generación de energía limpia, entre otros (Dutta et al., 2021).

Las tipologías de SUDS descritas a continuación serán clave en el desarrollo del presente proyecto, pues son los diferentes escenarios que se implementarán para mitigar los encharcamientos en la zona de estudio.

#### **2.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.**

Los SUDS hacen parte del conjunto de las soluciones basadas en la naturaleza SbN. Corresponden a sistemas de drenaje alternativos que complementan la infraestructura urbana para el manejo de aguas lluvias. Integran conceptos de urbanismo, paisajismo e hidrología. Su objetivo principal es retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen, sin generar problemáticas de inundación, minimizando los impactos del desarrollo urbano en lo referente a la cantidad y calidad de la escorrentía. Su principio básico es emular, de la mejor manera posible, el ciclo hidrológico natural y las condiciones

previas a la urbanización de la zona en la cual se implementan. Esto se realiza a través de estructuras diseñadas y construidas para reducir los efectos de inundaciones por medio de la retención del agua de escorrentía, promoviendo la infiltración, mejorando las condiciones fisicoquímicas del agua que llega a los cuerpos de agua receptores e incentivando el reúso de agua. Adicionalmente se genera un incremento en la amenidad y el paisajismo al interior de las zonas urbanas. Estas estructuras son complementarias al sistema de drenaje convencional y entre ellas se pueden mencionar: Cunetas verdes, cuencas secas de drenaje extendido, zonas de bioretención, zanjas de infiltración, alcorques inundables, humedales artificiales, pondajes húmedos, pavimentos/concretos porosos y tanques de almacenamiento (Tellman et al., 2021) (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

### **2.2.1. Cunetas verdes.**

Las cunetas verdes son depresiones en el terreno con una pendiente longitudinal que favorece el transporte del flujo superficial. Tienen franjas de césped en sus costados, las cuales direccionan la escorrentía al interior de la estructura para que posteriormente esta sea transportada.

Existen tres tipos de cunetas verdes:

1. Cuneta convencional: Permite la infiltración hacia el suelo.
2. Cuneta seca: Implementa en la zona inferior de la cuneta un reservorio que propicia la infiltración de un volumen mayor de escorrentía.
3. Cuneta húmeda: Cuneta en la cual se implementa materiales impermeables en el fondo de la estructura, impidiendo la infiltración. Su objetivo es mantener una lámina de agua constante al interior de la cuneta.

Las cunetas verdes generan beneficios tales como la protección de cuerpos de agua receptores, dado que reducen el caudal pico descargando la escorrentía a una velocidad menor a la que se descargaría en el drenaje tradicional, a su vez que aumentan la remoción de sólidos, los cuales se sedimentan al interior de la estructura (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

### **2.2.2. Cuencas secas de drenaje extendido**

Las cuencas secas de drenaje extendido corresponden a estructuras permeables en las cuales se almacena, de manera temporal, el volumen de escorrentía, mientras que se favorece su infiltración. Su característica principal radica en la existencia de taludes laterales que detienen temporalmente la escorrentía que ingresa a la estructura. La evacuación de la escorrentía almacenada se realiza de manera paulatina, de manera que se favorece la disminución de los caudales pico. La escorrentía puede ingresar a esta estructura de manera superficial o subterránea.

Existen dos escenarios para el funcionamiento de estos sistemas, los cuales dependen de la magnitud del evento de lluvia:

- Eventos de baja precipitación: La escorrentía transita a través de un canal central conocido como “canal de caudales bajos”.
- Eventos de fuerte precipitación: La escorrentía ocupa el canal central y toda la superficie de la cuenca.

El tiempo de drenaje no debe exceder las 48 horas, de manera que en la mayoría del tiempo permanece seca favoreciendo la recreación (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

### **2.2.3. Zonas de bioretención**

Las zonas de bioretención son depresiones hechas en el terreno en las cuales se implementan especies vegetales con el objetivo de favorecer la detención, infiltración, tratamiento y evacuación de la escorrentía captada. Requieren menores áreas en comparación con otros SUDS, por lo cual representan una mayor factibilidad en sus zonas de aplicación. El mantenimiento de estas estructuras se enfoca en el mantenimiento de las especies vegetales instaladas.

Su objetivo es disminuir el pico de escorrentía que es conducida al sistema de drenaje tradicional, mientras se mejora de manera significativa la calidad del agua y el paisajismo en la zona. Los procesos que se llevan a cabo a través de la implementación de esta

tipología corresponden a filtración, adsorción y biodegradación de sustancias (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

#### **2.2.4. Zanjas o trincheras de infiltración**

Las zanjas de infiltración consisten en excavación lineales y cuadrangulares rellenos con material granular. Su función principal es la intercepción y detención temporal de la escorrentía, la cual es interceptada y almacena en los espacios existentes al interior del material granular y parte de ella se infiltra en el suelo de manera que genera disminuciones en el caudal pico. Son de las tipologías más implementadas dada su flexibilidad constructiva. El material granular puede comprender rocas, carbón activado, cristales de zeolita, módulos agregados de plástico, escombros, arenas, o combinaciones de estos.

Se diseña con el objetivo de que el total del volumen de escorrentía interceptado sea infiltrado. Sin embargo, en algunos casos esto dadas las características del suelo, no es posible. En estos casos es necesario la construcción de estructuras complementarias para la evaluación del volumen de agua que no es posible que sea infiltrado.

Las ventajas más representativas en la aplicación de esta tipología corresponden a:

- Facilidad en su construcción.
- Implementa materiales de fácil adquisición.
- Dado que su implementación se realiza de manera subterránea, no interfiere en el paisaje existente.

La desventaja más relevante de esta tipología es el tiempo de operación en el cual puede operar sin presentar obstrucciones (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

#### **2.2.5. Alcorques inundables**

Son sistemas instalados en zonas de circulación como andenes o alamedas, los cuales utilizan árboles o arbustos en cuyas estructuras se realizan modificaciones con el objetivo



de incrementar la capacidad que tiene el árbol para reducir la escorrentía. Se utilizan suelos modificados para incrementar su capacidad de almacenamiento de escorrentía y que a su vez permitan la expansión de las raíces del árbol.

Este compuesto por una caja de concreto prefabricada, la cual puede o no tener revestimiento en el fondo, dependiendo si se desea infiltrar el agua. Un sistema de drenaje que dirige la escorrentía fuera de la estructura, requerido especialmente cuando la tasa de infiltración en el suelo es baja. Una tubería de rebose para la evacuación de escorrentía en eventos de mayor intensidad. Rejilla cuya función es la protección del árbol o arbusto instalado. Zona para el almacenamiento temporal del volumen de agua de escorrentía captado.

Existen tres tipos de esta tipología, los cuales dependerán del manejo del agua captada:

- La salida del agua captada se da a través de una tubería de rebose.
- Se implementan sistemas de drenaje para la salida del agua.
- Se promueve la infiltración profunda y recarga de acuíferos subterráneos.

En esta tipología la escorrentía es dirigida a la rejilla, en la cual se interceptan las partículas de mayor tamaño, luego es almacenada en el suelo en el cual se llevan a cabo los procesos de infiltración, adsorción y biodegradación.

Es aplicable en zonas altamente densificadas en las cuales el espacio disponible representa una importante limitación. No es recomendable la implementación de esta tipología en zonas con pendientes pronunciadas o grandes áreas de drenaje (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

### **2.2.6. Pavimentos/concretos porosos**

Sistema cuyo objetivo es reemplazar las estructuras de pavimento convencionales por uno cuya característica principal es drenar el agua lluvia hacia el suelo, de manera que la escorrentía no se acumula en la superficie del terreno. Abarca componentes subterráneos, adicionales a la capa de pavimento, en los cuales se desarrolla el proceso de infiltración, por lo cual su implementación reduce los caudales picos de escorrentía y el volumen total de agua que ingresa al sistema de alcantarillado convencional.

No es recomendable su implementación en vías principales con alto flujo vehicular o flujo de vehículos pesados dado que, a diferencia del pavimento tradicional, esta estructura no tiene la misma la capacidad de carga y al soportar altas magnitudes de carga las estructuras del suelo y capas superficiales tienden a desestabilizarse. Sus principales espacios de implementación son parqueaderos, bahías, vías de baja circulación vehicular o vías peatonales.

Otra limitación a considerar a la hora de implementar esta tipología corresponde a su poca eficiencia para filtrar volúmenes de escorrentía con alta cantidad de sedimentos o partículas contaminantes, dado que, estas partículas colmatan rápidamente las capas subterráneas de la estructura y contaminan los acuíferos subterráneos de la zona (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

### **2.2.7. Tanques de almacenamiento.**

Esta tipología corresponde a estructuras típicas cuya función radica en la retención del volumen de escorrentía. El agua que se almacena es utilizada para el desarrollo de actividades tales como riego, lavado y demás actividades que no requieran del uso de agua potable, favoreciendo la disminución del consumo de agua en las zonas en las cuales se implementan. Su instalación puede ser superficial, en la cual el caudal captado proviene de techos, cubiertas y canales; o subterránea, recolectando a través de alcantarillas y sumideros; disminuyendo los caudales pico y volúmenes de escorrentía que ingresan al alcantarillado tradicional.

Una de sus principales ventajas es que, debido a su facilidad constructiva, pueden ser implementadas en zonas urbanizadas altamente pobladas. Mientras que, una de las principales desventajas de este sistema radica en que propiamente no cuenta con un sistema de filtrado que mejore las características físico químicas del agua, por lo cual requiere de sistemas o dispositivos de filtrado adicional para la disminución de contaminantes y partículas en el agua (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2017).

En este apartado se profundizaron las características, ventajas y desventajas de cada una de las distintas tipologías de SUDS establecidas en la Norma NS-166. De esta manera, fue

posible identificar aquellas tipologías que, se acoplaban mejor a la zona de estudio y por ellos serán parte de los escenarios propuestos para el cumplimiento del objeto del proyecto.

## **Capítulo III**

### **Metodología**

Esta investigación es de tipo cuantitativo, se orienta a la recopilación y análisis de datos que permitan evaluar la capacidad hidráulica del sistema al implementar las distintas tipologías que comprenden los SUDS, con el objetivo de que dicha implementación favorezca la mitigación de las inundaciones producto de encharcamientos en la zona de estudio escogida.

Para cumplir con este objetivo, la metodología a emplear se divide en 5 fases principales, las cuales corresponden a:

- FASE I – Identificación de la zona de estudio.
- FASE II – Caracterizar la zona de estudio
- FASE III – Modelación del estado actual con el software SWWM.
- FASE IV – Selección de tipologías de SUDS a implementar según las características de la zona y dimensionamiento de estas.
- FASE V – Modelación del sistema con la selección y dimensionamiento de tipologías, evaluación de resultados obtenidos.

#### **3.1. FASE I – IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

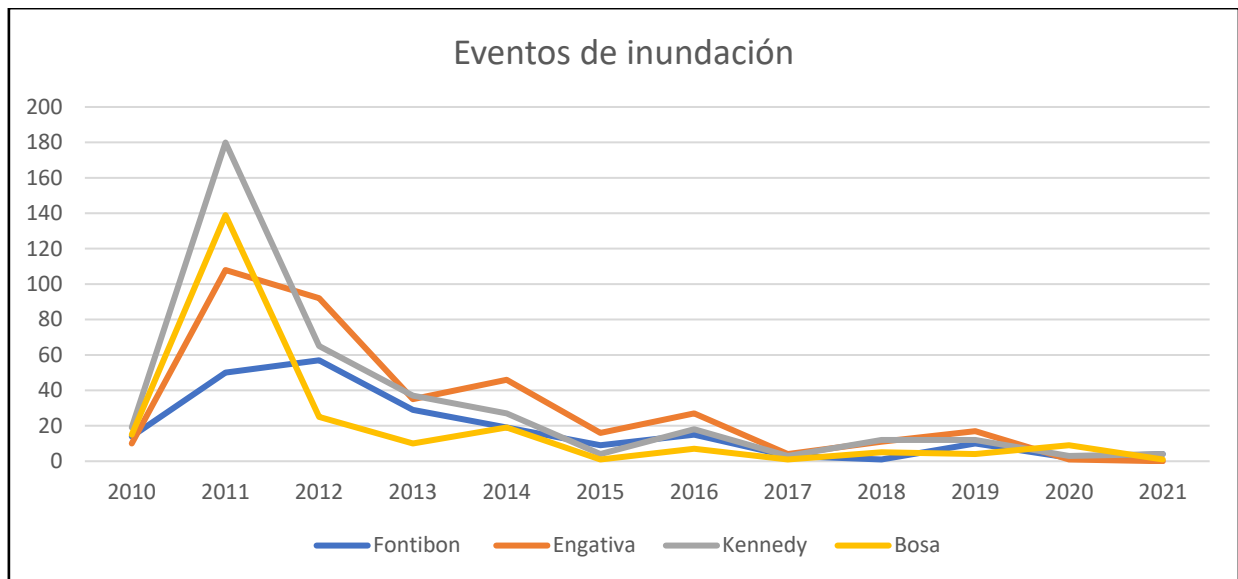
Esta fase pretende analizar las zonas de riesgo identificadas por las diferentes instituciones encargadas del seguimiento de fenómenos naturales en la ciudad de Bogotá, como lo son el IDIGER, el IDEAM y la EAAB. Dicho análisis identificará de manera conjunta las zonas establecidas por estas entidades, examinando la posibilidad de implementar SUDS, teniendo en cuenta el espacio disponible, el sistema de alcantarillado pluvial y las características hidrológicas y físicas de cada zona.

En la ciudad de Bogotá existen varias zonas vulnerables ante la ocurrencia de eventos de inundación producto de los encharcamientos, las cuales podrían ser sujeto de estudio del presente proyecto, por lo tanto, se establecieron parámetros que permitirán excluir, filtrar y escoger una locación final para la evaluación e implementación de este.

De manera inicial, se contó con información establecida por el IDIGER, en la cual se identifican zonas con mayor vulnerabilidad de inundación debido a encharcamientos, las localidades más afectadas por este tipo de eventos son: Usaquén, Chapinero, Suba, Fontibón, Kennedy y Bosa, tal como se puede evidenciar en la *Ilustración 4* e *Ilustración 5* del *Capítulo 1* del presente documento.

Ahora bien, según lo establecido en el *Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C* CIIA Universidad de los Andes (Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes, 2015), las zonas con mayores afectaciones generadas por la problemática de inundación debidas a la escorrentía superficial son las localidades de: Suba, Usaquén, Fontibón, Kennedy, Usme y Barrios Unidos, tal como se evidencia en la *Ilustración 4*.

A partir de los anteriormente expuesto y con el propósito de reducir la búsqueda de la zona de estudio a una única localidad, se realizó el conteo de los eventos de inundación por encharcamiento ocurridos en cada una de las localidades de la ciudad de Bogotá durante el periodo de tiempo comprendido ente el año 2010 y 2022, a partir de la base de datos suministrada por el IDIGER.



*Gráfica 1. Eventos de inundación por localidades ciudad de Bogotá.*

A pesar de que la información ilustrada en la Gráfica 1 evidencia una clara disminución en la cantidad de eventos ocurridos en las localidades analizadas, se debe dar una significativa

importancia a cada uno de ellos, pues conllevan afectaciones a la calidad de vida, salud y actividades económicas de los ciudadanos que habitan en los sectores en los cuales se presentan.

Teniendo en cuenta lo valores evidenciados en la Gráfica 1 y las localidades identificadas a partir de la información del IDIGER y la EAAB, se puede concluir que las localidades de Kennedy y Fontibón se encuentran como factor común en cada una de la bibliografía obtenida y escenarios evaluados. Por tal razón, como primer filtro para la escogencia de la zona de estudio, se definió que esta se encontraría al interior de alguna de estas localidades.

Una vez establecido este primer filtro, se procedió a identificar los barrios con mayor cantidad de eventos de inundación en ambas localidades y que, de manera conjunta, se encuentren dentro de las zonas de riesgos anteriormente delimitadas. Realizando este análisis, se identificaron para la localidad Fontibón los barrios Versalles, Belén y Atahualpa; mientras que, para la localidad de Kennedy los barrios Campo Alegre y Vegas. Se analizaron las características generales de cada uno de estos barrios, haciendo un especial énfasis en la existencia de zonas verdes, parques cercanos, características de los andenes y zonas de circulación y usos del suelo, obteniendo la siguiente información:

<b>ZONA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Versalles – Fontibón</b>	Zona con zonas verdes. Parques cercanos. Amplios andenes. Comercial y residencial.
<b>Belén - Fontibón</b>	Andenes estrechos. Zona comercial. Zona completamente construida. Sin zonas verdes.
<b>Atahualpa - Fontibón</b>	Zona con zonas verdes. Parques cercanos. Amplios andenes. Comercial y residencial.

ZONA	DESCRIPCION
<b>Campo Alegre – Kennedy</b>	Amplios andenes. Zona residencial. Zona completamente construida. Sin zonas verdes.
<b>Vegas - Kennedy</b>	Andenes estrechos. Zona residencial. Zona completamente construida. Sin zonas verdes.

*Tabla 1. Descripción de posibles zonas de estudio.*

A partir de las descripciones físicas y espaciales de la zona, y teniendo en cuenta las necesidades o parámetros de construcción y diseño de las distintas tipologías de SUDS, se define como zona de estudio el barrio Atahualpa en la localidad de Fontibón, puntualmente la zona ubicada en la Carrera 116 entre Calle 22 D Bis y Av. Calle 24.



*Ilustración 12. Ubicación zona de estudio.*

*De: Google Earth 2023*

### 3.2. FASE II CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

En esta fase se determinarán las características hidrológicas, geomorfológicas y topográficas de la zona de estudio escogida, al igual que la distribución y estado actual del alcantarillado pluvial existente. Esto con el fin de conocer a profundidad los parámetros de diseño que permitirán establecer las tipologías que se adapten de mejor manera a esta zona y posteriormente continuar con el análisis de escenarios propuestos para la mitigación de encharcamientos.

#### 3.2.1. CURVAS DE INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA IDF

Una vez escogida la zona de estudio, se tomó la determinación de realizar el diseño mediante la implementación de curvas IDF, las cuales se construyen a partir de los parámetros emitidos por la EAAB, teniendo en cuenta las coordenadas dadas el momento de la solicitud de datos en los siguientes puntos:

- Punto inicial (0) (992457,1010418)
- Punto final (1) (991927, 1010042)

$$INTENSIDAD = C_1 (DURACIÓN + X_0)^{C_2}$$

*Ecuación 1 - Ecuación curva IDF*

*De: EAAB*

Id	Punto (EN) EPSG3116	Tiempo de retorno 3 años			Tiempo de retorno 5 años			Tiempo de retorno 10 años			Tiempo de retorno 25 años			Tiempo de retorno 50 años			Tiempo de retorno 100 años		
		C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2
0	992457,1010418	3468.41	23.1	-1.08225	3975.71	23.6	-1.08248	4815.15	24.6	-1.08964	5817.93	25.4	-1.09358	6715.50	26.6	-1.09933	7762.59	27.3	-1.10837
1	991927,1010042	3206.68	22.2	-1.07232	3737.16	22.8	-1.07467	4505.08	23.6	-1.08087	5486.77	24.4	-1.08606	6079.32	24.8	-1.08479	7159.96	25.8	-1.09676

*Ilustración 13. Coeficientes de diseño*

*Fuente: EAAB.*

Siguiendo los parámetros de diseño establecidos en la norma NS – 085 versión 4.1, emitida por la EAAB, se implementarán los coeficientes definidos para un periodo de retorno de 5 años, a partir de los cuales se calcula la intensidad y precipitación en la zona:



<b>Duración lluvia</b>	3 hr
	180 min
<b>Intensidad</b>	12,60 mm/hr
<b>Precipitación</b>	37,79 mm

Tabla 2. Intensidad y precipitación zona de estudio, Tr 5 años.

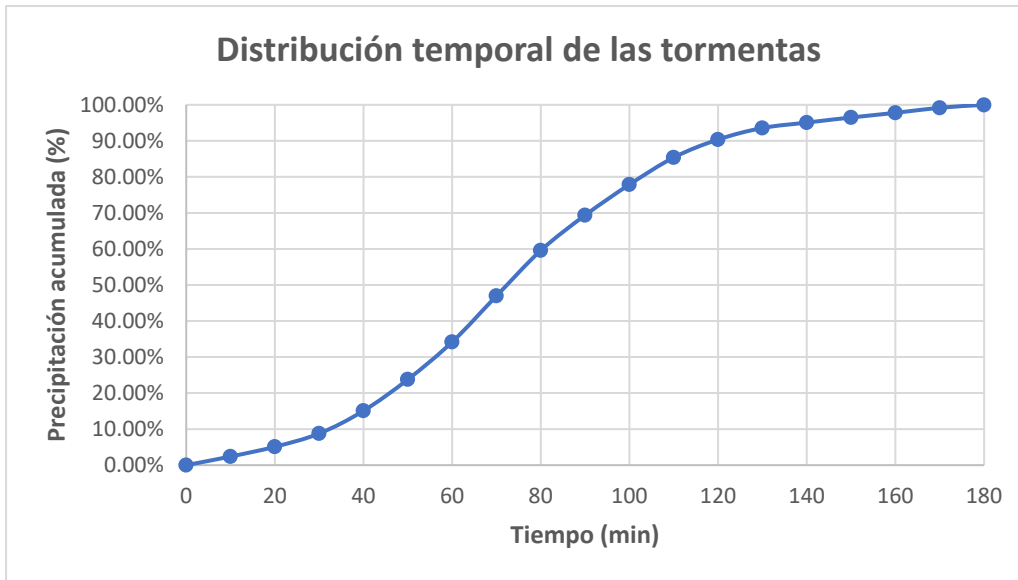
A partir de estos datos y de la lluvia de diseño establecida en la Norma NS – 085, se establece el hietograma de diseño, el cual será utilizado para la modelación tanto del estado actual como de los diferentes escenarios en los cuales se implementarán las tipologías de SUDS escogidas.

En Tabla 3 y la Gráfica 2 se encuentran los valores correspondientes a la lluvia de diseño establecidos en la norma anteriormente mencionada.

<b>Tiempo acumulado</b>		<b>Precipitación acumulada</b>
<b>min</b>	<b>%</b>	
0	0%	0,00%
10	5,60%	2,40%
20	11,10%	5,10%
30	16,70%	8,80%
40	22,20%	15,10%
50	27,80%	23,80%
60	33,30%	34,20%
70	38,90%	47,00%
80	44,40%	59,60%
90	50,00%	69,40%
100	55,60%	77,90%
110	61,10%	85,40%
120	66,70%	90,40%
130	72,20%	93,60%
140	77,80%	95,10%
150	83,30%	96,50%
160	88,90%	97,80%
170	94,40%	99,20%
180	100%	100%

Tabla 3. Lluvia de diseño NS-085 v.4.1

De: E.A.A.B



Gráfica 2. Distribución temporal de las tormentas NS-085 v.4.1.

De: E.A.A.B

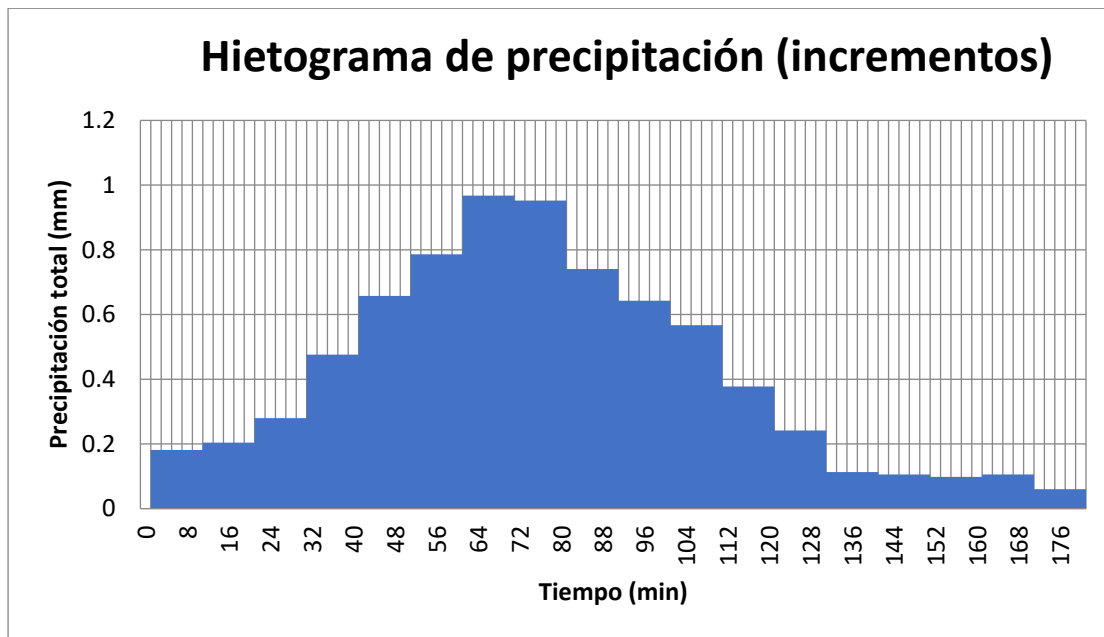
A partir de estos valores se establece el hietograma de diseño para una lluvia con duración de 3 horas, cuyo valor de precipitación total corresponde a 37,39 mm, el cual podemos encontrar en la tabla Tabla 4.

<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación Acumulada</b>	<b>Precipitación</b>
<b>min</b>	<b>Mm</b>	<b>mm</b>
0	0,00	0,00
10	0,91	0,91
20	1,93	1,02
30	3,33	1,40
40	5,71	2,38
50	8,99	3,29
60	12,92	3,93
70	17,76	4,84
80	22,52	4,76
90	26,22	3,70
100	29,44	3,21
110	32,27	2,83
120	34,16	1,89
130	35,37	1,21

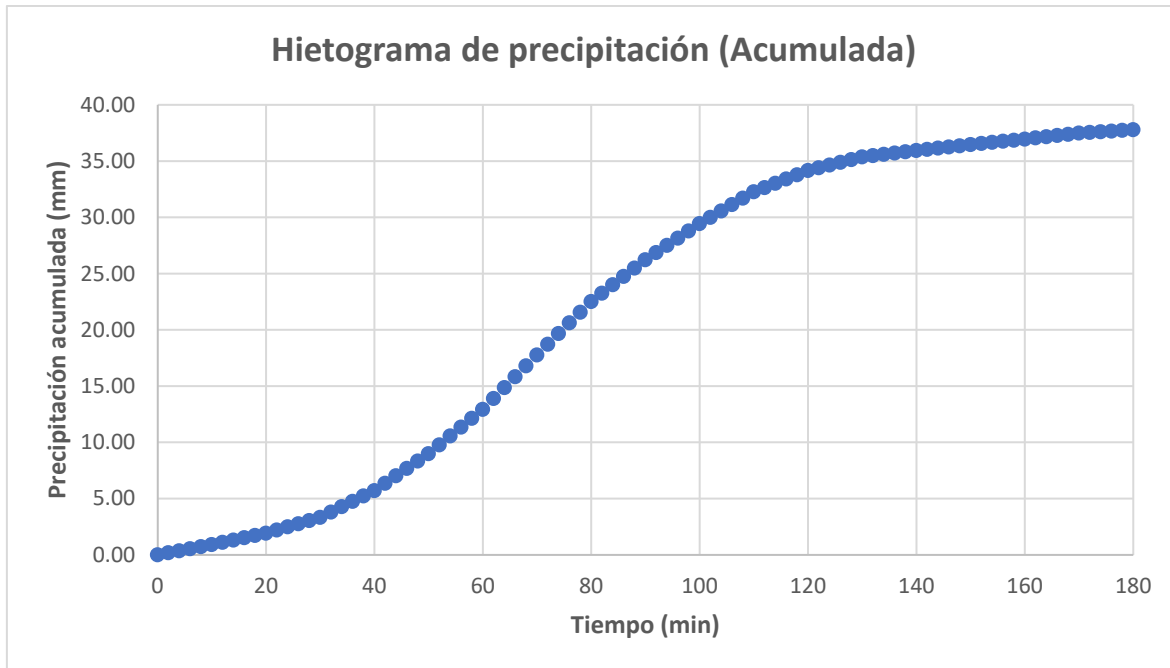
Tiempo	Precipitación Acumulada	Precipitación
min	Mm	mm
140	35,93	0,57
150	36,46	0,53
160	36,95	0,49
170	37,48	0,53
180	37,79	0,30

Tabla 4. Hietograma de diseño duración 3 hr, intervalos cada 10 minutos.

Finalmente, se interpolan los valores de la Tabla 4 para obtener el hietograma para una lluvia de duración 3 horas con intervalos de tiempo cada 2 minutos. De esta manera se obtienen los valores evidenciados de la Gráfica 3 y Gráfica 4.



Gráfica 3. Hietograma de precipitación por incrementos.



Gráfica 4. Hietograma de precipitación acumulada

### 3.2.2. Alcantarillado existente

Se realiza la caracterización del alcantarillado pluvial existente en la zona de estudio, a partir de la base de datos de la EAAB (EAAB, 2023) y datos abiertos Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022) logrando identificar un panorama general de la zona. Este sistema está compuesto por un colector troncal, el cual se identifica en la Ilustración 14 con el color azul claro y una serie de ramales secundarios que lo alimentan, identificados con un color azul oscuro.



*Ilustración 14. Alcantarillado pluvial existente.*

*De: EAAB*

Una vez identificado el colector pluvial sobre la Carrera 116, se establecen 11 puntos que alimentan este colector, ubicados entre la Calle 24 y la Calle 22, punto final de la zona de estudio. Con el objetivo de caracterizar cada uno de los ramales que alimentan la tubería troncal previamente mencionada, se analiza tramo por tramo de tubería hasta encontrar el pozo inicial de cada uno de los 11 ramales que comprenden el sistema, es así como se obtiene la Ilustración 15, la cual representa el sistema de alcantarillado pluvial instalado en la zona de estudio.



Ilustración 15. Sistema de alcantarillado pluvial actual.

Una vez identificado el sistema que será sometido a evaluación y análisis, se realiza la validación de los datos obtenidos a partir de la base datos de la EAAB, completando los datos ausentes a través de la evaluación de planos récord, proporcionados por la EAAB, los cuales se entregan a manera de anexo en el *ANEXO 3 Información secundaria*. Obteniendo las características iniciales de la zona las cuales están relacionadas en la Tabla 5.

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
TRAMO 1	PLT8750 5	PMP9547 5	PMP9419 8	2544,17 2543,91	32,185390 28	0,3	0,014	0,00807819 9	0,8078%	0,091277 07	1,3014786 7
	PLT8750 6	PMP9419 8	PMP9419 7	2543,91 2543,82	23,084602 09	0,3	0,014	0,00389870 3	0,3899%	0,091277 07	0,9041486 31
	PLT8750 7	PMP9419 7	PMP9419 6	2543,72 2543,63	31,098433 47	0,4	0,014	0,00289403 6	0,2894%	0,121702 77	0,9436789 34
	PLT8750 8	PMP9419 6	PMP9419 5	2543,63 2543,54	29,618445 08	0,4	0,014	0,00303864 7	0,3039%	0,121702 77	0,9669686 39
	PLT8750 9	PMP9419 5	PMP9419 4	2543,53 2543,47	29,218732 65	0,5	0,014	0,00205347 7	0,2053%	0,152128 46	0,9224097 29
	PLT8751 0	PMP9419 4	PMP9419 3	2543,47 2543,41	30,786859 38	0,5	0,014	0,00194888 3	0,1949%	0,152128 46	0,8986112 85
	PLT8751 1	PMP9419 3	PMP9419 2	2543,31 2543,26	32,429124 95	0,6	0,014	0,00154182 4	0,1542%	0,182554 15	0,9025760 84
	PLT8751 2	PMP9419 2	PMP9418 2	2543,24 2543,19	30,829965 54	0,6	0,014	0,00162179 9	0,1622%	0,182554 15	0,9256886 04
	PLT8751 3	PMP9418 2	PMP9418 1	2543,15 2543,1	29,698430 78	0,6	0,014	0,00168359 1	0,1684%	0,182554 15	0,9431585 05

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
TRAMO 1	PLT8751 4	PMP9418 1	PMP9418 0	2543,09 2543,05	29,974354 69	0,6	0,014	0,00133447 4	0,1334%	0,182554 15	0,8396948 88
	PLT8751 5	PMP9418 0	PMP9417 9	2543,03 2542,98	30,009330 35	0,7	0,014	0,00166614 8	0,1666%	0,212979 84	1,0398111 68
	PLT8751 6	PMP9417 9	PMP9417 8	2542,97 2542,92	31,293868 35	0,7	0,014	0,00159775 7	0,1598%	0,212979 84	1,0182466 83
	PLT8751 7	PMP9417 8	PMP9417 7	2542,9 2542,85	36,509476 32	0,8	0,014	0,00136950 7	0,1370%	0,243405 53	1,0304836 99
	PLT8756 6	PMP9417 7	PMP9421 1	2542,81 2542,72	63,894856 99	0,8	0,014	0,00140856 4	0,1409%	0,243405 53	1,0450744 47
TRAMO 2	PLT8751 8	PMI95473	PMP9417 2	2544,93 2543,86	75,050259 61	0,3	0,014	0,01425711 3	1,4257%	0,091277 07	1,7290022 57
	PLT8756 7	PMP9417 2	PMP9421 1	2543,78 2543,32	76,472311 57	0,3	0,014	0,00601524 9	0,6015%	0,091277 07	1,1230693 57
TRAMO 3	PLT8755 6	PMI95474	PMP9417 6	2544,59 2544,3	48,708100 68	0,3	0,014	0,00595383 5	0,5954%	0,091277 07	1,1173215 42
	PLT8755 7	PMP9417 6	PMP9417 5	2544,11 2543,79	53,371825 89	0,4	0,014	0,00599567 3	0,5996%	0,121702 77	1,3582859 88
	PLT8755 8	PMP9417 5	PMP9417 4	2543,77 2543,51	51,062536 38	0,4	0,014	0,00509179 6	0,5092%	0,121702 77	1,2517215 93



TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD	
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)	
TRAMO 3	PLT87559	PMP94174	PMP94173	2543,51	2543,44	14,71850714	0,4	0,014	0,004755917	0,4756%	0,12170277	1,209732645
	PLT87560	PMP94173	PMP94170	2543,34	2542,94	80,16083735	0,5	0,014	0,004989968	0,4990%	0,15212846	1,437897108
	PLT87561	PMP94170	PMP94169	2542,63	2542,41	82,19907639	0,8	0,014	0,002676429	0,2676%	0,24340553	1,440578063
	PLT87562	PMP94169	PMP94210	2542,37	2542,1	68,24697096	0,8	0,014	0,003956222	0,3956%	0,24340553	1,75145554
	PLT87563	PMP94210	PMC94920	2542,1	2542,07	9,059551667	0,8	0,014	0,003311422	0,3311%	0,24340553	1,602382525
TRAMO 4	PLT87565	PMI95477	PMP94203	2545	2544,81	26,17853275	0,3	0,014	0,007257855	0,7258%	0,09127707	1,233627154
	PLT87519	PMP94203	PMP94202	2544,65	2544,5	29,86219155	0,3	0,014	0,005023074	0,5023%	0,09127707	1,026276919
	PLT87520	PMP94202	PMP94201	2544,4	2544,25	30,07788856	0,4	0,014	0,004987052	0,4987%	0,12170277	1,238780095
	PLT87521	PMP94201	PMP94200	2544,19	2544,04	29,99523844	0,4	0,014	0,005000794	0,5001%	0,12170277	1,240485614
	PLT87522	PMP94200	PMP94199	2544,03	2543,88	30,12445182	0,4	0,014	0,004979344	0,4979%	0,12170277	1,237822336

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD	
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)	
TRAMO 4	PLT8752 3	PMP9419 9	PMP9418 6	2543,85	2542,89	31,323129 52	0,4	0,014	0,03064827 9	3,0648%	0,121702 77	3,0709681
	PLT8752 4	PMP9418 6	PMP9418 5	2542,79	2542,64	29,492251 29	0,5	0,014	0,00508608 2	0,5086%	0,152128 46	1,4516790 32
	PLT8752 5	PMP9418 5	PMP9418 4	2542,64	2542,49	29,731364 2	0,5	0,014	0,00504517 7	0,5045%	0,152128 46	1,4458297 22
	PLT8752 6	PMP9418 4	PMC9491 9	2542,49	2542,43	11,389967 52	0,5	0,014	0,00526779 4	0,5268%	0,152128 46	1,4773837 56
TRAMO 5	PLT8752 7	PMI95476	PMP9420 7	2544	2543,83	28,386450 96	0,3	0,014	0,00598877 3	0,5989%	0,091277 07	1,1205950 05
	PLT8752 8	PMP9420 7	PMP9420 6	2543,73	2543,57	32,431689 79	0,4	0,014	0,00493344 6	0,4933%	0,121702 77	1,2321042 75
	PLT8752 9	PMP9420 6	PMP9420 5	2543,57	2543,44	25,847769 28	0,4	0,014	0,00502944 8	0,5029%	0,121702 77	1,2440344 4
	PLT8753 0	PMP9420 5	PMP9420 4	2543,34	2543,18	32,669961 29	0,5	0,014	0,00489746 5	0,4897%	0,152128 46	1,4245071 01
	PLT8753 1	PMP9420 4	PMP9419 1	2543,18	2543,03	29,936835 22	0,5	0,014	0,00501055	0,5011%	0,152128 46	1,4408594 63
	PLT8753 2	PMP9419 1	PMP9419 0	2542,93	2542,78	30,624375 28	0,6	0,014	0,00489805 9	0,4898%	0,182554 15	1,6087125 32

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD	
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)	
TRAMO 6	PLT8753 3	PMP9419 0	PMP9418 9	2542,75	2542,6	30,222752 67	0,6	0,014	0,00496314 8	0,4963%	0,182554 15	1,6193661 45
	PLT8753 4	PMP9418 9	PMP9418 8	2542,55	2542,42	25,667964 05	0,6	0,014	0,00506467 9	0,5065%	0,182554 15	1,6358459 36
	PLT8753 5	PMP9418 8	PMP9418 7	2542,42	2542,28	27,667964 31	0,6	0,014	0,00506000 4	0,5060%	0,182554 15	1,6350907 02
	PLT8756 4	PMP9418 7	PMC9492 0	2542,28	2542,27	12,738524 98	0,6	0,014	0,00078502	0,0785%	0,182554 15	0,6440311 35
TRAMO 6	PLT8293 18	PMP1257 74	PMP1257 73	2545,01	2544,82	42,801650 53	0,3	0,014	0,00443908 1	0,4439%	0,091277 07	0,9647756 03
	PLT8293 17	PMP1257 73	PMP1257 72	2544,69	2544,65	9,7235897 39	0,3	0,014	0,00411370 7	0,4114%	0,091277 07	0,9287449 24
	PLT8754 7	PMP1257 72	PMP9416 8	2544,65	2544,51	57,267406 83	0,3	0,014	0,00244467 2	0,2445%	0,091277 07	0,7159620 94
	PLT1104 56	PMP9416 8	PMP9421 2	2542,94	2542,87	3,6078090 25	0,3	0,014	0,01940235 7	1,9402%	0,091277 07	2,0170052 12
	PLT1104 57	PMP9421 2	PMP9416 7	2542,55	2542,39	21,431171 1	0,35	0,014	0,00746576 1	0,7466%	0,106489 92	1,3865898 07
	PLT8293 21	PMP1257 78	PMP1257 77	2543,81	2543,75	14,494895 53	0,6	0,014	0,00413938 8	0,4139%	0,182554 15	1,4788853 78

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
<b>PLT8293</b> <b>20</b>	PMP1257 77	PMP1257 76	2543,69	2543,32	93,085678 35	0,6	0,014	0,00397483 3	0,3975%	0,182554 15	1,4491917 82
<b>PLT8293</b> <b>19</b>	PMP1257 76	PMP9416 7	2543,16	2543,13	6,1055666 27	0,6	0,014	0,00491354 9	0,4914%	0,182554 15	1,6112542 45
<b>PLT1092</b> <b>22</b>	PMP9416 7	PMP9416 6	2542,01	2541,77	35,703967 2	0,35	0,014	0,00672194 2	0,6722%	0,106489 92	1,3157044 61
<b>PLT1091</b> <b>37</b>	PMP9416 6	PMP9416 5	2541,67	2541,6	17,156468 23	0,45	0,014	0,00408009 4	0,4080%	0,136915 61	1,2120178 56
<b>PLT8293</b> <b>22</b>	PMP1257 79	PMP1257 80	2543,48	2543,34	50,649977 59	0,4	0,014	0,00276406 8	0,2764%	0,121702 77	0,9222457 25
<b>PLT8293</b> <b>23</b>	PMP1257 80	PMP1257 81	2543,27	2543,09	46,592268 2	0,4	0,014	0,00386330 2	0,3863%	0,121702 77	1,0903139 98
<b>PLT8293</b> <b>24</b>	PMP1257 81	PMP9416 5	2543,03	2543	7,7643198 52	0,4	0,014	0,00386382 8	0,3864%	0,121702 77	1,0903882 93
<b>PLT1091</b> <b>38</b>	PMP9416 5	PMP9416 4	2541,6	2541,52	48,413269 36	0,45	0,014	0,00165244 3	0,1652%	0,136915 61	0,7713237 98
<b>PLT1091</b> <b>39</b>	PMP9416 4	PMP9416 3	2541,47	2541,33	79,434723 03	0,5	0,014	0,00176245 3	0,1762%	0,152128 46	0,8545505 58
<b>PLT1092</b> <b>01</b>	PMP9416 3	PMP9416 2	2541,33	2541,29	21,255144 34	0,5	0,014	0,00188189 7	0,1882%	0,152128 46	0,8830329 38

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD	
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)	
TRAMO 6	PLT1105 53	PMP9416 2	PMP9416 1	2541,29	2541,28	3,5364171 08	0,5	0,014	0,00282772 1	0,2828%	0,152128 46	1,0824234 58
	PLT1104 55	PMP9416 1	PMC9492 2	2541,28	2541,25	22,577221 77	0,5	0,014	0,00132877 3	0,1329%	0,152128 46	0,7420007
TRAMO 7	PLT1100 78	PMI95471	PMP9416 0	2542,93	2542,73	71,620739	0,25	0,014	0,00279248 7	0,2792%	0,076064 23	0,6776225 85
	PLT1092 20	PMP9416 0	PMC9492 4	2542,63	2542,45	60,333597 71	0,35	0,014	0,00298341 2	0,2983%	0,106489 92	0,8765316 55
TRAMO 8	PLT1100 76	PMI95470	PMP9415 8	2542,64	2542,5	55,873193 38	0,3	0,014	0,00250567 4	0,2506%	0,091277 07	0,7248398 16
	PLT1100 77	PMP9415 8	PMP9415 7	2542,04	2541,41	46,764645 09	0,3	0,014	0,01347171 6	1,3472%	0,091277 07	1,6807039 63
	PLT1092 21	PMP9415 7	PMC9492 5	2541,3	2541,29	8,7940800 32	0,3	0,014	0,00113712 9	0,1137%	0,091277 07	0,4882975 71
TRAMO 9	PLT8293 28	PMP1257 86	PMP1257 85	2544,41	2544,38	5,9643809 2	0,3	0,014	0,00502986	0,5030%	0,091277 07	1,0269698 93
	PLT8293 29	PMP1257 85	PMP1257 84	2544,35	2544,23	22,061070 97	0,3	0,014	0,00543944 6	0,5439%	0,091277 07	1,0679651 92
	PLT8293 31	PMP1257 84	PMP1257 82	2544,23	2544,16	19,535190 38	0,3	0,014	0,00358327 7	0,3583%	0,091277 07	0,8668021 24

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD	
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)	
	PLT8293 30	PMP1257 82	PMI95469	2544,16	2544,15	4,2875494 17	0,3	0,014	0,00233233 5	0,2332%	0,091277 07	0,6993187 96
	PLT1105 89	PMI95469	PMP9415 6	2543,51	2542,81	50,897628 95	0,3	0,014	0,01375309 6	1,3753%	0,091277 07	1,6981655 06
	PLT1105 90	PMP9415 6	PMP9415 5	2542,79	2542,13	42,256620 53	0,3	0,014	0,01561885 4	1,5619%	0,091277 07	1,8096907 13
	PLT1100 75	PMP9415 5	PMP9415 4	2541,07	2540,29	49,753008 49	0,8	0,014	0,01567744 4	1,5677%	0,243405 53	3,4865552 65
TRAMO 10	PLT1105 86	PMI95468	PMP9415 3	2543,62	2542,02	92,470805 4	0,3	0,014	0,01730275 8	1,7303%	0,091277 07	1,9047476 3
	PLT1105 87	PMP9415 3	PMP9415 2	2542,02	2541,45	32,743187 28	0,3	0,014	0,01740820 1	1,7408%	0,091277 07	1,9105425 86
	PLT1105 88	PMP9415 2	PMC9492 9	2541,41	2541,06	20,972210 99	0,3	0,014	0,01668875 1	1,6689%	0,091277 07	1,8706463 19
TRAMO 11	PLT5485 4	PMI58566	PMP6610 9	2545,52	2545,27	59,931405 66	0,35	0,014	0,00417143 6	0,4171%	0,106489 92	1,0364628 4
	PLT5556 9	PMI59611	PMP6610 9	2545,74	2545,32	64,716579 38	0,3	0,014	0,00648983 6	0,6490%	0,091277 07	1,1665319 51
	PLT5556 8	PMP6610 9	PMP6545 9	2545,22	2545,12	31,924095 48	0,4	0,014	0,00313243 6	0,3132%	0,121702 77	0,9817772 43

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
<b>PLT5557</b> 1	PMI58780	PMP6545 9	2545,37	2545,22	35,003535 72	0,3	0,014	0,00428528 1	0,4285%	0,091277 07	0,9479151 03
<b>PLT5557</b> 0	PMP6545 9	PMP6612 6	2545,02	2544,95	71,105757 89	0,5	0,014	0,00098444 9	0,0984%	0,152128 46	0,6386686 11
<b>PLT5558</b> 5	PMI59381	PMP6942 1	2545,55	2545,38	32,602865 95	0,3	0,014	0,00521426 6	0,5214%	0,091277 07	1,0456259 24
<b>PLT5558</b> 4	PMP6942 1	PMP6612 6	2545,38	2545,15	36,006688 71	0,3	0,014	0,00638770 2	0,6388%	0,091277 07	1,1573163 71
<b>PLT5558</b> 3	PMP6612 6	PMP6942 0	2544,85	2544,77	24,043652 49	0,6	0,014	0,00332728 1	0,3327%	0,182554 15	1,3259013 32
<b>PLT5557</b> 2	PMI59771	PMP6942 0	2545,3	2545,07	34,984284 96	0,3	0,014	0,00657438	0,6574%	0,091277 07	1,1741056 76
<b>PLT5558</b> 2	PMP6942 0	PMP6548 0	2544,77	2544,73	18,937841 97	0,6	0,014	0,00211217 3	0,2112%	0,182554 15	1,0564067 95
<b>PLT5359</b> 0	PMP6548 0	PMP6677 1	2544,73	2544,64	33,271135 37	0,6	0,014	0,00270504 7	0,2705%	0,182554 15	1,1955118 32
<b>PLT5432</b> 3	PMI58578	PMP6677 1	2545,36	2544,94	73,088554 68	0,3	0,014	0,00574645 4	0,5746%	0,091277 07	1,0976900 54
<b>PLT5886</b> 3	PMP6677 1	PMP7042 9	2544,54	2544,34	97,121761 11	0,7	0,014	0,00205927 1	0,2059%	0,212979 84	1,1559907 29

TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
<b>PLT5886</b> 4	PMP7042 9	PMI59201	2544,34	2544,14	9,0103371 61	0,7	0,014	0,02219672 8	2,2197%	0,212979 84	3,7952649 91
<b>PLT5432</b> 2	PMI59589	PMI59201	2544,61	2544,49	34,983512 71	0,35	0,014	0,00343018 7	0,3430%	0,106489 92	0,9398745 27
<b>PLT5432</b> 4	PMI58400	PMP6879 2	2544,78	2544,64	29,612759 53	0,35	0,014	0,00472769 2	0,4728%	0,106489 92	1,1034065 09
<b>PLT5432</b> 0	PMP6879 2	PMI59201	2544,64	2544,49	36,032045 75	0,35	0,014	0,00416296 1	0,4163%	0,106489 92	1,0354094 71
<b>PLT5432</b> 1	PMI59201	PMP6678 4	2544,04	2544	20,755051 32	0,8	0,014	0,00192724 2	0,1927%	0,243405 53	1,2224384 89
<b>PLT8755</b> 4	PMP6678 4	PMC9492 6	2542,58	2542,57	13,042782 29	0,5	0,014	0,00076670 8	0,0767%	0,152128 46	0,5636296 28
<b>PLT8626</b> 9	PMP9421 1	PMC9491 8	2542,16	2542,08	84,582932 51	0,9	0,014	0,00094581 7	0,0946%	0,273831 22	0,9263268 06
<b>PLT8627</b> 0	PMC9491 8	PMC9491 9	2542,05	2542,03	23,883756 16	0,9	0,014	0,00083738 9	0,0837%	0,273831 22	0,8716141 88
<b>PLT8627</b> 1	PMC9491 9	PMC9492 0	2541,83	2541,77	57,424776 06	1,1	0,014	0,00104484 5	0,1045%	0,334682 6	1,1129782 94
<b>PLT8627</b> 2	PMC9492 0	PMC9492 1	2541,27	2541,18	93,745356 5	1,6	0,014	0,00096004 8	0,0960%	0,486811 06	1,3695943 69



TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITUD	DIAMETRO	RUGOSIDAD	PENDIENTE CALCULADA	PENDIENTE CALCULADA	R	VELOCIDAD
ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
<b>PLT8627</b> <b>3</b>	PMC9492 1	PMC9492 2	2541,17	2541,08	94,398501 9	1,6	0,014	0,00095340 5	0,0953%	0,486811 06	1,3648480 17
<b>PLT1105</b> <b>46</b>	PMC9492 2	PMC9492 3	2539,75	2539,64	48,388671 53	2	0,014	0,00227325 9	0,2273%	0,608513 83	2,4455511 91
<b>PLT1105</b> <b>47</b>	PMC9492 3	PMC9492 4	2539,64	2539,52	58,606728 59	2	0,014	0,00204754 6	0,2048%	0,608513 83	2,3209679 75
<b>PLT1105</b> <b>48</b>	PMC9492 4	PMC9492 5	2539,52	2539,4	53,912228 53,912228	2	0,014	0,00222584 0,00222584	0,2226%	0,608513 83	2,4199101 88
<b>PLT1105</b> <b>49</b>	PMC9492 5	PMC9492 6	2539,4	2539,33	34,254365 27	2	0,014	0,00204353 5	0,2044%	0,608513 83	2,3186933 83
<b>PLT1105</b> <b>42</b>	PMC9492 6	PMP9415 4	2539,37	2539,31	30,259012 2	2	0,014	0,00198288 0,00198288	0,1983%	0,608513 83	2,2840232 31
<b>PLT1105</b> <b>50</b>	PMP9415 4	PMC9492 8	2539,26	2539,25	23,314649 17	2	0,014	0,00042891 5	0,0429%	0,608513 83	1,0622771 08
<b>PLT1105</b> <b>51</b>	PMC9492 8	PMC9492 9	2539,25	2539,19	30,325229 05	2	0,014	0,00197855 1	0,1979%	0,608513 83	2,2815282 22
<b>PLT1105</b> <b>52</b>	PMC9492 9	SALIDA	2539,15	2539,04 3	59,938426 64	2	0,014	0,00178516 5	0,1785%	0,608513 83	2,1671625 36
<b>ANDEN</b> <b>1</b>	<b>PLT8627</b> <b>7</b>	PMC9493 2	2542,23	2541,78	18,022275 79	0,3	0,014	0,0249691 0,0249691	2,4969%	0,091277 07	2,2881327 22

	TRAMO	INLET NODE	OUTLET NODE	COTA CLAVE INICIAL	COTA CLAVE FINAL	LONGITU D	DIAMETR O	RUGOSID AD	PENDIENT E CALCULA DA	PENDIENT E CALCULA DA	R	VELOCIDA D
	ID	ID	ID	(m.s.n. m)	(m.s.n. m)	(m)	(m)	n	(m/m)	(%)		(m/s)
<b>ANDEN 2</b>	<b>PLT8627 4</b>	PMC9493 1	PMC9492 2	2544,07	2543,62	8,9295701 4	0,3	0,014	0,05039436 3	5,0394%	0,091277 07	3,2506540 41

Tabla 5. Características iniciales del sistema de alcantarillado pluvial de la zona de estudio.

### 3.2.3. Topografía

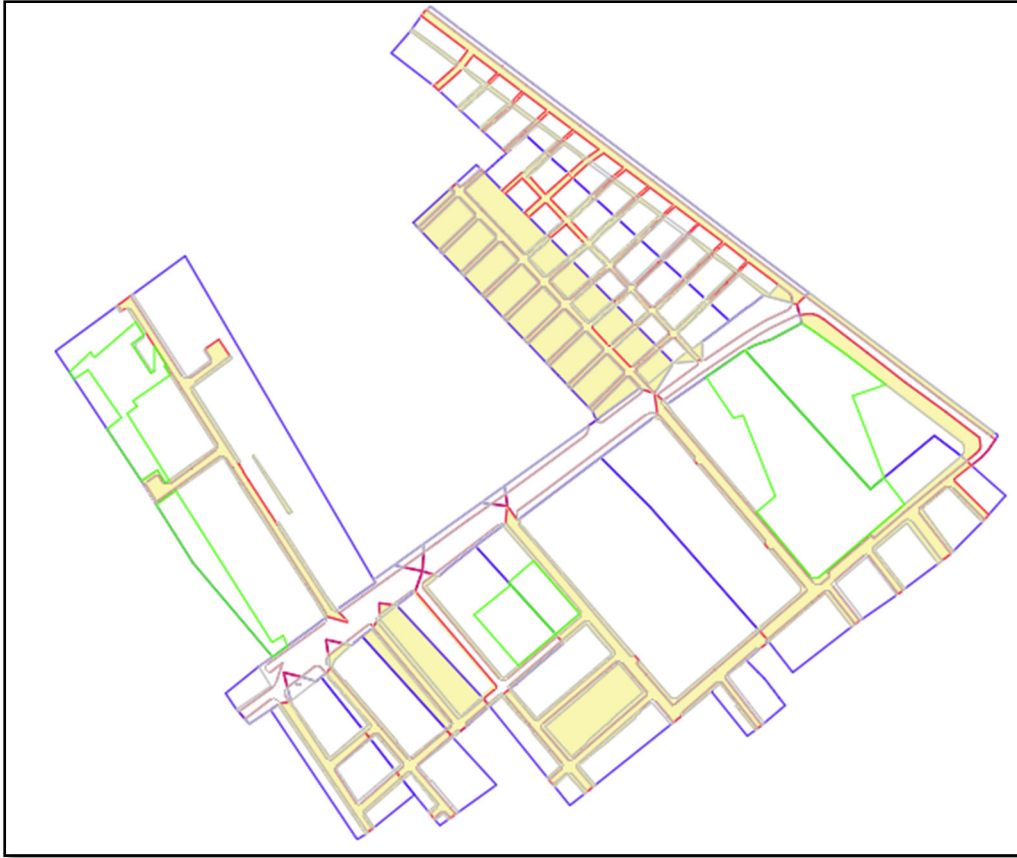
La topografía y usos del suelo se encuentran entre las características físicas más relevantes a la hora de realizar cualquier proyecto, para obtener dicha caracterización se recopiló información de identificación de los espacios y usos del suelo de la base de datos del Instituto de Desarrollo Urbano IDU (IDU, 2023) e información de los valores de las cotas rasantes de los pozos de la EAAB (EAAB, 2023a) los cuales se implementaron para determinar las pendientes de las calzadas y el sentido de la escorrentía en la zona.

#### ✓ Espacios y sus usos.

Durante la caracterización del alcantarillado existente se identificaron un colector pluvial troncal y 11 ramales secundarios que lo alimentan, en las áreas aferentes de cada uno de los ramales se realizó la separación de los espacios que lo componen según su uso, se dividieron en 4 diferentes zonas las cuales se categorizaron como: Andenes o zonas de circulación, zonas verdes, calzadas y techos. Esto con el objetivo de identificar las zonas en las cuales es posible realizar la implementación de SUDS según sus características y espacio requerido; de esta manera se obtuvieron los datos de la Tabla 6.

	AREA TOTAL	AREA CALZADA	ANDENES	VERDES	TECHOS
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
AREA 1	27260,93	5403,79	5144,68	0,00	16712,46
AREA 2	20877,97	2212,05	4417,44	9633,89	4614,59
AREA 3	60215,21	6211,13	3869,89	17229,85	32904,34
AREA 4	17236,97	2880,91	1694,40	0,00	12661,66
AREA 5	24768,45	4449,12	2549,86	0,00	17769,47
AREA 6	55357,04	11732,72	4432,56	2262,82	36928,94
AREA 7	13220,21	1731,22	1226,72	3218,06	7044,21
AREA 8	6634,18	1247,91	960,04	0,00	4426,23
AREA 9	12802,62	1839,95	1356,25	0,00	9606,42
AREA 10	10547,94	1939,93	1163,56	0,00	7444,46
AREA 11	55938,52	4201,33	2623,04	9256,36	49114,15

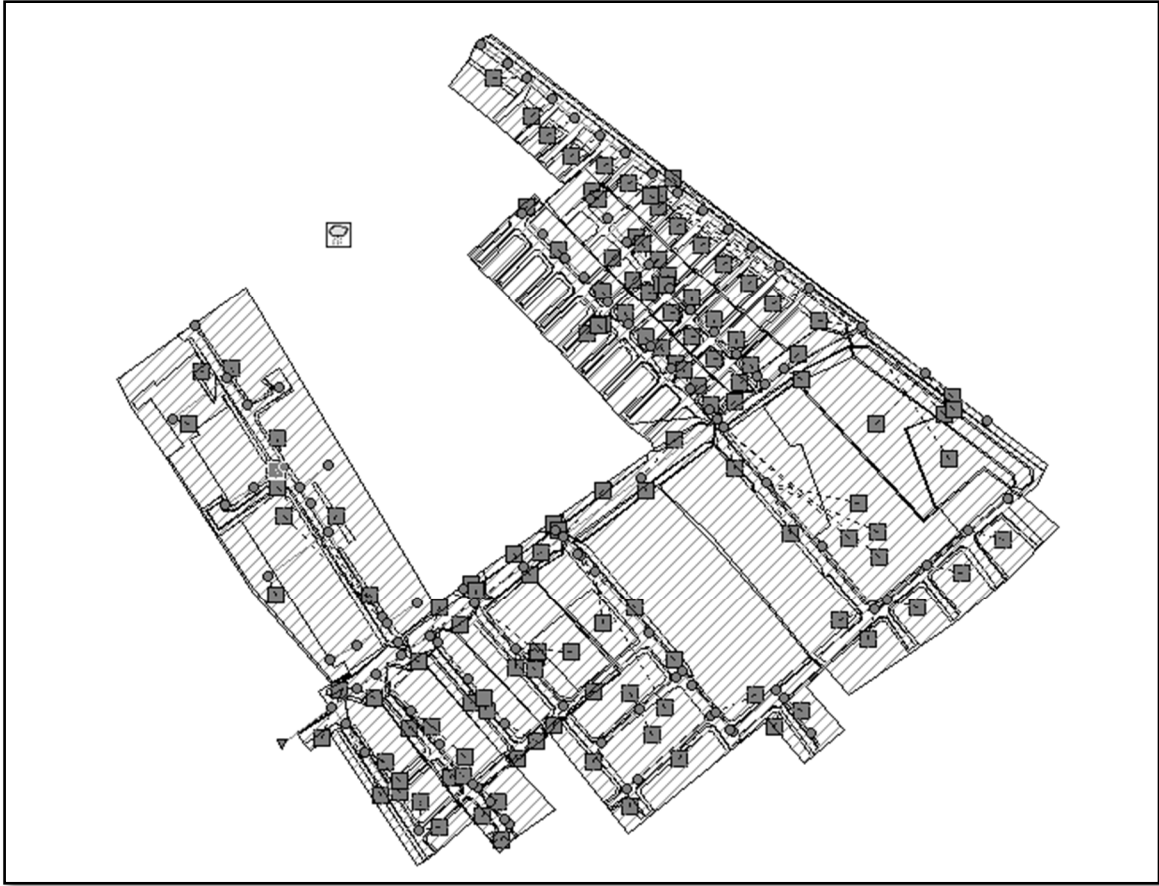
Tabla 6. Áreas categorizadas zona de estudio.



*Ilustración 16. Áreas zona de estudio.*

✓ **Topografía.**

Para la caracterización del sistema de alcantarillado pluvial de la zona de estudio, se implementó información establecida en la base de datos de la EAAB para identificar las cotas rasantes de los pozos existentes en la red. Adicionalmente, con el objetivo de rectificar y/o corregir algunas cotas que presentaban discrepancias, se utilizó información secundaria como planos récord de proyectos aledaños a la zona de estudio, a través de esto se establecieron las pendientes de las calzadas y el sentido del flujo de escorrentía al interior de la zona, permitiendo definir las áreas aferentes de cada uno de los tramos. De esta manera se identificaron como se mencionó anteriormente 11 tramos a los cuales les fue asignado un área aferente. Las cuales se distribuyen como se indica en la Ilustración 17:



*Ilustración 17. Áreas aferentes correspondientes a tramos de estudio.*

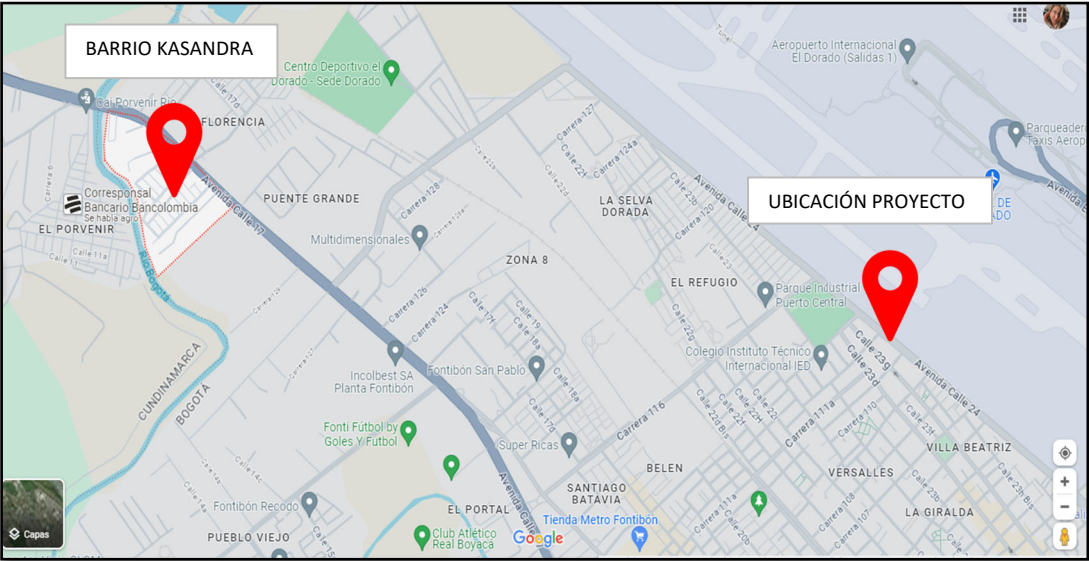
### **3.2.4. Características geomorfológicas.**

Con el objetivo de conocer las características geomorfológicas de la zona escogida, se obtuvieron los resultados de estudios de suelo realizados por proyectos de urbanización y reconstrucción del sistema de acueducto y alcantarillado en zonas aledañas al proyecto, los cuales permitieron identificar y clasificar las características geomorfológicas de la zona.

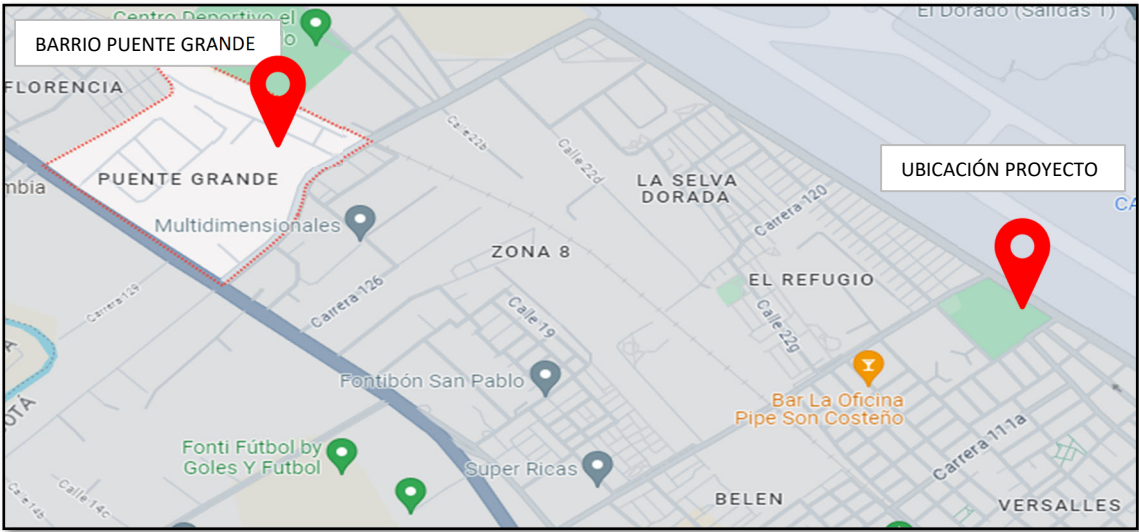
#### **3.2.4.1. Suelo.**

El primer proyecto evaluado tenía como objeto “*ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)*” realizado en agosto de 1997 (ANEXO 3). En los estudios de suelos de este proyecto se realizaron 13 sondeos de los cuales 9 son

valiosos para el presente proyecto, pues son los realizados en la localidad de Fontibón. A continuación, en la Ilustración 18 e Ilustración 19 se encuentra la ubicación de los barrios en los cuales se realizaron estos estudios y su cercanía al presente proyecto.



*Ilustración 18. Ubicación barrio Kasandra.  
De: Google Maps*



*Ilustración 19. Ubicación barrio Puente Grande.  
De: Google Maps*

Ahora bien, en el barrio Kasandra se realizaron 6 barrenos con profundidades entre los 2,50 y 3,0 metros, tal como se evidencia en la Ilustración 20. Adicionalmente, en la Tabla 7 se encuentran las características halladas en cada uno de los barrenos; para comprenderla con mayor claridad es importante conocer que el sistema unificado de clasificación del suelo establece que “G” corresponde a gravas, “S” a arenas, “M” a limos, “C” a arcillas y “O” a limos orgánicos y arcilla, adicionalmente para la plasticidad establece H para alta plasticidad y L baja plasticidad.

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
1	1	1.00 – 1.50				Limo-orgánico negro con algunas raíces	1,9	OH
	2	2.00 – 2.50				Arcilla habana de alta plasticidad y constancia media.	-	CH
2	1	1.50 – 2.00				Limo-orgánico color negro mate con raíces interiormente, trazos de arcilla habana.	1.9	CH-MH
	2	2.00 – 2.50				Limo-arcilloso color carmelito y vetas negras con algunas raíces, plasticidad, media y humedad media. Consistencia blanda	-	CH
	3	2.50 – 3.00	30.1	88.3	56.2	Arcilla habana de alta plasticidad y consistencia media. Humedad media-alta.		CH
3	1	1.10 – 1.50				Limo-orgánico carmelito con algunas raíces y vetas	1.50	OH

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
						negras sin consistencia y plasticidad baja.		
	2	2.00 - 2.50				Arcilla habana, de alta plasticidad y constancia media. Humedad baja.		CH
4	1	1.00 – 1.50				Limo orgánico y luego carmelito de poca plasticidad y consistencia blanda		OH
	2	2.00 – 2.50				Arcilla habana clara y vetas ocre. Alta plasticidad, consistencia media y húmedas baja.	2.50	CH
5	1	1.50 – 2.00				Limo-orgánico café de baja plasticidad y consistencia blanda.  Cambiar a color habana oscuro y café claro. Plasticidad media baja.	1.9	OH
	2	2.50 – 3.00	21.5	73.8	52.0	Arcilla habana de alta plasticidad y consistencia media. Humedad media.		CH
6	1	1.00 – 1.50				Capa de limo-orgánico color carmelito con algunas raíces.	-	OH
	2	1.50 – 2.00				Limo color habana oscuro y café claro con trazos de arcilla. Posee algunas raíces.	-	CH



Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
	3	2.00 – 2.50				Arcilla color habano con vetas ocre de alta plasticidad y consistencia. Humedad baja.	-	CH

Tabla 7. Parámetros y tipos de suelo encontrados en barrio Kassandra.

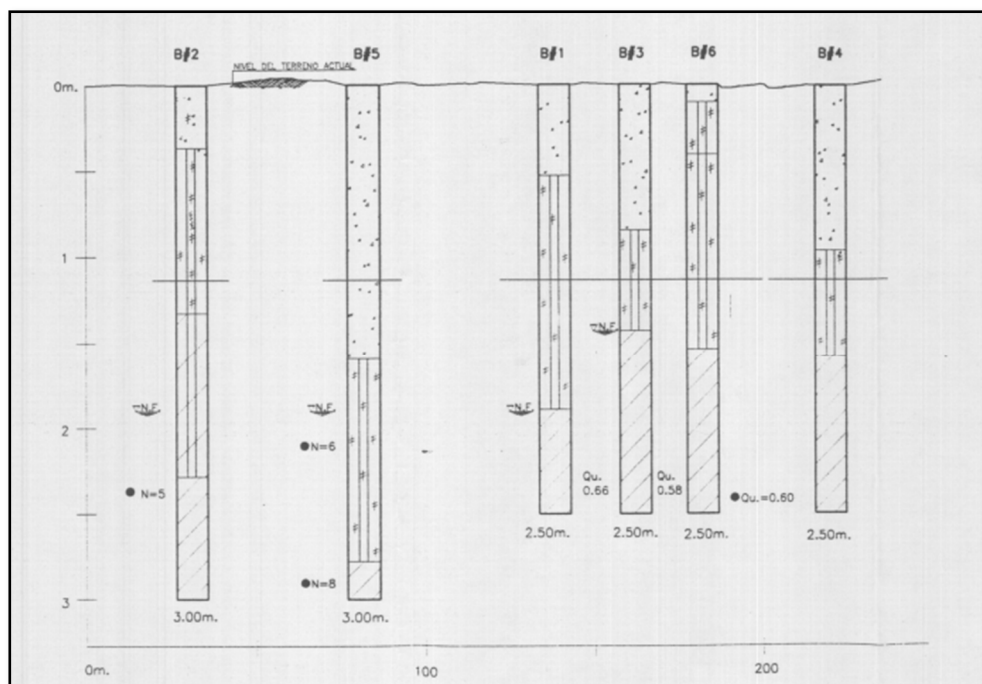


Ilustración 20. Barrenos barrio Kassandra.

De: "ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)"

Ahora bien, en el barrio Puente Grande se realizaron 5 barrenos con profundidades entre 2,50 y 3,0 metros como se evidencia en la Ilustración 21. Adicionalmente en la Tabla 8 se encuentran las características halladas en cada uno de los barrenos; para comprenderla con mayor claridad es importante conocer que el sistema unificado de clasificación del suelo establece que "G" corresponde a gravas, "S" a arena, "M" a Limo, "C" a arcilla y "O" a Limos

orgánicos y arcilla, adicionalmente para la plasticidad establece H para alta plasticidad y L baja plasticidad.

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
1	1	1.00 – 1.50				Limo orgánico color negro	1.4	CH-MH
	2	2.00 – 2.50				Arcilla limosa de plasticidad media de humedad alta y consistencia media.		CH-MH
2	1	1.00 – 1.50				Limo orgánico de plasticidad baja y sin consistencia. Trazos de raíces.	1.4	OH
	2	2.00 – 2.50	27.6	124.7	97.1	Arcilla limosa orgánica de plasticidad media-baja y consistencia blanda.		CL-ML
	3	2.50 – 3.10	42.5	94	51.5	Arcilla habana de alta plasticidad y consistencia media. Humedad media baja		CL-ML
3	1	1.00 – 1.50				Limo orgánico color negro con algunas raíces.	1.30	OH
	2	2.00 - 2.50				Arcilla habana con vetas ocre, de alta plasticidad y consistencia blanda media.		CH

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
	3	2,60 – 3.10	42.5	89,9	41.5	Arcilla habana con betas ocre de alta plasticidad y consistencia blanda media.		CH
4	1	1.20 – 1.50				Limo orgánico color negro con algunas raíces.	1.4	CH-MH
	2	1.00 – 2.00				Arcilla limosa color habano y café con trazos orgánicos. Plasticidad media-alta y consistencia blanda.		CH-MH
	3	2.00 – 3.10	31.9	89.9	58.0	Arcilla habana claro con vetas ocre de alta plasticidad y consistencia media.		CH
5	1	1.00 – 1.50				Limo arcilloso. Color café y negro con trazos de orgánicos. Plasticidad media-baja. sin consistencia.		MH
	2	2.00 – 2.50	44.5	110.6	65.8	Arcilla limosa de plasticidad media, de humedad alta y consistencia media.	1.70	CH

Tabla 8. Parámetros y tipos de suelo encontrados en barrio Puente Grande.  
 De: "ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y  
 BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)"

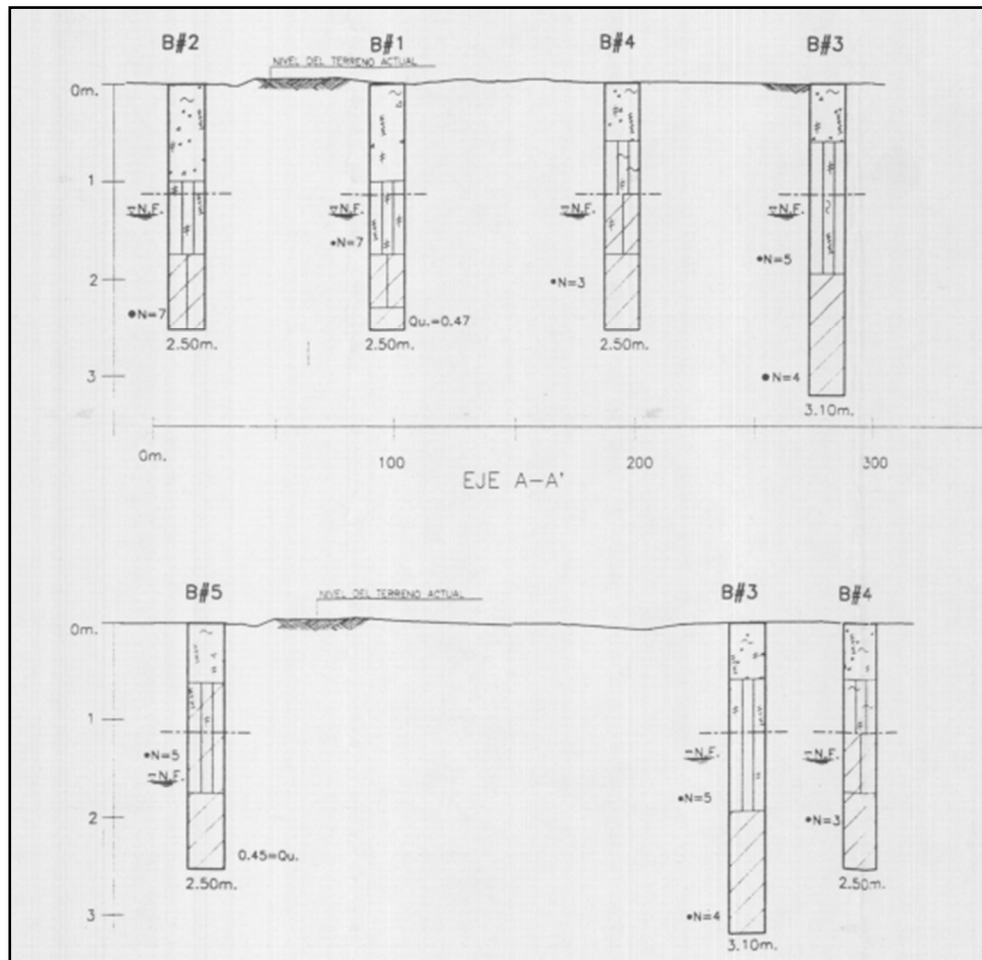
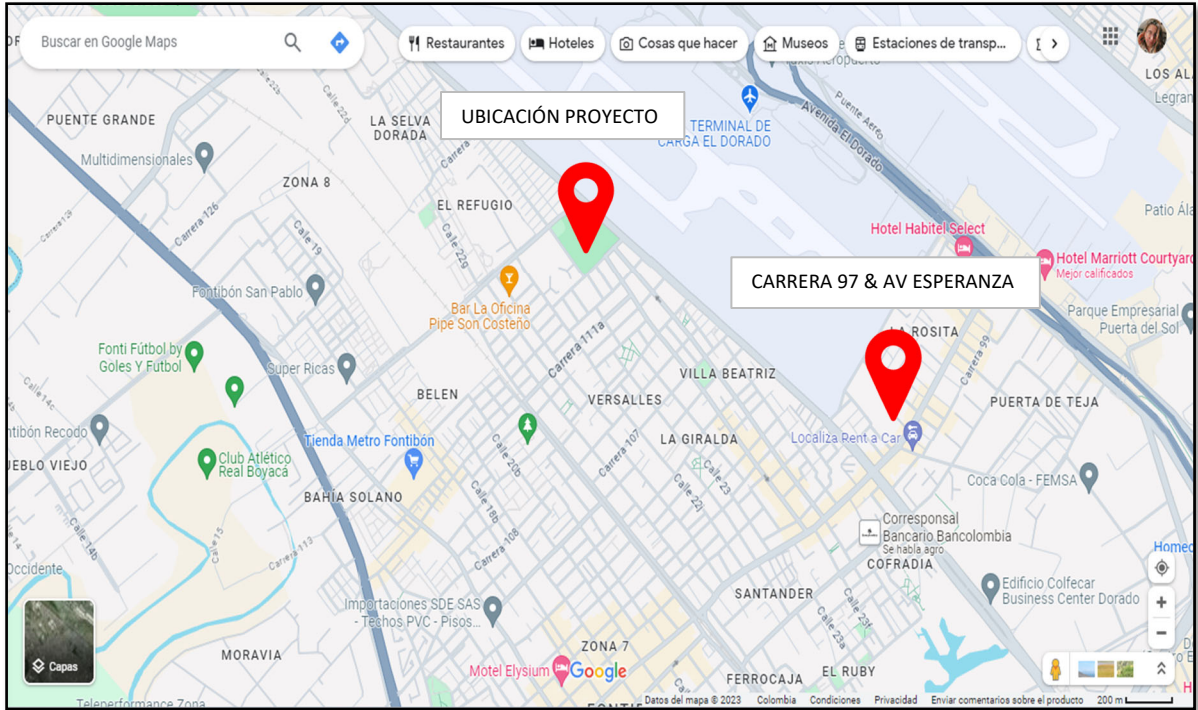


Ilustración 21. Barrenos barrio Puente Grande.  
 De: "ACUEDUCTOS BARRIOS PERPETUO SOCORRO Y VILLAS CASTILLA (Localidad 8 – Kennedy) Y  
 BARRIOS KASSANDRA Y PUENTE GRANDE (Localidad 9 – Fontibón)"

El segundo proyecto evaluado tenía como objeto "ESTUDIO DE SUELOS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO PROYECTO FONTIBON PLAZA" realizado en julio del 2003 (ANEXO 3). En los estudios de suelos de este proyecto realizaron 7 sondeos de los cuales 2 son valiosos para el presente proyecto, pues tienen una caracterización completa que nos brinda información relevante para su análisis. A continuación, se podrá encontrar en la Ilustración 22 la ubicación del proyecto son su respectiva cercanía a la zona de estudio del presente trabajo.



*Ilustración 22. Ubicación Carera 97 y Av. Esperanza.*

*De: Google Maps 2023.*

Como el primer proyecto expuesto, este también corresponde a un proyecto desarrollado por la EAAB. En la Tabla 9 se encuentra el resumen de los parámetros encontrados en cada una de las muestras analizadas para los dos apiques mencionados con anterioridad. La clasificación de estas muestras también se encuentra dentro del marco del sistema unificado de clasificación del suelo, el cual fue mencionado previamente.

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
3	1	0.70 – 1.00				Limo café		MH
	2	1.60 – 2.10				Arcilla gris verdosa veteada.		CH
	3	2.90 – 4.20				Arcilla café		CH

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
7	1	1.00 – 1.50				Limo orgánico café oscuro veteadado.		MH
	2	2.00 – 2.50	27.6	124.7	97.1	Arcilla café veteadada		CH
	3	2.50 – 3.10	42.5	94	51.5	Arcilla café.		CH

Tabla 9. Parámetros y tipos de suelo encontrados en Carrera 97 y Av. Esperanza.

Como último proyecto sujeto de análisis tenemos el “ESTUDIO Y DISEÑO CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS A BARRIO Y PAVIMENTOS LOCALES” del Instituto de Desarrollo Urbano IDU (ANEXO 3), el cual corresponde al proyecto más reciente y cercano a la zona del proyecto pues fue desarrollado en el 2003 y se encuentra en la zona demarcada en la Ilustración 23. Adicionalmente en la Tabla 10 se encuentran los parámetros correspondientes a las muestras tomadas.

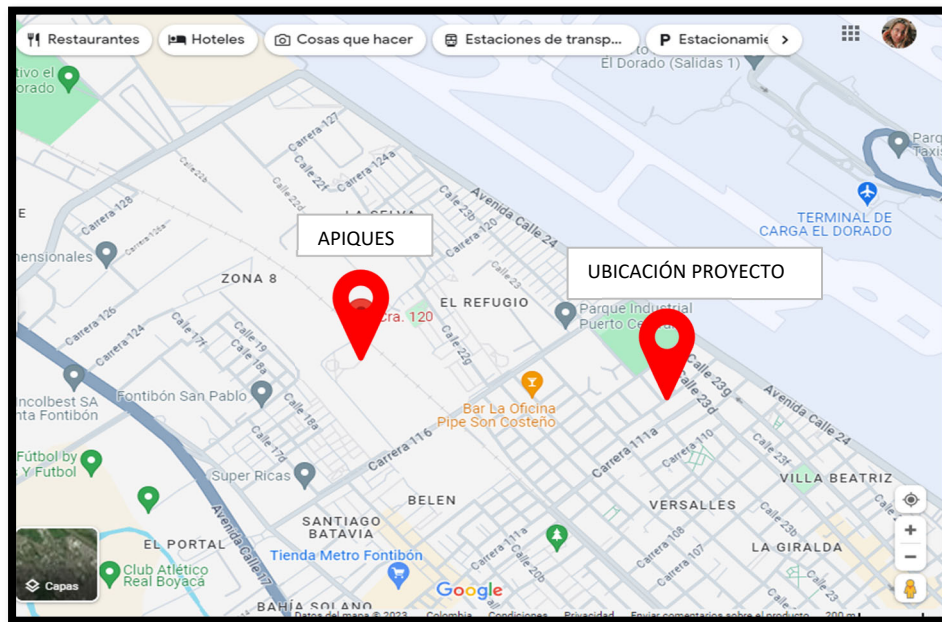


Ilustración 23. Ubicación proyecto de urbanización.

De: Google Maps 2023.

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
F-13	1	0.00 – 0.90	35	19	16	Grava gruesa arcillosa con trazas de arena. Amarilla su fracción fina presentada un comportamiento de plasticidad media.	-	GC
	2	0.90 – 1.50	33	20	13	Grava gruesa arcillosa con trazas de arena, amarillo su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media.	-	GC
F-14	1	0.00 – 0.45				Grava gruesa arcillosa con trazas de arena, amarillo su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad media.		GC
	2	0.45 – 0.90	88	65	23	Limo negro, orgánico, plasticidad alta y de alta compresibilidad.		MH
	3	0.90 – 1.50	89	61	28	Limo negro, orgánico, plasticidad alta y de alta compresibilidad.		MH
F-15	1	0.00 – 1.10				Relleno conformado por material de construcción		-

Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
	2	1.10 – 1.50	83	62	21	Limo negro, orgánico, plasticidad alta y de alta compresibilidad.		OH
F-16	1	0.55 – 1.20	86	62	24	Limo negro, orgánico, plasticidad alta y de alta compresibilidad.		OH
	2	1.20 – 1.50	95	67	28	Limo negro, orgánico, plasticidad alta y de alta compresibilidad.		MH
F-17	1	0.20 – 0.50				Relleno conformado con desechos de construcción	-	-
	2	0.50 – 0.90	37	20	17	Grava gruesa arcillosa con trazas de arena, amarilla su fracción fina presenta un comportamiento de plasticidad.	-	GC
	3	0.90 – 1.10	97	72	25	Limo negro, orgánico, plasticidad muy alta y de alta compresibilidad	-	MH
	4	1.10 – 1.50	115	75	40	Limo negro, orgánico, plasticidad muy alta y de alta compresibilidad	-	MH
f-18	1	0.70 – 1.40				Limo negro, orgánico, plasticidad muy alta y	-	MH



Br No.	MUESTRA		LIMITES DE CONSISTENCIA			DESCRIPCIÓN	N. FREATICO	USC
	Nro.	Profundidad (m)	L.P	L.L	I.P			
						de alta compresibilidad		
	2	1.40 – 1.50	116	70	46	Limo negro, orgánico, plasticidad muy alta y de alta compresibilidad	-	MH

*Tabla 10. Parámetros y tipos de suelo encontrados en el Refugio.*

*De: "ESTUDIO Y DISEÑO CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS A BARRIO Y PAVIMENTOS LOCALES"*

De acuerdo con los valores obtenidos en los proyectos desarrollados en zonas cercanas a la zona de estudio, se evidencia que la zona se caracteriza por presentar un alto contenido de arcillas y limos, junto con una alta plasticidad. Teniendo en cuenta estas características determinamos que el grupo hidrológico del suelo presente en la zona de estudio corresponde a suelo tipo C, el cual presenta un potencial de escorrentía moderadamente algo; la transmisión de agua a través del suelo esta algo restringida; suelen tener entre 20% y 40% de arcilla y menos del 50% de arena; presentan textura franco-limosa, franco arcillosa arenosa, franco arcillosa y franco arcillosa limosa.

### **3.2.4.2. Infiltración**

El número de curva de escorrentía CN tiene como objetivo calcular las abstracciones de una tormenta; las cuales se componen de la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente (Monsalve, 1999). Para esto se debe tener en cuenta los parámetros que afectan la producción de escorrentía, entre estos se encuentran: Tipo de suelo hidrológico, uso y tratamiento del suelo, condiciones de la superficie de terreno y la condición de humedad antecedentes del suelo (USDA (U.S. Department of Agriculture), 1986).

Teniendo en cuenta que se realizará el pre-dimensionamiento de cada estructura según los lineamientos establecidos en la norma NS-166, junto con la información y parámetros establecidos en el manual de usuario de SWMM v. 5.1, se realiza la comparación de los parámetros establecidos en cada documento y se concluye que si bien en ambos casos tienen como punto de partida el método del SCS para la estimación de escorrentía, los valores presentan variaciones entre sí, tal como se evidencia en la Tabla 11 y Tabla 12, ambas para una condición de humedad antecedente AMC II.

<b>AREAS</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Áreas Impermeables (pavimentos, concreto, etc.)	Techos	95	95	95	95
	Aceras	95	95	95	95
	Accesos	95	95	95	95
	Parqueaderos	95	95	95	95
Calles/Vías	Pavimentada/Concreto	95	95	95	95
	Grava	76	85	89	91
	Afirmado	72	82	87	89
Espacios abiertos (patios, parques, cementerios, linderos, relictos de vegetación nativa, etc.)	Pasto (Cobertura <50%)	68	79	86	89
	Pasto (50% a 75%)	49	69	79	84
	Pasto ( > 75%)	39	61	74	80
	Suelo desnudo	77	86	91	94
	Arboles	36	60	73	79
	Matorrales	46	62	74	84

Tabla 11. Valores de CN

De: NS – 0166

LAND USE DESCRIPTION		GRUPO DE SUELOS			
		A	B	C	D
<b>Cultivated land</b>	Without conservation treatment	72	81	88	91
	With conservation treatment	62	71	78	81
<b>Pasture or range land</b>	Poor condition	68	79	86	89
	Good condition	39	61	74	80
<b>Meadow</b>	Good condition	30	58	71	78
<b>Wood or forest land</b>	Thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
	Good cover	25	55	70	77
<b>Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.</b>	Good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
	Fair condition: grass cover on 50 - 75% of the area	49	69	79	84
<b>Commercial and business areas (85% impervious)</b>		89	92	94	95
<b>Industrial districts (72% impervious)</b>		81	88	91	93
<b>Residential</b>	Average lot size (% impervious)				
	1/8 ac or less (65)	77	85	90	92
	1/4 ac (38)	61	75	83	87
	1/3 ac (30)	57	72	81	86
	1/2 ac (25)	54	70	80	85
	1 ac (20)	51	68	79	84
<b>Paved parking lots, roofs, driveways, etc</b>		98	98	98	98
<b>Street and roads</b>	Paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
	Gravel	76	85	89	91
	Dirt	72	82	87	89

Tabla 12. Valores de CN

De: Manual SWWM.

Habiendo consultado ambas fuentes procedemos a determinar el valor de CN para cada una de las superficies que componen las áreas tributarias del proyecto (andenes, calzadas, zonas verdes, y techos), las cuales se presentan en la Tabla 13.

USO DEL SUELO Y COBERTURA		GRUPO HIDROLOGICO	
AREAS URBANAS		C	
		SWMM	NS 085
<b>Residencial</b>			
<b>Tamaño promedio del lote</b>	<b>% promedio de impermeabilidad</b>		
0.40 ha	20	79	91
<b>Parqueaderos pavimentados, techos, garajes, etc</b>		98	99
<b>Espacios abiertos, prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.</b>			
Buenas condiciones: cobertura de pasto en más del 75% del área		74	88
Cobertura parcial: cobertura de pasto entre el 50% y el 75% del área		79	91

Tabla 13. CN para áreas tributarias.

De: SWMM y NS-085.

Teniendo en cuenta que los valores obtenidos en las fuentes presentan diferencias entre sí, tomamos la determinación de utilizar los valores establecido en la norma NS-085, dado que, a pesar de que la modelación se realizara en el programa SWMM, la norma NS-085 establece los parámetros según las condiciones específicas de la ciudad de Bogotá. De esta manera los valores de CN a implementar según la superficie serán:

TIPO DE AREA	CN
Andenes	99
Calzadas	99
Techos	91
Zonas verdes	88

Tabla 14. Valor de CN a implementar.

### 3.2.4.3. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial es uno de los parámetros más importantes para las obras de ingeniería, debido a que corresponde al transporte y ocurrencia de agua en la superficie. Este parámetro esta influenciado por factores climáticos (Precipitación), factores fisiográficos (Área, permeabilidad) y factores humanos (obras hidráulicas construidas, rectificación de ríos) (Monsalve, 1999).

Teniendo en cuenta que las variables que caracterizan la escorrentía superficial son el caudal, el coeficiente de escorrentía superficial (el cual es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado), el tiempo de

concentración, el periodo de retorno y el nivel de agua. Para el pre-dimensionamiento de las tipologías de SUDS se analiza y compara los valores definidos para este parámetro en la norma de la EAAB NS-085 y en el manual de usuario del programa SWMM.

Al realizar esta comparación se evidencia que en la norma se especifica de manera explícita los valores del coeficiente de escorrentía según el tipo de área de drenaje. Sin embargo, en el manual de usuario del programa no existe dicho parámetro de manera explícita, se concluye que este se encuentra inmerso dentro de las características propias del suelo que se contemplan en este. Información que podemos encontrar en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	Coeficiente de Escorrentía				
	5	10	25	50	100
<b>Áreas desarrolladas</b>					
Asfáltico	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95
Concreto / techo	0,8	0,83	0,88	0,92	0,97
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>					
<b>Condición pobre (cubierta de pasto menor al 50% del área)</b>					
Plano 0 - 2%	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47
Promedio 2 - 7%	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53
Pendiente superior a 7%	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55
<b>Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)</b>					
Plano 0 - 2%	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
Promedio 2 - 7%	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49
Pendiente superior a 7%	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
<b>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</b>					
Plano 0 - 2%	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36
Promedio 2 - 7%	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46
Pendiente superior a 7%	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51
<b>Áreas no desarrolladas</b>					
<b>Áreas de cultivos</b>					
Plano 0 - 2%	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47
Promedio 2 - 7%	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	Coeficiente de Escorrentía				
	5	10	25	50	100
Pendiente superior a 7%	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
<b>Pastizales</b>					
Plano 0 - 2%	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41
Promedio 2 - 7%	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49
Pendiente superior a 7%	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53
<b>Bosques</b>					
Plano 0 - 2%	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39
Promedio 2 - 7%	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47
Pendiente superior a 7%	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52

Tabla 15. Valores del coeficiente de escorrentía.

De: EAAB NS – 085.

Soil Texture Class	K	$\psi$	$\phi$	FC	WP
Sand	4,74	1,93	0,437	0,062	0,024
Loamy Sand	1,18	2,4	0,437	0,105	0,047
Sandy Loam	0,43	4,33	0,453	0,19	0,085
Loam	0,13	3,5	0,463	0,232	0,116
Slit Loam	0,26	6,69	0,501	0,284	0,135
Sandy Clay Loam	0,06	8,66	0,398	0,244	0,136
Clay Loam	0,04	8,27	0,464	0,31	0,187
Silty Clay Loam	0,04	10,63	0,471	0,342	0,21
Sandy Clay	0,02	9,45	0,43	0,321	0,221
Silty Clay	0,02	11,42	0,479	0,371	0,251

Soil Texture Class	K	$\psi$	$\phi$	FC	WP
Clay Loam	0,01	12,6	0,475	0,378	0,265

Tabla 16. Características del suelo.

De: Manual SWWM

PARAMETRO	DEFINITION	DEFINICION	UNIDAD
k	saturated hydraulic conductivity	conductividad hidráulica saturada	in / hr
$\psi$	suction head	cabeza de succión	in
$\phi$	Porosity	porosidad	fracción
FC	field capacity	capacidad de campo	fracción
WP	wilting point	punto de marchitamiento	fracción

Tabla 17. Parámetros del suelo.

De: Manual SWWM

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se tomarán los valores del coeficiente de escorrentía especificados en la NS-085 y los valores de conductividad hidráulica, cabeza de succión, porosidad, capacidad de campo y punto de marchitamiento especificados en el manual de usuario del SWMM.

### 3.2.4.4. Coeficiente de Manning.

El coeficiente “n” de Manning se puede definir como la resistencia al flujo en una superficie determinada, lo cual a su vez es afectado por varios factores como lo son la rugosidad superficial, vegetación, irregularidad de la superficie, alineamiento de la superficie, sedimentación y socavación, obstrucción, tamaño, forma, nivel, caudal, materia en suspensión y carga del lecho (Ven Te Chow, 1994).

Como se menciona anteriormente el n de Manning es un parámetro que puede ser afectado por una serie de factores, sin embargo, en la actualidad se tienen estandarizados algunos de estos factores, al igual que los parámetros definidos anteriormente tenemos valores establecidos en el manual del programa SWWM y valores establecidos en la norma de la EAAB NS - 085 (EAAB, 2020), y existe poca diferencia en ambos como se puede evidenciar en la Tabla 18 y Tabla 19.

<b>Surface</b>	<b>Superficie</b>	<b>n</b>
Smooth asphalt	Asfalto liso	0,011
Smooth concrete	Concreto liso	0,012
Ordinary concrete lining	Revestimiento de hormigón ordinario	0,013
Good Wood	Buena madera	0,014
Brick with concrete mortar	Ladrillo con mortero de hormigón	0,014
Vitrified clay	Arcilla vitrificada	0,015
Cast iron	Hierro fundido	0,015
Corrugated metal pipes	Tubos de metal corrugado	0,024
Cement rubble surface	Superficie de escombros de cemento	0,024
Fallow soils (no residue)	Suelos en barbecho (sin residuos)	0,05
<b>Cultivated soils</b>	<b>Suelos cultivados</b>	
Residue cover < 20%	Cubierta de residuos < 20%	0,06
Residue cover > 20%	Cubierta de residuos > 20%	0,17
Range (natural)	Gramina (natural)	0,13
<b>Grass</b>	<b>césped</b>	
Short, prairie	Corto, pradera	0,15
Dense	Denso	0,24



Surface	Superficie	n
Bermuda grass	Césped Bermuda	0,41
<b>Woods</b>	<b>Bosques</b>	
Light underbrush	Sotobosque ligero	0,4
Dense underbrush	Sotobosque denso	0,8

Tabla 18. Valores para el coeficiente de Manning.

De: Manual SWWM.

SUPERFICIENTES	n
<b>Canales revestidos</b>	
Canales revestidos en concreto	0.015 - 0.018
Canales revestidos en piedra	0.025 - 0.03
Canales revestidos con vegetación baja	0.05 - 0.06
<b>Cunetas</b>	
Cuneta en concreto - Acabado con llana	0,012
Cuneta en pavimento - Liso	0,013
Cuneta en pavimento - Rugoso	0,016
Canales o corrientes naturales	
<b>1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente &lt; 30m)</b>	
<b>a) Corrientes en planicies</b>	
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025 - 0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.03 - 0.04
3. Limpio, serpenteable, algunos pozos y bancos de arena	0.033 - 0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035 - 0.05
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.04 - 0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.05 - 0.08
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.05 - 0.08
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075 - 0.150
<b>b) Corrientes montañosas, sin vegetación, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos</b>	
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.03 - 0.05
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.04 - 0.07
2. Planicies de inundación	
<b>a) Pastizales, sin matorrales</b>	
1. Pasto corto	0.025 - 0.035

<b>SUPERFICIENTES</b>	<b>n</b>
2. Pasto alto	0.03 - 0.05

*Tabla 19. Valores para coeficiente de Manning.*

*De: EAAB NS - 085*

De la misma manera que se realizó con el valor del CN, se tomarán como preferencia el coeficiente de n de Manning establecido en la norma NS - 085, dado que es la norma establecida para la ciudad de Bogotá.

<b>TIPO DE AREA</b>	<b>n de Manning</b>
Andenes	0.012
Calzadas	0.013
Zonas verdes	0.15
Techos	0.01

*Tabla 20. n de Manning.*

### **3.3. FASE III MODELACIÓN DEL ESTADO ACTUAL.**

Esta fase tiene como objetivo plasmar las características hidrológicas y físicas de la zona de estudio escogida en el software EPA SWMM v. 5.1, determinando la capacidad hidráulica del sistema de alcantarillado pluvial existente. Los pasos desarrollados en el cumplimiento de este objetivo corresponden a:

1. Determinar el sistema de unidades a implementar: Se define como sistema de unidades el sistema internacional.
2. Determinar el sistema de coordenadas: Dado que la zona de estudio se localiza en la ciudad de Bogotá se escoge el sistema de coordenadas Magna Colombia Bogotá.
3. Se definen los parámetros generales de modelación:

- General Options

PARAMETRO	DEFINICION	ESCOGIDO
<b>Process Models</b>	Esta sección le permite seleccionar cuál de los modelos de proceso de SWMM se aplicará al proyecto actual. Por ejemplo, un modelo que contenga elementos de acuífero y aguas subterráneas podría ejecutarse primero con los cálculos de aguas subterráneas activados y después con ellos desactivados para ver qué efecto tiene este proceso en la hidrología del lugar. Tenga en cuenta que si no hay elementos para modelar un proceso determinado, la opción de ese proceso se desactiva por ejemplo, si no hay acuíferos definidos para el proyecto, entonces la casilla de verificación Aguas subterráneas aparecerá desactivada en un sin marcar.	Flow Routing
<b>Infiltration Model</b>	Esta opción controla cómo se modela la infiltración de la lluvia en la zona superior del suelo de las subcuencas. Las opciones son: Horton, Modified Horton, Green-Ampt, Modified Green-Ampt y Curve Number. El cambio de esta opción requerirá volver a introducir los valores de los parámetros de infiltración en cada subcuenca, a menos que el cambio sea entre las dos opciones Horton o las dos opciones Green-Ampt.	Curve Number
<b>Routing Model</b>	Esta opción determina qué método se utiliza para encaminar los flujos a través del sistema de transporte. Las opciones son: Flujo Continuo, Onda Cinemática, Onda dinámica.	Dynamic Wave
<b>Allow Ponding</b>	Si se activa esta opción, el exceso de agua se acumulará en los nodos superiores y se reintroducirá en el sistema cuando las condiciones lo permitan. Para que se produzca realmente el encharcamiento en un nodo concreto, debe utilizarse un valor distinto de cero para su atributo Área encharcada.	Activado
<b>Minimum Conduit Slope</b>	El valor mínimo permitido para la pendiente de un conducto (%). Si está en blanco o es cero (valor predeterminado), no se impone ningún valor mínimo.	0%

Ilustración 24. Parámetros de modelación "General"

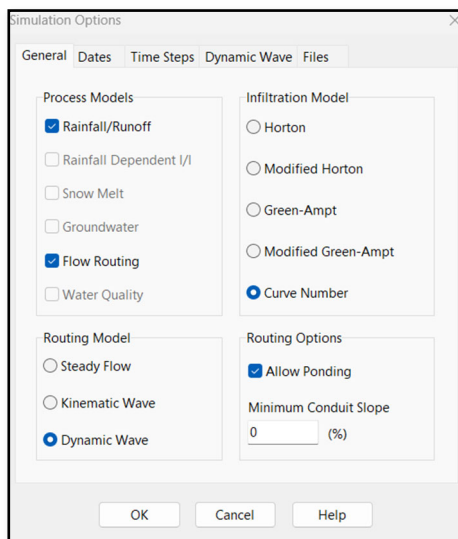


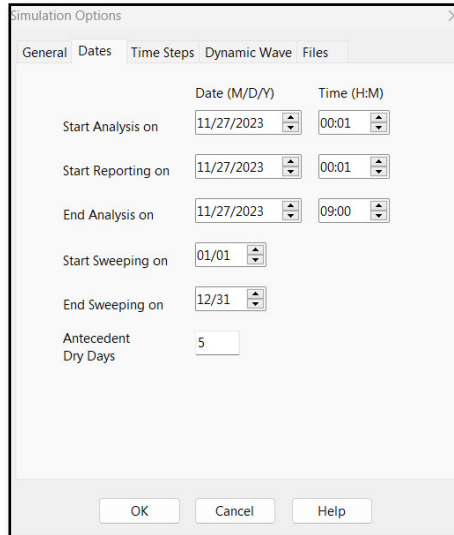
Ilustración 25. Parámetros de modelación "General"

De: SWMM

- Dates Options

PATAMETRO	DEFINICION	ESCOGIDO
<b>Start Analysis On</b>	Introduzca la fecha (.es/día/año) y la hora del día en que comienza la simulación.	11/27/2023 - 00:01
<b>Start Reporting On</b>	Introduzca la fecha y hora del día e que debe comenzar la notificación de los resultados de la simulación.	11/27/2023 - 00:01
<b>End Analysis On</b>	Introduzca la fecha y hora a la que debe finalizar la simulación.	11/27/2023 - 23:59
<b>Start Sweeping On</b>	Introduzca el día del año (mes/día) en que comienzan las operaciones de barrido de calles. Por defecto 1 de enero.	1-ene
<b>End Sweeping On</b>	Introduzca el día del año (mes/día) en que finalizan las operaciones de barrido de calles. Por defecto 31 de diciembre.	dic-31
<b>Antecedent Dry Days</b>	Introduzca el número de días sin precipitaciones antes del inicio de la simulación.	5

*Ilustración 26. Parámetros de modelación "Dates"*

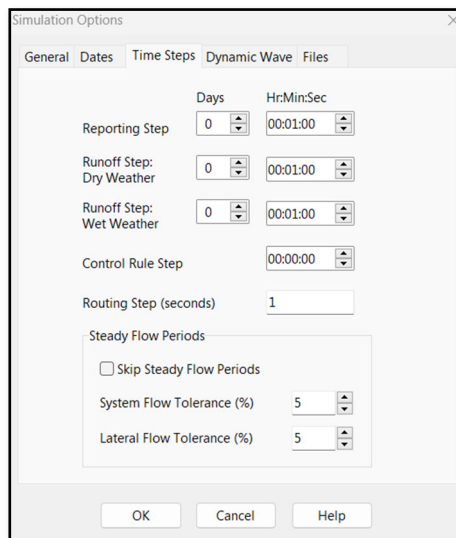


*Ilustración 27. Parámetros de modelación "Dates"*

- Time Steps Options

<b>Reporting Time Step</b>	Introduzca el intervalo de tiempo para la notificación de los resultados calculados.	0:01
<b>Runoff - Dry Weather Time Step</b>	Introduzca la longitud del paso temporal utilizado para los cálculos de escorrentía (que consiste esencialmente en la acumulación de contaminantes) durante los períodos en los que no hay precipitaciones, no hay agua estancada y los controles LID están secos. Este debe ser mayor o igual que el paso temporal de tiempo húmedo.	0:01
<b>Runoff - Wet Weather Time Step</b>	Introduzca la longitud del paso temporal utilizado para calcular la escorrentía de las subcuencas durante los períodos de precipitaciones, o cuando el agua estancada aún permanece en la superficie, o cuando los controles LID aún están infiltrando o evaporan la escorrentía.	0:01
<b>Routing Time Step</b>	Introduzca la longitud del paso de tiempo en segundos decimales utilizada para dirigir los caudales y los componentes de calidad del agua a través del sistema de transporte. Tenga en cuenta que el enrutamiento de Onda Dinámica requiere paso de tiempo mucho más pequeño que los otros métodos de enrutamiento de flujo.	1
<b>System Flow Tolerance</b>	La diferencia porcentual entre la entrada total del sistema y la salida total del sistema esta por debajo de este valor.	5%
<b>Lateral Flow Tolerance</b>	Las diferencias porcentuales entre el caudal de entrada lateral actual y el del paso temporal anterior para todos los puntos del sistema de transporte están por debajo de este valor.	5%

*Ilustración 28. Parámetros de modelación "Time Steps"*



*Ilustración 29. Parámetros de modelación "Time Steps"*

De: SWWM

- Dynamic Wave:

PARAMETRO	DEFINICION	ESCOGIDO
Inertial Terms	Indica cómo se tratarán los términos de inercia en la ecuación de momento de St. KEEP: Mantiene estos términos en todo su valor en todas las condiciones.	DAMPEN
	DAMPEN: Reduce los términos a medida que el flujo se acerca a ser crítico y los ignora cuando el flujo es supercrítico.	
	IGNORE: Elimina los términos de la ecuación de momento, produciendo lo que es esencialmente una solución de onda de difusión.	
Normal Flow Criterion	Criterio de flujo normal.	Slope & Froude
Force Main Equation	Selecciona que ecuación se utilizará para calcular las pérdidas por fricción durante el flujo a presión para conductos a los que se ha asignado sección transversal circular. Las opciones son la ecuación de Hazen-Williams o la ecuación de Dawcy-Weiscach.	Hazen - Williams
Surcharge method	Método de sobrecarga.	Extran
Use Variable Time Steps	Marque la casilla si se debe utilizar un paso de tiempo variable calculado internamente en cada periodo de tiempo de enrutamiento y seleccione un factor de ajuste que se aplique a este paso de tiempo. El paso de tiempo variable se calcula para satisfacer la condición de Courant dentro de cada conducto. Un factor de ajuste típico sería del 75% para proporcionar cierto margen de conservadurismo.	75%
Minimum Variable Time Step	El paso de tiempo más pequeño permitido cuando se utilizan pasos de tiempo variables. El valor por defecto es de 0.5 segundos.	0.5
Time Step for Conduit Lengthening	Se trata de un paso de tiempo, en segundos, utilizado para alargar artificialmente los conductos de forma que se cumpla el criterio de estabilidad de Courant en condiciones de flujo máximo (el tiempo de recorrido de una onda no será menor que el paso de tiempo especificado para alargar el conducto). A medida que disminuya este valor será necesario alargar menos conductos. Un valor de cero significa que no se alargará ningún conducto.	0
Minimum Nodal Surface Area	Se trata de una superficie mínima de que utiliza en los nodos cuando se calculan los cambios en la profundidad del agua. Se utiliza por defecto el valor de 1.167 m <sup>2</sup> (12.566 pies <sup>2</sup> ). Esta es el área de un pozo de registro de 4 pies de diámetro.	1.167
Maximum Trials per Time Setp	Número máximo de ensayos que SWMM utiliza en cada paso de tiempo para alcanzar la convergencia al actualizar las cabezas hidráulicas en los nodos del sistema de transporte. El valor por defecto es 8.	8
Head Convergence Tolerance	Cuando la diferencia de altura calculada en cada nodo ente ensayos sucesivos es inferior a este valor, se considera que la solución de flujo para el paso de tiempo actual ha convergido. La tolerancia es de 0.005 pies (0.0015 m)	0.0015
Number of Threads	Seleccione el número de hilos de cálculo paralelo que se utilizarán en máquinas equipadas con procesadores multinúcleo. El valor predeterminado es 1.	1

Ilustración 30. Parámetros de modelación "Dynamic Wave".

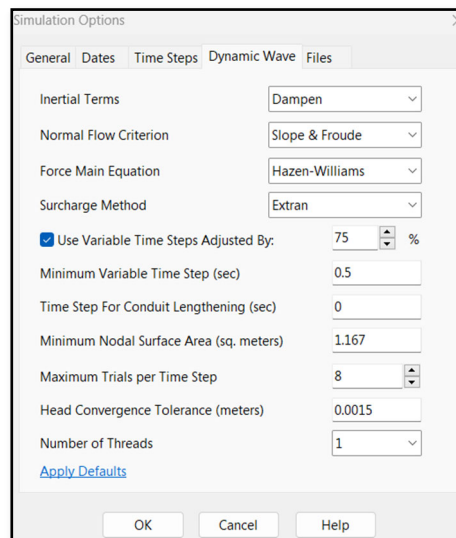


Ilustración 31. Parámetros de modelación "Dynamic Wave"

De: SWMM

4. Se carga en el programa la información correspondiente a los pozos que conforman el sistema:

PARAMETRO	DEFINICION
<b>Name</b>	Nombre de la unión asignado por el usuario.
<b>X-Coordinate</b>	Ubicación horizontal del cruce en el mapa de la zona de estudio.
<b>Y-Coordinate</b>	Ubicación vertical del cruce en el mapa de la zona de estudio.
<b>Description</b>	Descripción opcional.
<b>Tag</b>	Etiqueta opcional utilizada para categorizar o clasificar la unión.
<b>Inflows</b>	Entradas externas directas.
<b>Treatment</b>	Funciones de tratamiento para los contaminantes que entran en el nodo.
<b>Invert El.</b>	Cota de fondo del pozo (pies o metros).
<b>Max. Depth</b>	Profundidad máxima de la unión (es decir, desde la superficie del suelo hasta el inverso) (pies o metros).
<b>Initial Depth</b>	Profundidad del agua en el cruce al inicio de la simulación (pies o metros).
<b>Surcharge Depth</b>	Profundidad adicional del agua más allá de la profundidad máxima permitida antes de que el cruce se inunde (pies o metros). Este parámetro puede utilizarse para simular tapas de alcantarilla atornilladas o conexiones de tuberías forzadas.
<b>Ponded Area</b>	Superficie ocupada por el agua estancada en la parte superior del cruce después de producirse la inundación (pies cuadrados o metros cuadrados). Si la opción Permitir simulación de estanqueidad está activada, un valor distinto de cero de este parámetro permitirá almacenar el agua estancada y posteriormente al sistema de transporte cuando exista capacidad.

*Ilustración 32. Propiedades de los pozos.*

Junction PMP94211	
Property	Value
Name	PMP94211
X-Coordinate	992452.227
Y-Coordinate	1010412.716
Description	
Tag	EXISTENTE
Inflows	YES
Treatment	NO
Invert El.	2542.16
Max. Depth	3.26000000000022
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
User-assigned name of junction	

*Ilustración 33. Ejemplo información pozos.*

De: SWMM

Los valores cargados fueron obtenidos a partir de la información encontrada en el Geoportal de la EAAB (EAAB, 2023), datos abiertos Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022) y planos récord de proyectos desarrollados en la zona (ANEXO 3).

5. Se carga en el programa la información correspondiente a los tramos:

PARAMETRO	DEFINICION
<b>Name</b>	Nombre de la unión asignado por el usuario.
<b>Inlet Node</b>	Nombre del nodo en el extremo de entrada del conducto (que normalmente es el extremo a más elevado).
<b>Outlet Node</b>	Nombre del nodo en el extremo de salida del conducto (que normalmente es el extremo en la cota más baja)
<b>Description</b>	Descripción opcional.
<b>Tag</b>	Etiqueta opcional utilizada para categorizar o clasificar la unión.
<b>Shape</b>	Propiedades geométricas de la sección transversal del conducto.
<b>Max. Depth</b>	Profundidad máxima de la sección transversal del conducto (pies o metros).
<b>Length</b>	Longitud del conducto (pies o metros)
<b>Roughness</b>	Coefficiente de rugosidad n de Manning
<b>Inlet Offset</b>	Profundidad o elevación del fondo del conducto por encima del fondo del nodo en el extremo aguas arriba del conducto (pies o metros)
<b>Outlet Offset</b>	Profundidad o elevación del fondo del conducto por encima del fondo del nodo en el extremo aguas abajo del conducto (pies o metros)
<b>Initial Flow</b>	Caudal inicial en el conducto (unidades de caudal).
<b>Maximum Flow</b>	Caudal máximo permitido en el conducto (unidades de caudal)
<b>Entry Loss Coeff.</b>	Coefficiente de pérdida de carga asociado a las pérdidas de energía a la entrada del conducto.
<b>Exit Loss Coeff</b>	Coefficiente de pérdida de carga asociado a las pérdidas de energía a la salida del conducto
<b>Avg. Loss Coeff</b>	Coefficiente de pérdida de carga asociado a las pérdidas de energía a lo largo de la longitud de del conducto.
<b>Flap Gate</b>	Sí existe una compuerta de clapeta que impida el reflujos a través del conducto, o NO si no existe ninguna compuerta.
<b>Culvert Code</b>	Número de código de la geometría de entrada si el conducto es una alcantarilla - dejar en blanco en caso contrario.

*Ilustración 34. Propiedades de los tramos.*



Conduit PLT86269	
Property	Value
Name	PLT86269
Inlet Node	PMP94211
Outlet Node	PMC94918
Description	
Tag	CONCRETO
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.9
Length	84.5829325148509
Roughness	0.014
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0.0300000000002001
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0.42
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
User-assigned name of Conduit	

*Ilustración 35. Ejemplo información tramos.  
De: SWWM.*

Los valores cargados fueron obtenidos a partir de la información encontrada en el Geoportal de la EAAB (EAAB, 2023), datos abiertos Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022) y planos récord de proyectos desarrollados en la zona (ANEXO 3).

6. Cargamos los datos del hidrograma en el apartado *Timeseries*:

Time Series Editor

Time Series Name: IDO\_ACUMULADA

Description: [Empty field]

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	0.00
	0:02	0.18
	0:04	0.36
	0:06	0.54
	0:08	0.73
	0:10	0.91
	0:12	1.11
	0:14	1.31
	0:16	1.52
	0:18	1.72
	0:20	1.93

Buttons: View, OK, Cancel, Help

*Ilustración 36. Time Series.  
De: SWWM*

Estos datos fueron corresponden a los especificados en la Tabla 4 y Gráfica 4 del documento.

7. Asignamos el valor del hidrograma al Rain Gage:

Rain Gage 1	
Property	Value
Name	1
X-Coordinate	991946.976
Y-Coordinate	1010501.638
Description	
Tag	
Rain Format	CUMULATIVE
Time Interval	0:02
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	IDO_ACUMULADA
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	MM
Type of rainfall data recorded at rain gage	

*Ilustración 37. Rain Gage.*

*De: SWMM*

8. Se procede a realizar el cargue de las áreas al interior de cada uno de las 11 subcuencas y la red troncal que conforman el proyecto, las cuales fueron establecidas previamente utilizando el programa AutoCad: Calzadas, zonas de circulación (andenes), zonas verdes y techos.

Al realizar este proceso se define conjuntamente el valor respectivo de los parámetros asignados a cada una de ellas:

PARAMETRO	DEFINICION
<b>Name</b>	Nombre de la unión asignado por el usuario.
<b>X-Coordinate</b>	Ubicación horizontal del cruce en el mapa de la zona de estudio.
<b>Y-Coordinate</b>	Ubicación vertical del cruce en el mapa de la zona de estudio.
<b>Description</b>	Descripción opcional.
<b>Tag</b>	Etiqueta opcional utilizada para categorizar o clasificar la unión.
<b>Rain Gage</b>	Nombre del pluviómetro asociado a la subcuenca.
<b>Outlet</b>	Nombre del nodo o de la subcuenca que recibe la escorrentía de la subcuenca.
<b>Area</b>	Superficie de la subcuenca, incluidos los controles LID (acres o hectáreas).
<b>Width</b>	Anchura característica de la vía de flujo terrestre para la escorrentía de flujo laminar (pies o metros).
<b>% Slope</b>	Porcentaje medio de pendiente de la subcuenca.
<b>% Imperv</b>	Porcentaje de superficie de terreno (excluida la superficie utilizada para los controles LID) que es impermeable.
<b>N-Imperv</b>	N de Manning para el flujo superficial sobre la parte impermeable de la subcuenca.
<b>N-Perv</b>	N de Manning para el flujo superficial sobre la parte permeable de la subcuenca.
<b>Dstore-Imperv</b>	Profundidad de almacenamiento de la depresión en la parte impermeable de la subcuenca (pulgadas o milímetros)
<b>Dstore-Perv</b>	Profundidad de almacenamiento de la depresión en la parte permeable de la subcuenca (pulgadas o milímetros)
<b>% Zero-Imperv</b>	Porcentaje de la superficie impermeable sin almacenamiento en depresión
<b>Subarea Routing</b>	Elección del enrutamiento interno de la escorrentía entre áreas permeables e impermeables: IMPERV: la escorrentía del área permeable fluye hacia el área impermeable, PERV: la escorrentía del área impermeable fluye hacia el área permeable, OUTLET: la escorrentía de ambas áreas fluye directamente hacia la salida.
<b>Percent Routed</b>	Porcentaje de escorrentía dirigido entre subáreas.
<b>Infiltration</b>	Parámetros de infiltración para la subcuenca.
<b>LID Controls</b>	Uso de controles de desarrollo de bajo impacto en la subcuenca.
<b>Groundwater</b>	Parámetros de flujo de aguas subterráneas de la subcuenca.
<b>Snow Pack</b>	Nombre del conjunto de parámetros del manto de nieve (si existe) asignado a la subcuenca.

*Ilustración 38. Propiedades de las áreas.*

Al realizar este procedimiento en cada una de las áreas que conforman el proyecto se obtiene el modelo presentado en la Ilustración 39.

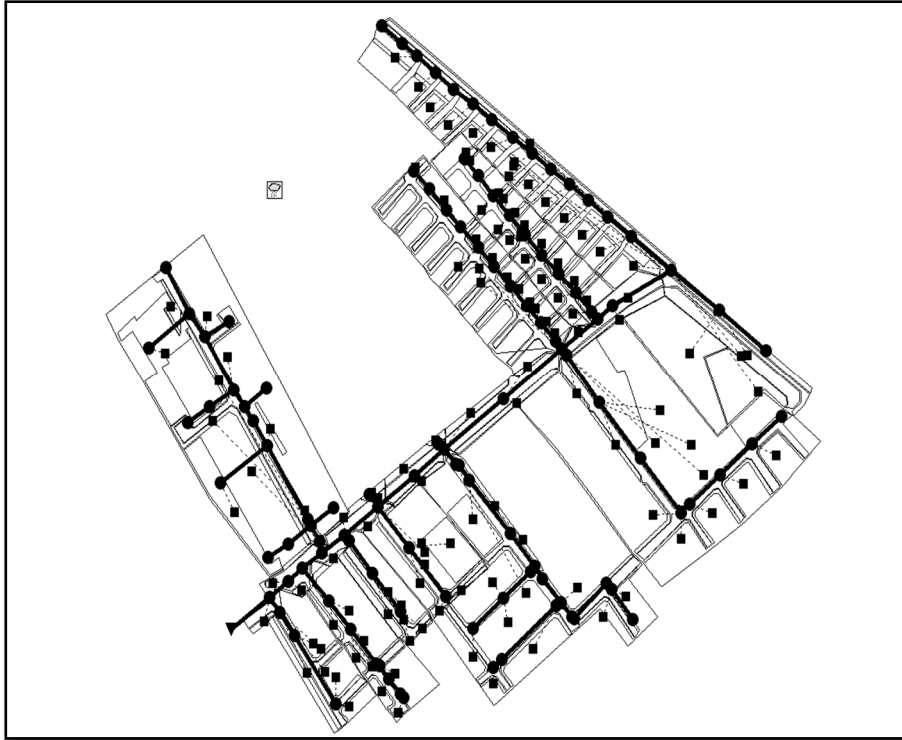


Ilustración 39. Áreas tributarias.

De: SWMM

En la Ilustración 40 se presenta, a manera de ejemplo, la información cargada en cada una de las áreas establecidas:

Property	Value
Name	TR1_AN2
X-Coordinate	992129.290
Y-Coordinate	1010618.961
Description	
Tag	
Rain Gage	1
Outlet	PMP94196
Area	0.01498
Width	4.1120
% Slope	0.28411
% Imperv	100
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.15
Dstore-Imperv	0.635
Dstore-Perv	5.08
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Percent of impervious area (%)	

Property	Value
Curve Number	80
Conductivity	0.5
Drying Time	7
SCS runoff curve number	

Ilustración 40. Ejemplo información áreas.

De: SWMM

Con el objetivo de realizar una verificación final a las características físicas del alcantarillado existente se implementó el programa ANVI REDES el cual permite validar de manera más clara los parámetros que conforman los tramos y estructuras de la red de alcantarillado pluvial existente.

9. Se asignan condiciones de frontera:

Teniendo en cuenta que se desea evaluar los beneficios que representaría la implementación de SUDS para la disminución del caudal pico durante la ocurrencia de eventos críticos, se desea que la modelación se realice con la condición de que el colector principal se encuentre trabajando en su máxima capacidad. Según lo establecido en la norma NS - 085, el estado crítico del colector se encuentra cuando este se encuentra al 80% de su capacidad máxima, esto se establece *numeral h del capítulo 4.3.1.3.2* en el cual se indica “...*el tiempo de tránsito de debe estimar utilizando el método de velocidad de SCS, a partir de la velocidad en los conductos cerrados o abiertos dentro del a cuenca, considerando una profundidad del agua igual al 80% de la profundidad máxima en caso de conductos cerrados...*” (EAAB, 2020).

Teniendo en cuenta que se conocen las dimensiones y características física del sistema tales como la pendiente, rugosidad y diámetro de cada uno de los conductos. A partir de estas encontrara el caudal máximo del tramo principal implementando la ecuación de Manning expresada en la Ecuación 2.

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

*Ecuación 2 - Ecuación de velocidad de Manning,*

Esto sabiendo que el radio hidráulico para una sección circular depende de los siguientes parámetros:

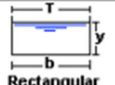



Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$

Ilustración 41. Radio hidráulico para diferentes secciones transversales.

De: Wikipedia

Donde:

$$\theta = 2 * \text{Arcos}(1 - \frac{2h}{D})$$

Ecuación 3 - Angulo para lámina de agua se una sección circular.

Se procede a definir que en la condición en la cual el conducto se encuentre al 100% de su capacidad el valor de  $\theta$  será de 180.

Realizando este procedimiento se define que el caudal máximo que puede transitar por este tramo es de 516.98 LPS, teniendo en cuenta que en las condiciones de modelación iniciales el caudal que pasa por la tubería al momento de presentarse el caudal pico es de 276.81 LPS, se determina que al tramo principal se le asignara un valor de flujo inicial de 240.17 LPS:

Junction PMP94211	
Property	Value
Name	PMP94211
X-Coordinate	992452.227
Y-Coordinate	1010412.716
Description	
Tag	EXISTENTE
Inflows	YES <span>...</span>
Treatment	NO
Invert El.	2542.16
Max. Depth	3.260000000000022
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

Click to specify any external inflows received at the junction

*Ilustración 42. Asignación de flujo base en red troncal.*

*De: SWMM*

Inflows for Node PMP94211

Direct Dry Weather RDII

Inflow = (Baseline Value) x (Baseline Pattern) +  
(Time Series Value) x (Scale Factor)

Constituent: FLOW

Baseline: 240.17

Baseline Pattern: [Blank]

Time Series: [Blank]

Scale Factor: 1.0

If Baseline or Time Series is left blank its value is 0. If Baseline Pattern is left blank its value is 1.0.

OK Cancel Help

*Ilustración 43. Asignación de flujo base en red troncal.*

*De: SWMM*

10. Diagnóstico de la red:

Una vez cargada la información mencionada anteriormente, ejecutamos el programa y verificamos las condiciones actuales del sistema de drenaje pluvial:

Link	Maximum flow LPS	Hour of Maximum Flow	Maximum Velocity m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
PLT87505	0	0:00	0	0	0
PLT87506	0	0:00	0	0	0
PLT87507	1.45	1:12	0.24	0.01	0.1
PLT87508	2.64	1:13	0.34	0.02	0.11
PLT87509	4.41	1:22	0.3	0.03	0.13
PLT87510	6.04	1:22	0.44	0.04	0.12
PLT87511	7.54	1:22	0.33	0.03	0.14
PLT87512	15.51	1:23	0.56	0.07	0.15
PLT87513	16.44	1:23	0.47	0.07	0.18
PLT87514	17.81	1:23	0.53	0.09	0.18
PLT87515	19.43	1:23	0.5	0.06	0.16
PLT87516	21.17	1:23	0.54	0.06	0.16
PLT87517	22.9	1:23	0.56	0.05	0.14
PLT87566	24.6	1:24	0.57	0.05	0.14
PLT87518	0	0:00	0	0	0.15
PLT87567	42.23	1:52	1.07	0.61	0.55
PLT86269	516.97	1:22	1.24	1	0.62
PLT86270	538.94	1:23	1.6	0.6	0.53
PLT87565	0.86	1:12	0.37	0.01	0.07
PLT87519	0.86	1:14	0.34	0.01	0.08
PLT87520	1.5	1:19	0.39	0.01	0.07
PLT87521	2.57	1:18	0.4	0.02	0.1
PLT87522	4.62	1:21	0.53	0.03	0.12
PLT87523	6.79	1:20	1.07	0.02	0.1
PLT87524	8.7	1:20	0.55	0.03	0.13
PLT87525	10.61	1:20	0.58	0.04	0.15
PLT87526	13.41	1:20	0.7	0.05	0.15
PLT86271	667.96	1:23	1.42	0.72	0.5
PLT87556	0	0:00	0	0	0
PLT87557	3.2	1:22	0.5	0.02	0.1
PLT87558	5.47	1:22	0.45	0.04	0.15
PLT87559	8.48	1:22	0.62	0.06	0.17
PLT87560	14.09	1:22	0.69	0.06	0.16
PLT87561	14.37	1:23	0.55	0.02	0.11
PLT87562	59.19	1:52	0.49	0.08	0.29
PLT87563	286.07	1:32	1.49	0.4	0.41
PLT87527	0.36	1:22	0.27	0.01	0.05
PLT87528	0.36	1:22	0.11	0	0.06
PLT87529	1.9	1:22	0.41	0.01	0.08

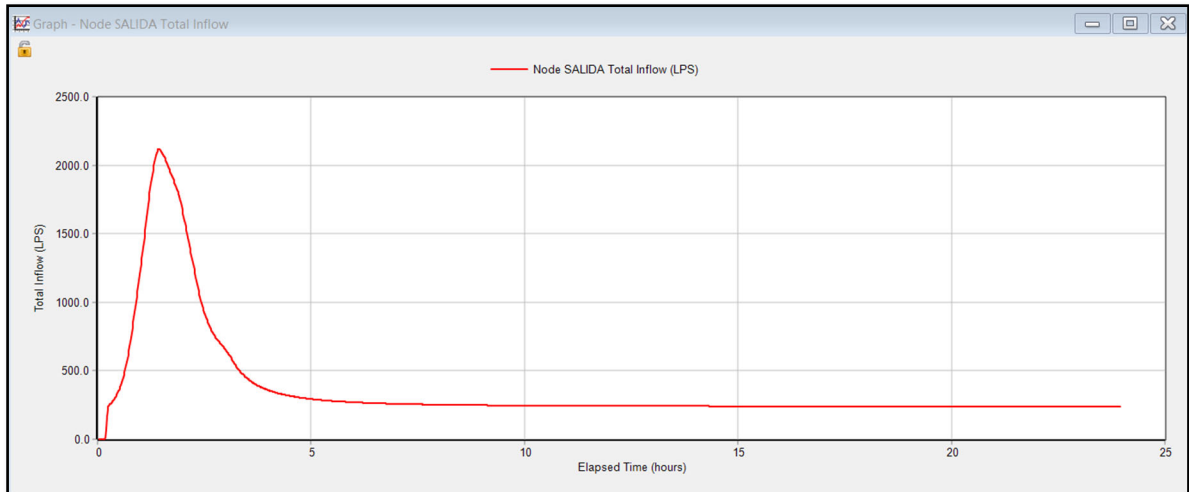


Link	Maximum flow LPS	Hour of Maximum Flow	Maximum Velocity m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
PLT87530	1.9	1:22	0.17	0.01	0.11
PLT87531	12.96	1:22	0.69	0.05	0.15
PLT87532	14.14	1:22	0.68	0.04	0.13
PLT87533	15.28	1:22	0.7	0.04	0.13
PLT87534	15.94	1:22	0.69	0.04	0.14
PLT87535	16.48	1:23	0.55	0.04	0.16
PLT87564	18.6	1:22	0.61	0.12	0.17
PLT86272	1127.02	1:23	1.29	0.47	0.45
PLT86273	1137.82	1:24	1.65	0.47	0.37
PLT86274	1.33	1:12	0.8	0.01	0.06
PLT829318	0	0:00	0	0	0
PLT829317	4.47	1:22	0.4	0.08	0.21
PLT87547	4.46	1:22	0.44	0.1	0.2
PLT110456	4.46	1:22	0.8	0.04	0.13
PLT110457	4.46	1:22	0.58	0.04	0.13
PLT829321	0.92	1:12	0.34	0	0.03
PLT829320	0.91	1:22	0.33	0	0.03
PLT829319	3.95	1:22	0.5	0.01	0.07
PLT109222	12.76	1:22	0.72	0.11	0.45
PLT109137	13.76	1:23	0.37	0.08	0.82
PLT829322	2.21	1:23	0.35	0.02	0.1
PLT829323	10.63	1:23	0.63	0.09	0.19
PLT829324	10.63	1:23	0.65	0.09	0.19
PLT109138	25.31	1:24	0.43	0.24	0.95
PLT109139	25.61	1:24	0.17	1	0.95
PLT109201	36.56	1:34	0.19	1	0.95
PLT110553	36.6	1:34	0.19	1	0.95
PLT110455	381.46	1:22	2.02	0.8	0.92
PLT110546	1522.66	1:24	1.35	0.23	0.39
PLT110547	1525.85	1:24	1.24	0.24	0.41
PLT86277	1.72	1:12	0.68	0.01	0.08
PLT110078	2.01	1:22	0.37	0.07	0.17
PLT109220	18.14	1:42	0.7	0.25	0.32
PLT110548	1606.36	1:25	1.17	0.24	0.45
PLT110076	0.82	1:13	0.26	0.02	0.09
PLT110077	6.9	1:22	0.66	0.07	0.27
PLT109221	50.77	1:22	1.03	0.6	0.66
PLT110549	1656.37	1:25	1.14	0.26	0.47
PLT54854	0	0:00	0	0	0.06
PLT55569	10.48	2:02	0.72	0.14	0.26
PLT55568	11.1	2:03	0.6	0.1	0.21
PLT55571	0	0:00	0	0	0
PLT55570	12.16	2:03	0.43	0.11	0.2
PLT55585	0	0:00	0	0	0

Link	Maximum flow LPS	Hour of Maximum Flow	Maximum Velocity m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
PLT55584	0	0:00	0	0	0
PLT55583	12.16	2:03	0.5	0.04	0.14
PLT55572	0	0:00	0	0	0
PLT55582	12.16	2:04	0.47	0.05	0.15
PLT53590	12.15	2:05	0.57	0.04	0.13
PLT54323	8.06	2:02	0.66	0.12	0.23
PLT58863	20.17	2:04	0.64	0.05	0.14
PLT58864	25.99	2:00	1.33	0.02	0.1
PLT54322	0	0:00	0	0	0
PLT54324	0	0:00	0	0	0
PLT54320	0	0:00	0	0	0
PLT54321	25.99	2:01	0.63	0.05	0.14
PLT87554	267.53	1:34	1.56	0.8	0.82
PLT110542	1914.3	1:26	1.4	0.3	0.45
PLT829328	0.36	1:12	0.26	0.01	0.05
PLT829329	0.36	1:12	0.14	0.01	0.08
PLT829331	1.35	1:12	0.21	0.03	0.14
PLT829330	3.55	1:12	0.47	0.08	0.16
PLT110589	3.55	1:13	0.69	0.03	0.13
PLT110590	4.74	1:13	0.79	0.04	0.14
PLT110075	10.68	1:22	0.88	0.01	0.06
PLT110550	2005.49	1:25	1.49	0.68	0.44
PLT110551	2011.08	1:26	1.6	0.32	0.42
PLT110586	3.86	1:22	0.65	0.03	0.14
PLT110587	6.01	1:22	0.49	0.05	0.32
PLT110588	80.67	1:22	1.77	0.7	0.61
PLT110552	2088.62	1:26	1.63	0.35	0.43

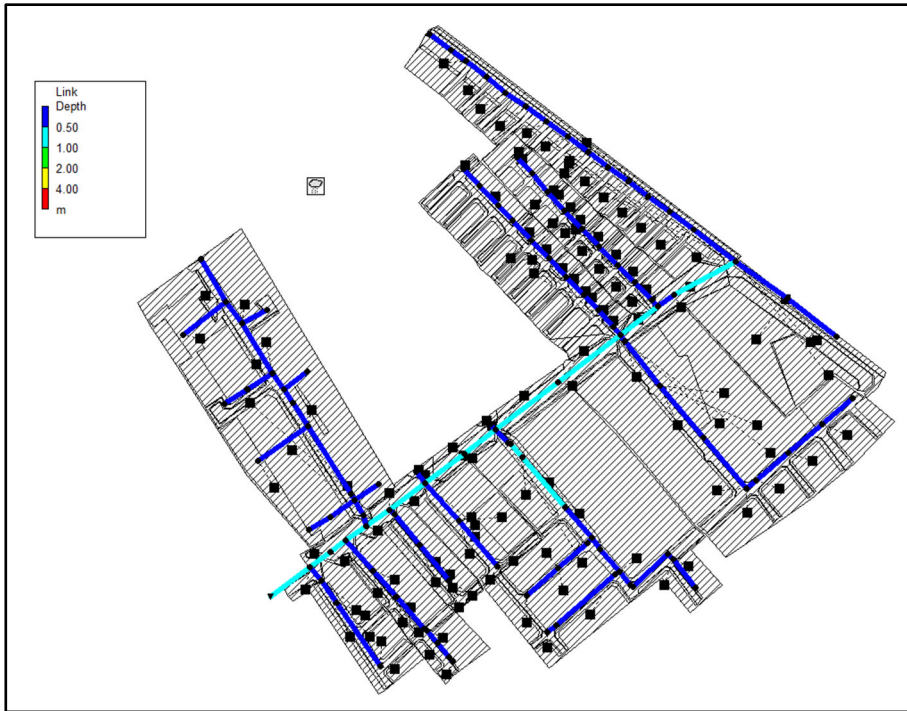
Tabla 21. Diagnóstico de la red.

Se verifica los valores de flujo total en el nodo de descarga del sistema, denominado "SALIDA", el resultado obtenido se presenta en la Ilustración 44

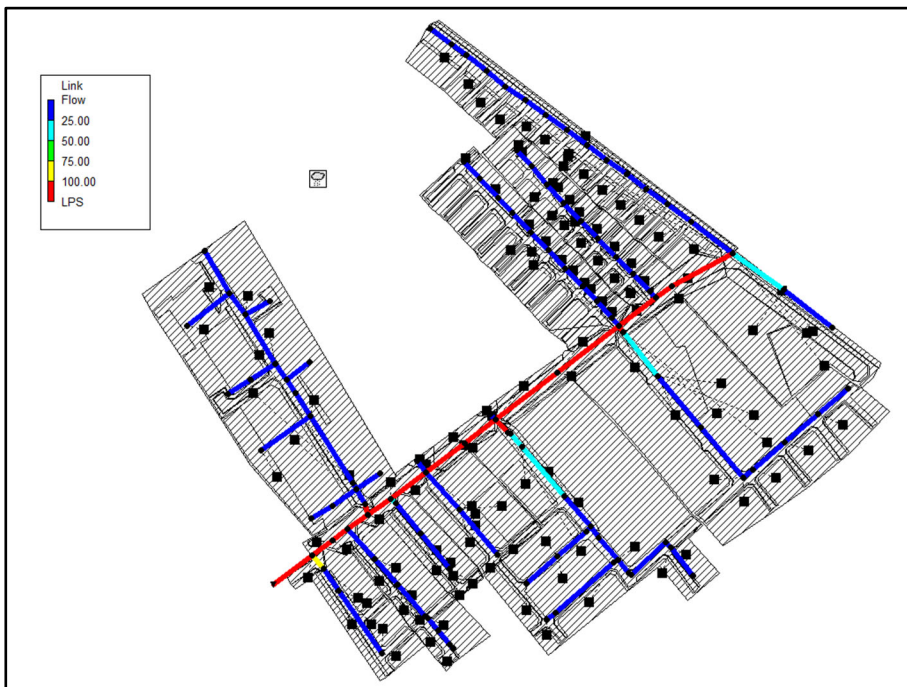


*Ilustración 44. Hietograma nodo de salida, condición existente.  
De: SWMM*

Se identifica que el caudal pico del sistema se presenta en el instante una hora veintiséis minutos (1:26) con un valor de 2141.58 LPS. Teniendo esta claridad se procede a verificar en este instante de tiempo los valores de la profundidad máxima; caudal; velocidad la cual se manifiesta en la norma NS – 085 que debe tener un valor inferior a 9 m/s para conductos cerrados en PVC; y capacidad, obteniendo los resultados presentados en siguientes ilustraciones:



*Ilustración 45. Profundidad máxima.  
De: SWMM*



*Ilustración 46. Caudal.  
De: SWMM*

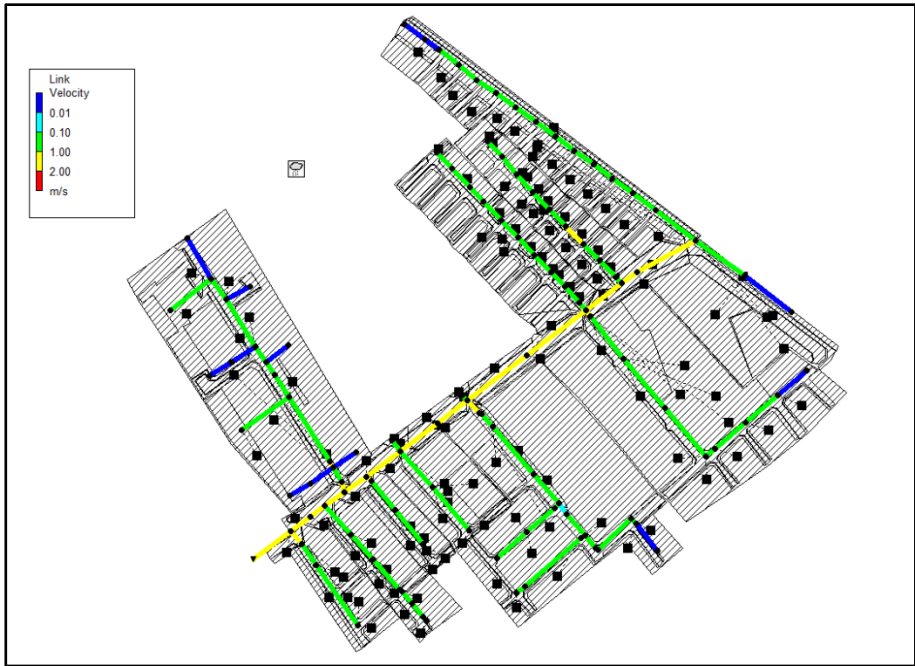


Ilustración 47. Velocidad.  
De: SWMM

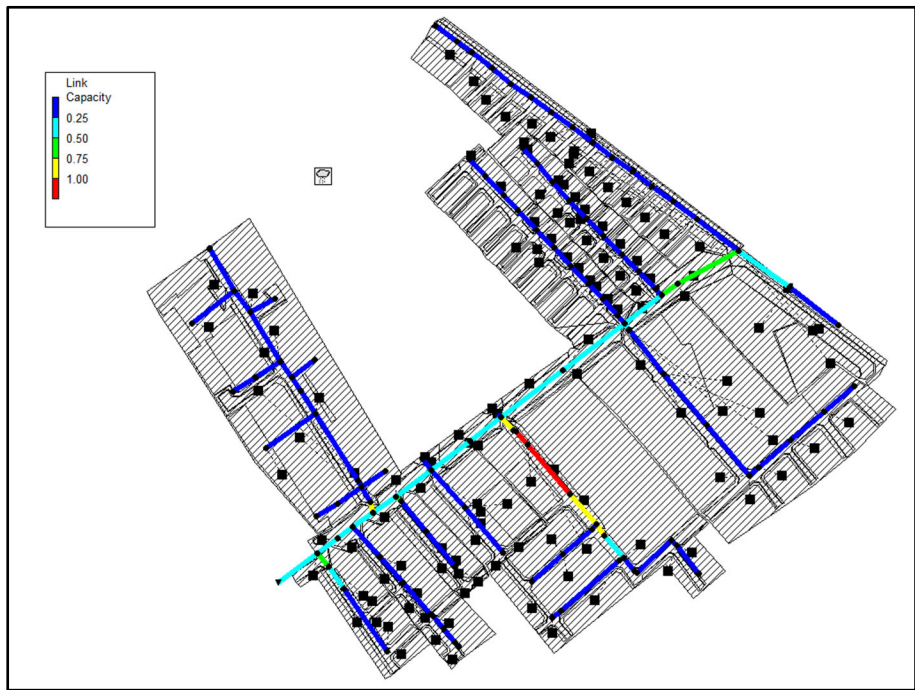


Ilustración 48. Capacidad.  
De: SWMM

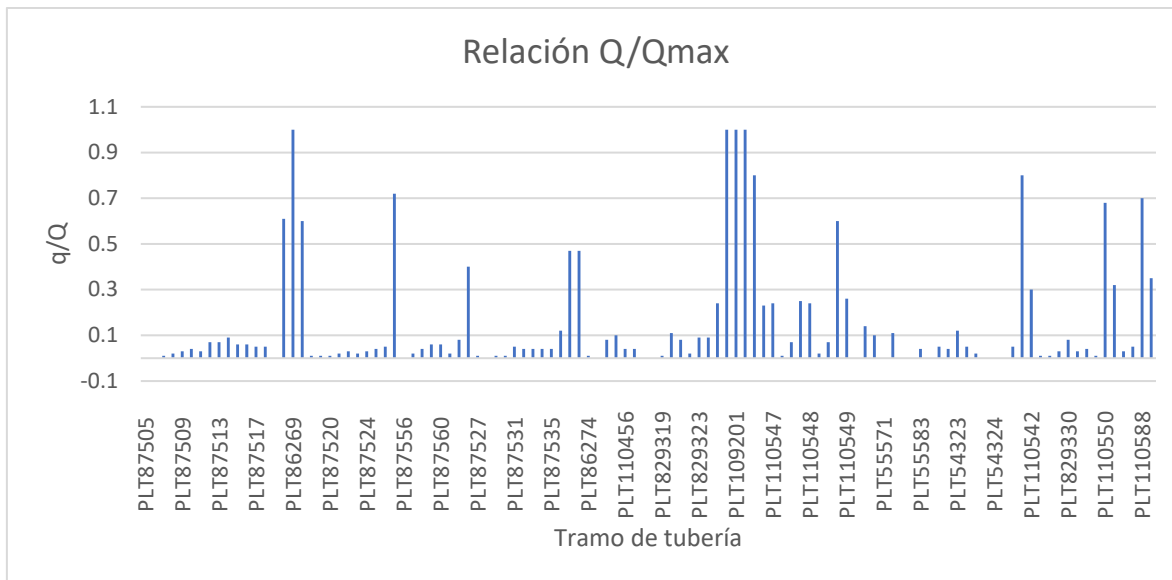


Ilustración 49. Capacidad Hidráulica.

A partir de lo presentado anteriormente se concluye que:

- El estado estructural de la red avalado a partir de información secundaria de la EAAB identifica que la red se encuentra en operación.
- La velocidad del flujo al interior de cada uno de los tramos cumple con lo establecido en la NS – 085 (valores menores a 9 m/s).
- En la Ilustración 49 se realizó la verificación de la capacidad hidráulica de los tramos que componen la red, al realizar este procedimiento se evidencia que los tramos PLT109139, PLT109201 y PLT11055 presentan una capacidad insuficiente dado que tienen valores de  $q/q_0$  mayores a 1.
- En el diagrama realizado se puede analizar que el colector principal, bajo las condiciones establecidas, puede transportar el caudal con una relación de  $q/q_0$  igual a 50%. Sin embargo, recientemente han ocurrido eventos extraordinarios, los cuales han ocasionado que el colector haya superado su capacidad y que no fue contenido en el análisis de tormenta, suministrado por la EAAB en la norma técnica NS-085, con el que se realiza este análisis. Razón por la cual se contemplan la aplicación de tipologías de SUDS como alternativa para atender esta problemática.

### 3.4. FASE IV SELECCIÓN DE TIPOLOGÍAS DE SUDS

Durante esta fase, una vez son caracterizados todos los espacios y estructuras que comprenden la red en la zona de estudio, se definirán aquellas tipologías establecidas en la norma NS – 166 versión 0.1 y que a su vez se encuentren inmersas en el programa, teniendo en cuenta los espacios disponibles en las zonas de intervención con el objetivo de brindar alivio al sistema de alcantarillado pluvial existente.

Teniendo esto en cuenta y realizando un recorrido virtual por cada uno de los tramos que componen la zona de estudio, realizamos un filtro inicial de los espacios disponibles para la implementación de tipologías, como podemos evidenciar en la Tabla 22. Adicionalmente en la Ilustración 50 se indica la ubicación de cada uno de los tramos en el área de estudio para brindar mayor entendimiento de la localización de las tipologías.

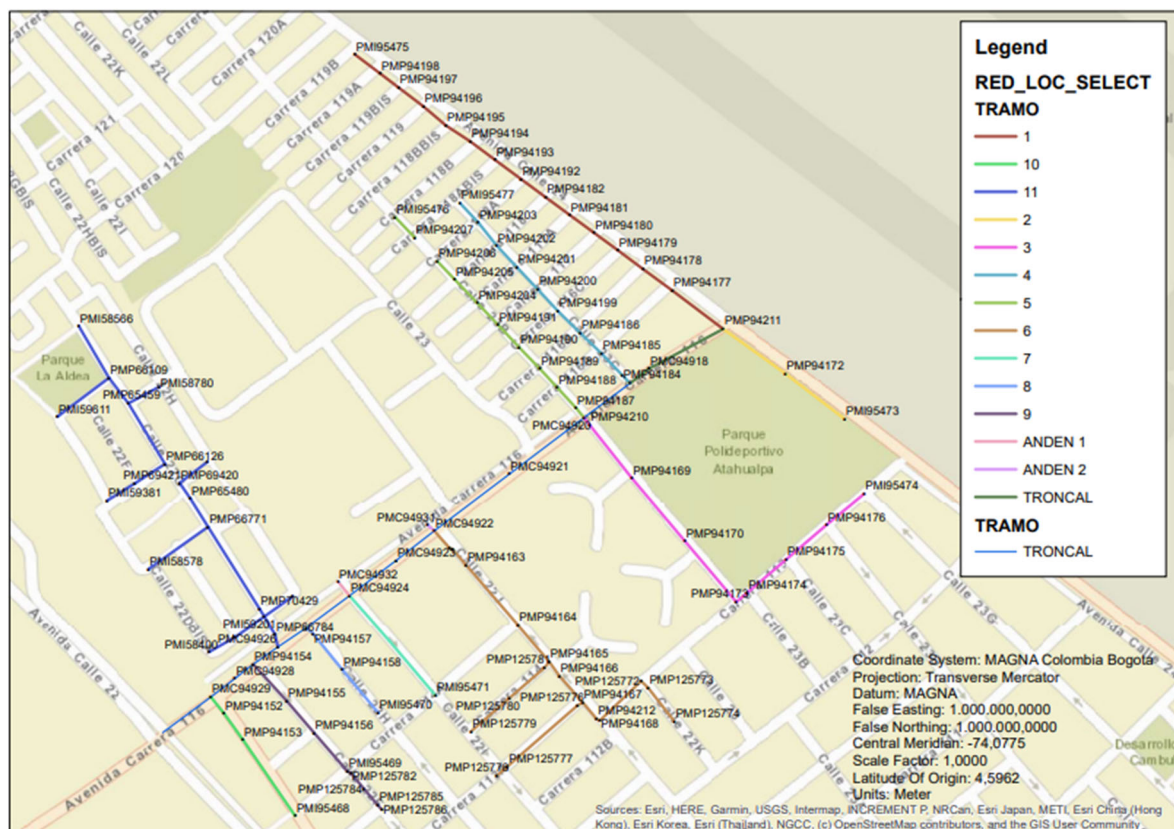


Ilustración 50. Ubicación Tramos






Imagen	Ubicación	Descripción.	
 <p data-bbox="380 625 695 653"><i>Ilustración 51. Inicio Tramo 1.</i></p>	<p data-bbox="862 814 1008 926">Av Calle 24 entre carrera 116 y 119<sup>a</sup>.</p>	<p data-bbox="1036 730 1383 1003">Se puede evidenciar poco espacio de zona verde disponible, con gran campo sin intervenir, actualmente en afirmado, el cual es un espacio potencialmente disponible para la implementación de SUDS.</p>	
 <p data-bbox="380 1060 695 1087"><i>Ilustración 52. Mitad Tramo 1.</i></p>			
 <p data-bbox="380 1451 695 1478"><i>Ilustración 53. Final Tramo 1</i></p>			



Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="380 636 695 663"><i>Ilustración 54. Inicio Tramo 2.</i></p>	<p data-bbox="865 630 1008 737">Av Calle 24 entre carrera 116 y 113.</p>	<ul data-bbox="1133 289 1386 1108" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1133 289 1386 957">• Se puede evidenciar calzada totalmente El estado estructural de la red avalado a partir de información secundaria de la EAAB identifica que la red se encuentra en operación.</li> <li data-bbox="1133 982 1386 1108">• La velocidad del flujo al interior de cada</li> </ul>
 <p data-bbox="380 1081 695 1108"><i>Ilustración 55. Mitad Tramo 2.</i></p>		



*Ilustración 56. Final Tramo 2.*

uno de los tramos cumple con lo establecido en la NS – 085 (valores menores a 9 m/s).

- En la Ilustración 49 se realizó la verificación de la capacidad hidráulica de los tramos que componen la red, al realizar este procedimiento se evidencia que los tramos PLT109139, PLT109201 y PLT11055 presentan una capacidad insuficiente dado que tienen valores de  $q/q_0$  mayores a 1.
- En el diagrama realizado se puede analizar

		<p>que el colector principal, bajo las condiciones establecidas, puede transportar el caudal con una relación de <math>q/q_0</math> igual a 50%. Sin embargo, recientemente han ocurrido eventos extraordinarios, los cuales han ocasionado que el colector haya superado su capacidad y que no fue contenido en el análisis de tormenta, suministrado por la EAAB en la norma técnica NS-085, con el que se realiza este análisis. Razón por la cual se contemplan la aplicación de</p>
--	--	--



Imagen	Ubicación	Descripción.
		<p>tipologías de SUDS como alternativa para atender esta problemática.</p> <p>e construida sin espacio público (andenes) disponible con un área verde significativa, la cual es una posible zona de implementación de SUDS.</p>
 <p data-bbox="380 1192 695 1220"><i>Ilustración 57. Inicio Tramo 3.</i></p>	<p data-bbox="873 1150 1003 1297">Carrera 113 entre calle 23b y calle 23d.</p>	<p data-bbox="1036 1066 1383 1381">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, con poza zona verde disponible, y en general con pocas áreas disponibles para la implementación de SUDS.</p>
 <p data-bbox="380 1570 695 1598"><i>Ilustración 58. Mitad Tramo 3.</i></p>		


Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="383 596 691 625"><i>Ilustración 59. Mitad tramo 3.</i></p>	<p data-bbox="867 575 1008 722">Calle 23b entre carrera 116 y carrera 113.</p>	<p data-bbox="1036 491 1383 806">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, con poza zona verde disponible, y en general con pocas áreas disponibles para la implementación de SUDS.</p>
 <p data-bbox="383 1010 691 1039"><i>Ilustración 60. Final tramo 3.</i></p>		
 <p data-bbox="383 1415 691 1444"><i>Ilustración 61. Inicio Tramo 4.</i></p>	<p data-bbox="867 1394 1008 1541">Calle 23C entre carrera 118 A bis y Carrera 116.</p>	<p data-bbox="1036 1310 1383 1625">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, sin presencia de zona verde o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>
 <p data-bbox="383 1829 691 1858"><i>Ilustración 62. Mitad tramo 4.</i></p>		

Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="381 594 691 621"><i>Ilustración 63. Final Tramo 4.</i></p>		
 <p data-bbox="381 1003 691 1031"><i>Ilustración 64. Inicio Tramo 5.</i></p>		
 <p data-bbox="381 1442 691 1470"><i>Ilustración 65. Mitad tramo 5.</i></p>	<p data-bbox="865 1184 1010 1331">Calle 23b entre carrera 116 y carrera 118b.</p>	<p data-bbox="1036 1100 1383 1415">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, sin presencia de zona verde o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>
 <p data-bbox="381 1827 691 1854"><i>Ilustración 66. Final Tramo 5.</i></p>		




Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="380 621 695 646"><i>Ilustración 67. Inicio Tramo 6.</i></p>	<p data-bbox="867 821 1008 968">Calle 22j entre carrera 116 y carrera 112.</p>	<p data-bbox="1036 737 1383 1052">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, con poca presencia de zona verde y/o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>
 <p data-bbox="380 1062 695 1087"><i>Ilustración 68. Mitad tramo 6.</i></p>		
 <p data-bbox="380 1503 695 1528"><i>Ilustración 69. Final tramo 6.</i></p>		

Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="380 596 695 625"><i>Ilustración 70. Inicio Tramo 7.</i></p>	<p data-bbox="863 562 1011 709">Calle 22i entre carrera 116 y carrera 114a.</p>	<p data-bbox="1036 478 1383 793">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, con poza zona verde disponible, y en general con pocas áreas disponibles para la implementación de SUDS.</p>
 <p data-bbox="386 989 688 1018"><i>Ilustración 71. Final tramo 7.</i></p>		
 <p data-bbox="383 1457 691 1486"><i>Ilustración 72. Inicio tramo 8.</i></p>	<p data-bbox="867 1199 1011 1346">Calle 22h entre carrera 116 y carrera 114a.</p>	<p data-bbox="1036 1115 1383 1430">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, sin presencia de zona verde o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>







Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="386 674 690 705"><i>Ilustración 73. Final tramo 8.</i></p>		
 <p data-bbox="386 1058 690 1089"><i>Ilustración 74. Inicio tramo 9.</i></p>		
 <p data-bbox="386 1444 690 1476"><i>Ilustración 75. Mitad Tramo 9.</i></p>	<p data-bbox="867 1226 1008 1377">Calle 22f entre carrera 116 y carrera 114.</p>	<p data-bbox="1036 1146 1383 1461">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, sin presencia de zona verde o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>
 <p data-bbox="386 1831 690 1862"><i>Ilustración 76. Final tramo 9.</i></p>		

Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="375 575 699 604"><i>Ilustración 77. Inicio tramo 10.</i></p>	<p data-bbox="867 554 1008 701">Calle 22d bis entre carrera 116 y carrera 114a.</p>	<p data-bbox="1036 470 1386 785">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, sin presencia de zona verde o espacio disponible para la implementación de alguna tipología.</p>
 <p data-bbox="375 968 699 997"><i>Ilustración 78. Final tramo 10.</i></p>		
 <p data-bbox="358 1394 716 1423"><i>Ilustración 79. inicio del tramo 11.</i></p>	<p data-bbox="867 1157 1008 1304">Calle 22G bis entre carrera 116 y carrera 119ª.</p>	<p data-bbox="1036 1073 1377 1388">Se puede evidenciar la zona totalmente construida en general en buen estado, con espacio público y calzada definidos, con poza zona verde disponible, y en general con pocas áreas disponibles para la implementación de SUDS</p>




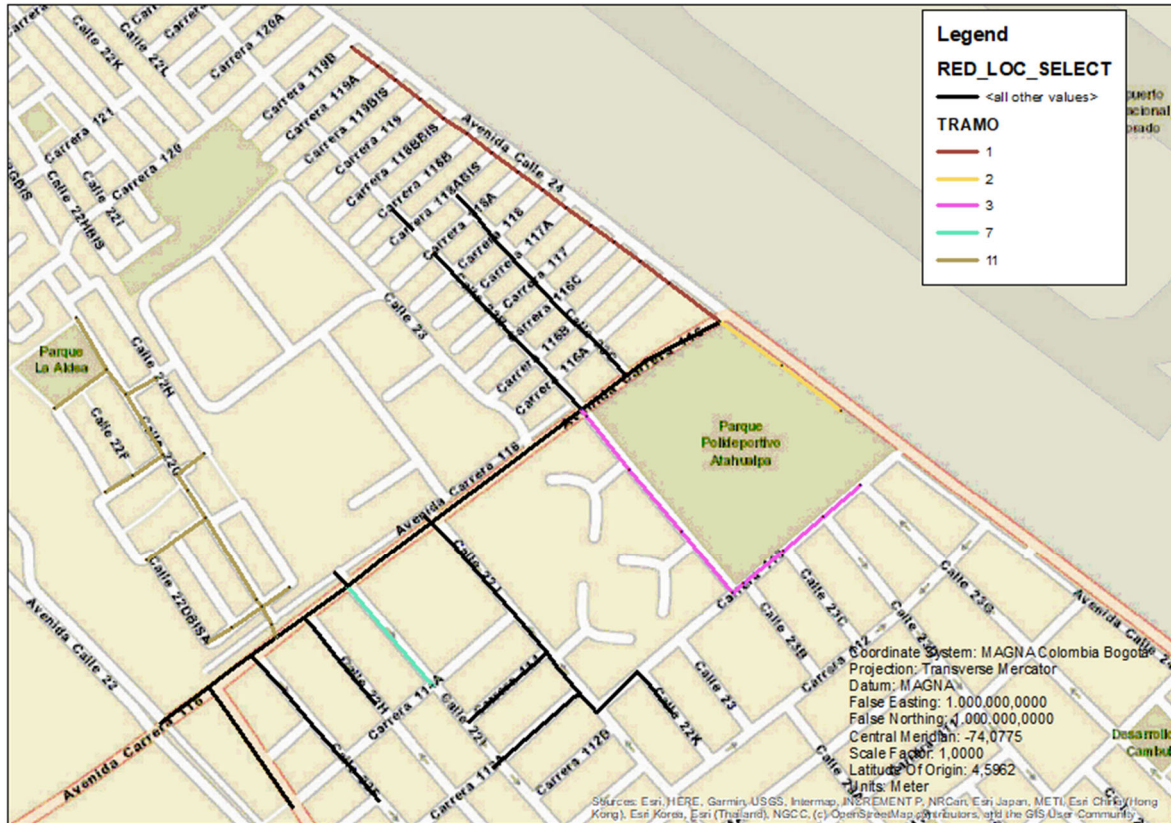
Imagen	Ubicación	Descripción.
 <p data-bbox="355 663 719 695"><i>Ilustración 80. Mitad del tramo 11.</i></p>		
 <p data-bbox="355 1152 719 1184"><i>Ilustración 81. Mitad del tramo 11.</i></p>		
 <p data-bbox="378 1623 696 1654"><i>Ilustración 82. Final tramo 11.</i></p>		

Tabla 22. Disponibilidad de espacio en los tramos.

A partir de las descripciones realizadas a cada uno de los tramos que componen la zona de estudio se logra concluir que los tramos con espacio disponible para la implementación de SUDS corresponden a; el tramo 1; en los espacios donde no existe vía intervenida y se

encuentran grandes espacios en afirmado, el tramo 2; donde logramos encontrar zonas verdes amplias y disponibles, tramo 3, 7 y 11; donde encontramos algunas zonas verdes con individuos arbóreos que pueden ser utilizados en alguna tipología, y zonas puntuales sobre la carrera 116 donde se encuentra el colector principal.



*Ilustración 83. Tamos donde es posible implementar*

Una vez identificadas las zonas con espacios disponibles, es posible establecer que tipologías son adecuadas para dichos espacios, y a su vez se pueden plasmar en la modelación mediante el programa SWWM. Entre estas se identificaron alcorques inundables, pavimentos porosos, zanjas de infiltración y cunetas verdes, las cuales fueron definidas en el capítulo 2.

### **3.4.1. Parámetros de pre-dimensionamiento.**

A continuación, se definirán cada uno de los parámetros establecidos en el programa para el pre-dimensionamiento de las tipologías definidas. Los valores escogidos en cada uno de

los casos, depende de la definición del parámetro, del valor recomendado por la norma y de los coeficientes establecidos en la Tabla 23 extraída del manual del programa.

Soil Texture Class	K	$\psi$	$\phi$	FC	WP
Sand	4,74	1,93	0,437	0,062	0,024
Loamy Sand	1,18	2,4	0,437	0,105	0,047
Sandy Loam	0,43	4,33	0,453	0,19	0,085
Loam	0,13	3,5	0,463	0,232	0,116
Slit Loam	0,26	6,69	0,501	0,284	0,135
Sandy Clay Loam	0,06	8,66	0,398	0,244	0,136
Clay Loam	0,04	8,27	0,464	0,31	0,187
Silty Clay Loam	0,04	10,63	0,471	0,342	0,21
Sandy Clay	0,02	9,45	0,43	0,321	0,221
Silty Clay	0,02	11,42	0,479	0,371	0,251
Clay Loam	0,01	12,6	0,475	0,378	0,265

Tabla 23. Características del suelo De Manual SWWM v5.1

Donde:

PARAMETRO	DEFINITION	DEFINICION	UNIDAD
k	hydraulic conductivity	conductividad hidráulica	in / hr
$\psi$	suction head	cabza de succión	in
$\phi$	porosity	Porosidad	fracción
FC	field capacity	capacidad de campo	fracción
WP	wilting point	punto de marchitamiento	fracción

Tabla 24. Definición de parámetros del suelo. De: Manual SWMM v5.1

Adicionalmente para los casos en los que se requería establecer la tasa de infiltración se tuvo en cuenta la Ilustración 84 correspondiente al mapa de permeabilidad saturada establecido en la norma NS - 166 de la EAAB.

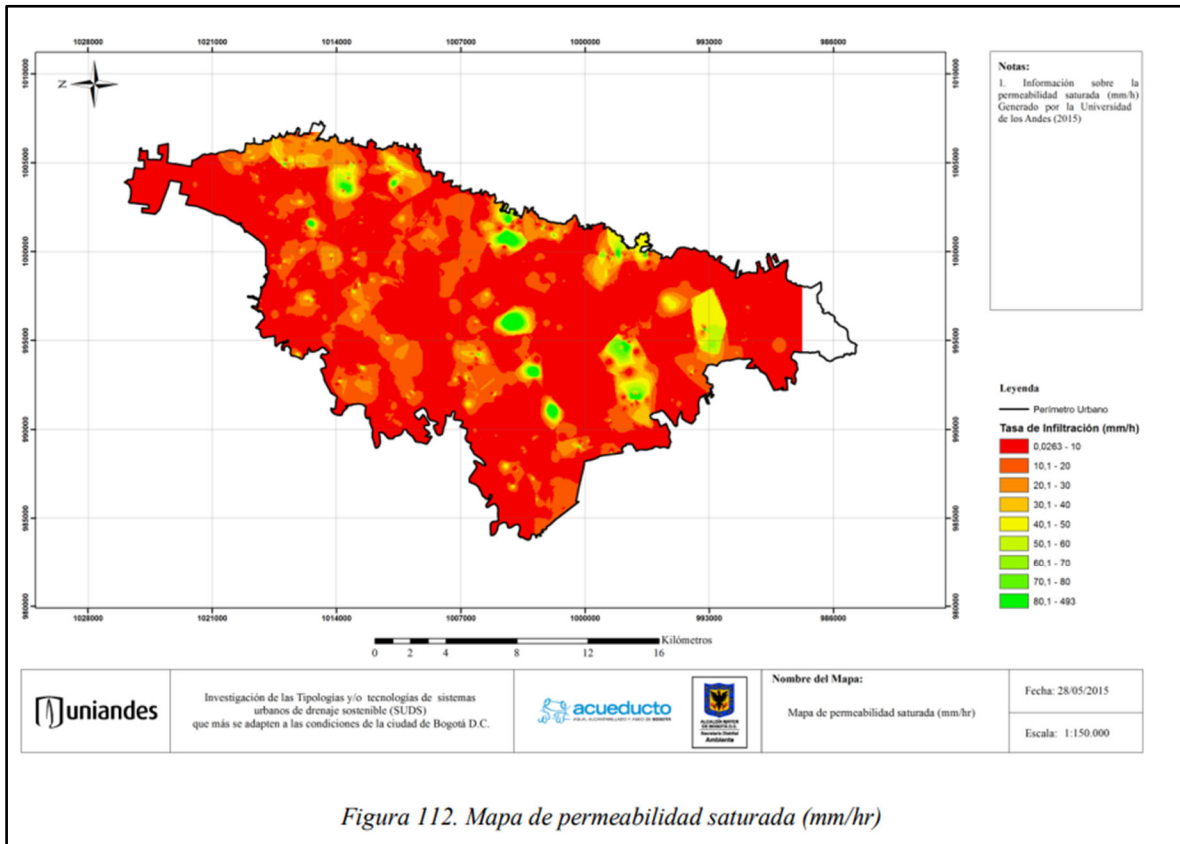


Figura 112. Mapa de permeabilidad saturada (mm/hr)

Ilustración 84. Tasa de infiltración en Bogotá De norma NS - 166.

### 3.4.1.1. Alcorques inundables.

Se realiza la comparación de los parámetros de dimensionamiento establecidos en el producto 3 de la Norma NS 166, correspondiente a la guía técnica de diseño y construcción de SUDS, y los definidos en el manual de usuario de programa SWMM V5.1; correlacionado cuales se encuentran en ambos documentos, como se evidencia en la Tabla 25.

COMPARACIÓN PARAMETROS DE ALCORQUES			
PARAMETROS NS 166	NS 166	SWMM V5.1	PARAMETROS SWMM
Área tributaria (Ad)	X	X	Subcuencas
Coeficiente de escorrentía (C)	X	X	Numero de curva
Profundidad de lluvia (hp)	X		N/A
N/A		X	Lluvia característica
Profundidad del sustrato	X	X	Espesor de suelo
Permeabilidad del sustrato	X		N/A
Porosidad efectiva del sustrato	X	X	Porosidad

<b>COMPARACIÓN PARAMETROS DE ALCORQUES</b>			
<b>PARAMETROS NS 166</b>	<b>NS 166</b>	<b>SWMM V5.1</b>	<b>PARAMETROS SWMM</b>
Área superficial de la parte superior del sustrato	X	X	Área por tipología
Área superficial de la parte más baja del área de encharcamiento	X		N/A
Área superficial a la máxima profundidad de encharcamiento	X		N/A
Máxima profundidad de encharcamiento	X	X	Altura de la berma
Diámetro de tubería perforada	X		N/A
Profundidad de la capa de grava	X		N/A
Profundidad de la capa de drenaje sobre la tubería	X		N/A
Profundidad de la capa de drenaje bajo la tubería	X		N/A
N/A		X	Pendiente de conductividad
N/A		X	Cabeza de succión
N/A		X	Punto de marchitamiento
N/A		X	Capacidad de campo
N/A		X	Pendiente superficial
N/A		X	Rugosidad superficial
N/A		X	Volumen de vegetación
Tasa de infiltración del suelo	X	X	Conductividad

*Tabla 25. Comparación de parámetros de dimensionamiento de alcorques inundables.*

Teniendo en cuenta que llevara a cabo la modelación en el programa SWMM V5.1, se toma la determinación de implementar los parámetros establecidos en el manual de usuario. En el caso de Alcorques inundables, para el dimensionamiento de esta tipología se dividen en dos componentes superficie y suelo como podemos observar en la Ilustración 85 e Ilustración 86, para cada uno de ellos se definirá su concepto y valor en la Tabla 26.

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Altura de la berma (Berm Height)	Superficie	Cuando hay muros de confinamiento o bermas, es la profundidad máxima a la que puede estancarse el agua por encima de la superficie de la unidad antes de que se produzca el desbordamiento (en pulgadas o mm)	N/A	450 mm
Volumen de vegetación (Vegetation Volume)	Superficie	La fracción del volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación. Se trata del volumen ocupado por tallos y hojas, no su superficie de cobertura.	0.1 – 0.2	0.1
Rugosidad Superficial	Superficie	N de Manning para el flujo superficial sobre	N/A	Valor Escogido según superficie



<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
(Surface Roughness)		la cubierta del suelo, el pavimento, la superficie del tejado o la zanja vegetal.		en este caso de césped fue 0,15
Pendiente superficial (Surface Slope)	Superficie	Pendiente de una superficie de tejado, pavimento o canal vegetal (porcentaje)	N/A	Valor escogido según la pendiente del tramo donde se realizará la implementación.
Espesor (Thickness)	Suelo	El grosor de la capa de suelo (pulgadas o mm).	450 -900mm	450mm
Porosidad (Porosity)	Suelo	Volumen del espacio poroso en relación con el volumen total del suelo	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Capacidad de campo (Field Capacity)	Suelo	Volumen de agua de poros en relación con el volumen total una vez que se ha permitido que el suelo drene	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
		completamente (como una fracción). Por debajo de este nivel, no se produce el drenaje vertical del agua a través de la capa de suelo.		
Punto de marchitamiento (Wilting Point)	Suelo	Volumen de agua de poros en relación con el volumen total para un suelo bien seco en el que sólo queda agua ligada (en forma de fracción). El contenido de humedad del suelo no puede ser inferior a este límite.	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Conductividad (Conductivity)	Suelo	Conductividad hidráulica del suelo totalmente saturado (pulg./h o mm./h).	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Pendiente de conductividad	Suelo	Pendiente de la curva de	30-60	40

Parámetro	Componente.	Definición	Valor recomendado	Valor Seleccionado
(Conductivity Slope)		log(conductividad) frente al contenido de humedad del suelo adimensional).		
Cabeza de succión (Suction Head)	Suelo	Valor medio de la succión capilar del suelo a lo largo del frente de humectación (pulgadas o mm).	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.

Tabla 26. Parámetros de dimensionamiento de Alcorques inundables.

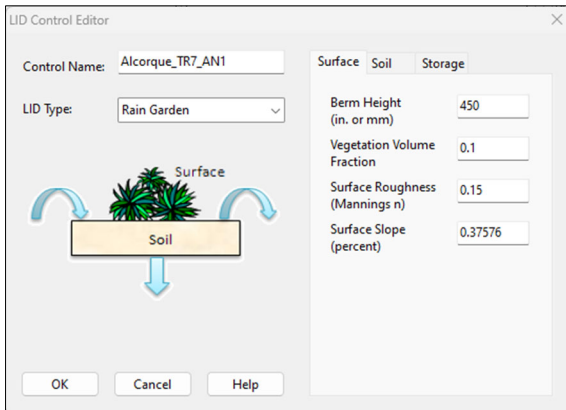


Ilustración 85. Parámetros de superficie para alcorques inundables  
De: SWWM.

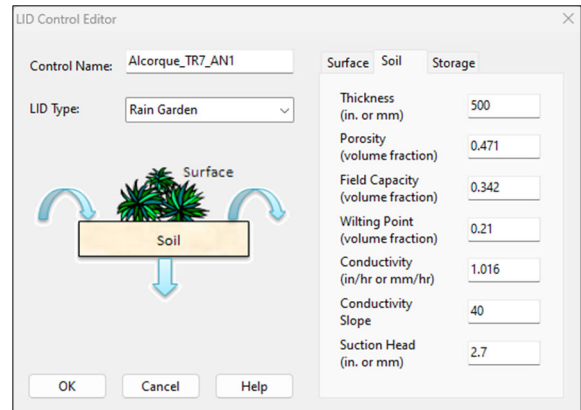


Ilustración 86. Parámetros de suelo para alcorques inundables.  
De: SWWM

### 3.4.1.2. Zanjas de infiltración.

Se realiza la comparación de los parámetros de dimensionamiento establecidos en el producto 3 de la Norma NS 166, correspondiente a la guía técnica de diseño y construcción de SUDS, y los definidos en el manual de usuario de programa SWMM V5.1; correlacionado cuales se encuentran en ambos documentos, como se evidencia en la Tabla 26.

COMPARACIÓN PARAMETROS DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN			
PARAMETROS NS 166	NS 166	SWMM V5.1	PARAMETROS SWMM
Área tributaria (Ad)	X	X	Subcuencas
Coefficiente de escorrentía (C)	X	X	Numero de curva
Profundidad de lluvia (hp)	X		N/A
Tasa de infiltración	X	X	Tasa de infiltración
Tiempo de drenaje	X		N/A
Porosidad del reservorio	X	X	Relación de vacíos
Profundidad final de la zanja	X		Espesor de almacenamiento
N/A		X	Factor de obstrucción
N/A		X	Altura de berma
N/A		X	Volumen de vegetación
N/A		X	Rugosidad superficial
N/A		X	Pendiente superficial
N/A		X	Coefficiente de flujo
N/A		X	Exponente de flujo de flujo
N/A		X	Desplazamiento

Tabla 27. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Zanjas de Infiltración.

Teniendo en cuenta que llevara a cabo la modelación en el programa SWMM V5.1, se toma la determinación de implementar los parámetros establecidos en el manual de usuario. En el caso de Zanjas de infiltración, para el dimensionamiento de esta tipología se dividen en tres componentes: Superficie, almacenamiento y drenaje, como podemos observar en la Ilustración 87, Ilustración 88 e Ilustración 89. Y cada uno de ellos se definirá su concepto y valor en la Tabla 28.

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Altura de berma (Berm Height)	Superficie	Cuando hay muros de confinamiento o bermas, es la profundidad máxima a la que puede estancarse el agua por encima de la superficie de la unidad antes de que se produzca el desbordamiento (en pulgadas o mm)	N/A	450 mm
Volumen de vegetación (Vegetation Volume)	Superficie	La fracción del volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación. Se trata del volumen ocupado por tallos y hojas, no su superficie de cobertura.	0.1 – 0.2	0.1
Rugosidad superficial	Superficie	N de Manning para el flujo superficial sobre	N/A	Valor Escogido según superficie

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
(Surface Roughness)		la cubierta del suelo, el pavimento, la superficie del tejado o la zanja vegetal.		en este caso de césped fue 0,15
Pendiente superficial (Surface Slope)	Superficie	Pendiente de una superficie de tejado, pavimento o canal vegetal (porcentaje)	N/A	Valor escogido según la pendiente del tramo donde se realizará la implementación.
Espesor (Thickness)	Suelo	El grosor de la capa de suelo (pulgadas o mm).	450 -900mm	450mm
Índice de vacío (Void Ratio)	Almacenamiento	El volumen de espacio vacío en relación con el volumen de sólidos en la capa	porosity = void ratio / (1 + void ratio)	0,8886
Tasa de filtración (Seepage Rate)	Almacenamiento	La velocidad a la que el agua se filtra en el suelo nativo por debajo de la capa (en pulgadas/hora o mm/hora).	No existe valor recomendado, pero se tuvo en cuenta la Ilustración 84	22

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Factor de obstrucción (Clogging Factor)	Almacenamiento	Volumen total de escorrentía tratada que se necesita para obstruir completamente el fondo de la capa dividido por el volumen vacío de la capa.	0	0
Coefficiente de flujo (Flow coefficients)	Drenaje	Coefficiente de flujo de aguas subterráneas	N/A	1.86
Exponente d flujo (Flow exponent)	Drenaje	medida relativa de su eficiencia para permitir el flujo de fluidos	N/A	0.5

*Tabla 28. Parámetros de dimensionamiento para zanjas de infiltración.*

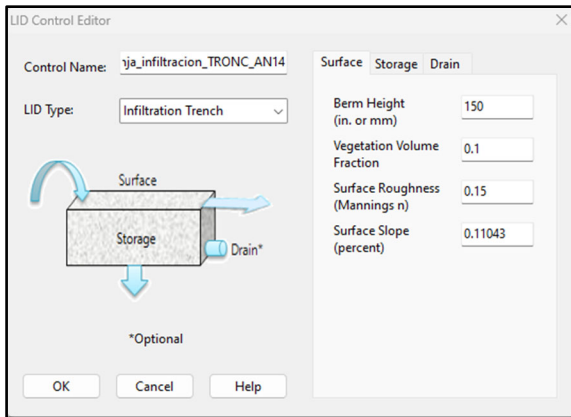


Ilustración 87. Parámetros de superficie para zanjas de infiltración.

De: SWWM

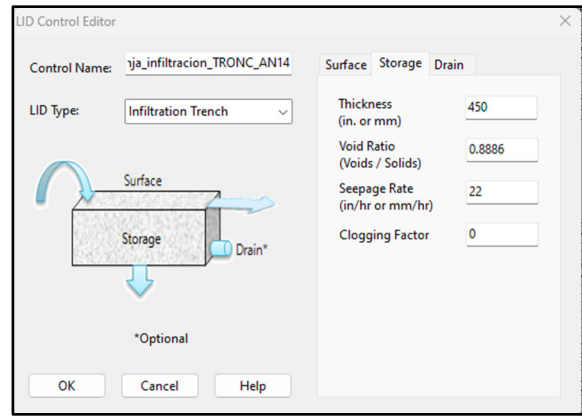


Ilustración 88. Parámetros de almacenamiento para zanjas de infiltración.

De: SWWM

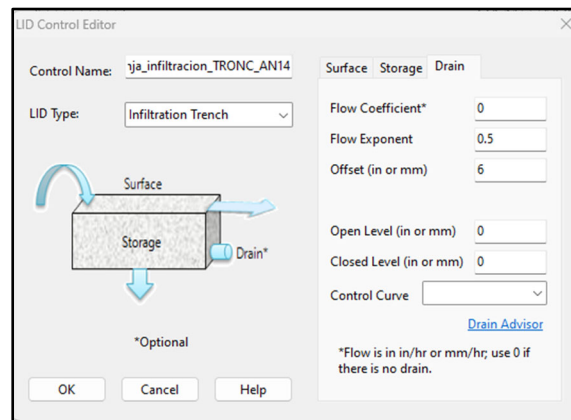


Ilustración 89. Parámetros de drenaje para zanjas de infiltración.

De: SWWM.

### 3.4.1.3. Pavimentos porosos.



Se realiza la comparación de los parámetros de dimensionamiento establecidos en el producto 3 de la Norma NS 166, correspondiente a la guía técnica de diseño y construcción de SUDS, y los definidos en el manual de usuario de programa SWMM V5.1; correlacionado cuales se encuentran en ambos documentos, como se evidencia en la Tabla 29.

<b>COMPARACIÓN PARAMETROS DE PAVIMENTOS POROSOS</b>			
<b>PARAMETROS NS 166</b>	<b>NS 166</b>	<b>SWMM V5.1</b>	<b>PARAMETROS SWMM</b>
Área tributaria (Ad)	X	X	Subcuencas
Coefficiente de escorrentía (C)	X	X	Numero de curva
Profundidad de lluvia (hp)	X		N/A
Área del pavimento permeable	X	X	Área por unidad
Profundidad del reservorio	X	X	Espesor de suelo
Porosidad	X	X	Porosidad
Pendiente del terreno	X	X	Pendiente de subcuenca
Pendiente en la base del reservorio	X	X	Pendiente de superficie
Distancia en la elevación más baja al volumen de almacenamiento	X	X	Espesor de almacenamiento
N/A		X	Cabeza de succión
N/A		X	Punto de marchitamiento
N/A		X	Capacidad de campo
N/A		X	Pendiente de Conductividad
N/A		X	Conductividad
N/A		X	Relación de vacíos
N/A		X	Factor de obstrucción del suelo
N/A		X	Tasa de infiltración
N/A		X	Altura de la berma
N/A		X	Volumen de vegetación
N/A		X	Rugosidad superficial

COMPARACIÓN PARAMETROS DE PAVIMENTOS POROSOS			
PARAMETROS NS 166	NS 166	SWMM V5.1	PARAMETROS SWMM
N/A		X	Coefficiente de flujo
N/A		X	Exponente de flujo de flujo
N/A		X	Desplazamiento
N/A		X	Altura de pavimento
N/A		X	Relación de vacíos
N/A		X	Fracción de la superficie impermeable
N/A		X	Permeabilidad
N/A		X	Factor de obstrucción del pavimento
N/A		X	Intervalo de regeneración
N/A		X	Fracción de regeneración

Tabla 29. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Pavimentos Porosos

Teniendo en cuenta que llevara a cabo la modelación en el programa SWMM V5.1, se toma la determinación de implementar los parámetros establecidos en el manual de usuario. En el caso de Pavimentos Porosos, para el dimensionamiento de esta tipología se dividen en cinco componentes superficie almacenamiento, suelo, pavimento y drenaje, como podemos observar de la Ilustración 90 y la Ilustración 94 . Y cada uno de ellos se definirá su concepto y valor en la Tabla 30.

Parámetro	Componente.	Definición	Valor recomendado	Valor Seleccionado
Altura de berma (Berm Height)	Superficie	Cuando hay muros de confinamiento o bermas, es la profundidad máxima a la que puede estancarse el agua por encima de la superficie	N/A	150 mm

Parámetro	Componente.	Definición	Valor recomendado	Valor Seleccionado
		de la unidad antes de que se produzca el desbordamiento (en pulgadas o mm)		
Volumen de vegetación (Vegetation Volume)	Superficie	La fracción del volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación. Se trata del volumen ocupado por tallos y hojas, no su superficie de cobertura.	N/A	0
Rugosidad superficial (Surface Roughness)	Superficie	N de Manning para el flujo superficial sobre la cubierta del suelo, el pavimento, la superficie del tejado o la zanja vegetal.	N/A	Valor Escogido según superficie en este caso fue 0.013

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado o</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Pendiente superficial (Surface Slope)	Superficie	Pendiente de una superficie de tejado, pavimento o canal vegetal (porcentaje)	N/A	Valor escogido según la pendiente del tramo donde se realizará la implementación.
Espesor (Thickness)	Suelo	El grosor de la capa de suelo (pulgadas o mm).	450 - 900mm	500mm
Porosidad (Porosity)	Suelo	Volumen del espacio poroso en relación con el volumen total del suelo	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Capacidad de campo (Field Capacity)	Suelo	Volumen de agua de poros en relación con el volumen total una vez que se ha permitido que el suelo drene completamente (como una fracción). Por debajo de este	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
		nivel, no se produce el drenaje vertical del agua a través de la capa de suelo.		
Punto de marchitamiento (Wilting Point)	Suelo	Volumen de agua de poros en relación con el volumen total para un suelo bien seco en el que sólo queda agua ligada (en forma de fracción). El contenido de humedad del suelo no puede ser inferior a este límite.	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Conductividad (Conductivity)	Suelo	Conductividad hidráulica del suelo totalmente saturado (pulg./h o mm./h).	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Pendiente de conductividad	Suelo	Pendiente de la curva de log(conductivida	30-60	40

Parámetro	Componente.	Definición	Valor recomendado	Valor Seleccionado
(Conductivity Slope)		d) frente al contenido de humedad del suelo adimensional).		
Cabeza de succión (Suction Head)	Suelo	Valor medio de la succión capilar del suelo a lo largo del frente de humectación (pulgadas o mm).	N/A	Según Tabla 23 sustraída del manual SWWM v5.1.
Espesor (Thickness)	Suelo	El grosor de la capa de suelo (pulgadas o mm).	N/A	200 mm
Índice de vacío (Void Ratio)	Almacenamiento	El volumen de espacio vacío en relación con el volumen de sólidos en la capa	porosity = void ratio / (1 + void ratio)	0.8886
Tasa de filtración (Seepage Rate)	Almacenamiento	La velocidad a la que el agua se filtra en el suelo nativo por debajo	No existe valor recomendado, pero se tuvo	22

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
		de la capa (en pulgadas/hora o mm/hora).	en cuenta la Ilustración 84.	
Factor de obstrucción (Clogging Factor)	Almacenamiento	Volumen total de escorrentía tratada que se necesita para obstruir completamente el fondo de la capa dividido por el volumen vacío de la capa.	0	0
Coeficiente de flujo (Flow coefficients)	Drenaje	Coeficiente de flujo de aguas subterráneas	N/A	1.86
Exponente de flujo (Flow exponent)	Drenaje	medida relativa de su eficiencia para permitir el flujo de fluidos	N/A	0.5
Espesor (Thickness)	Pavimento	El grosor de la capa de suelo (pulgadas o mm).	N/A	120 mm

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendad o</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Tasa de vacío (Void Ratio)	Pavimento	El volumen de espacio vacío en relación con el volumen de sólidos en la capa	0-2	0.15
Fracción de superficie impermeable (Impervious Surface Fraction Ratio of impervious paver mat)	Pavimento	Relación entre el material impermeable y la superficie total para los sistemas modulares; 0 para los sistemas porosos continuos.	0	0
Permeabilidad (Permeability)	Pavimento	Permeabilidad del hormigón o asfalto utilizado en sistemas continuos o conductividad hidráulica del material de relleno (grava o arena) utilizado en sistemas modulares	La permeabilidad del nuevo hormigón poroso o asfalto es muy alta (por ejemplo, cientos de pulgadas/hora ) pero puede	2540



<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado o</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
		(pulg./hora o mm./hora)	disminuir con el tiempo debido a la obstrucción por partículas finas en la escorrentía (véase más abajo).	
Factor de obstrucción (Clogging Factor)	Pavimento	Volumen total de escorrentía tratada que se necesita para obstruir completamente el fondo de la capa dividido por el volumen vacío de la capa.	0	0

*Tabla 30. Parámetros de dimensionamiento de pavimentos porosos.*

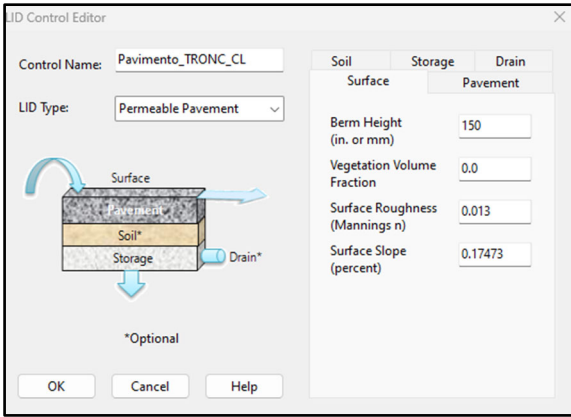


Ilustración 90. Parámetros de superficie para Pavimentos porosos.

De: SWMM.

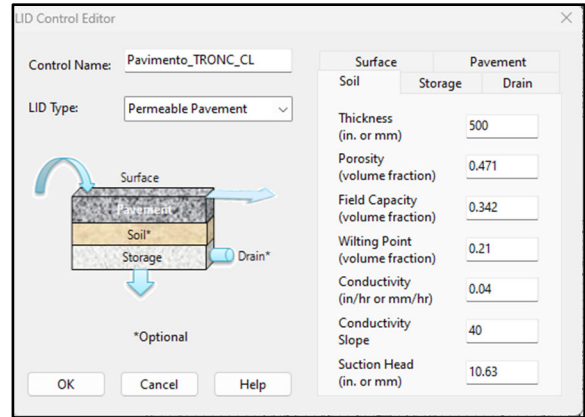


Ilustración 92. Parámetros de suelo para Pavimentos porosos.

De: SWMM

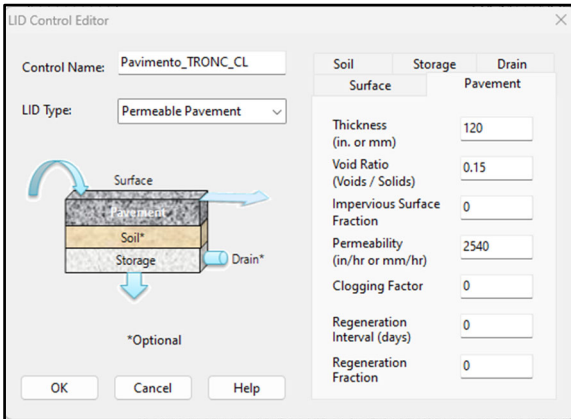


Ilustración 91. Parámetros de pavimento para Pavimentos porosos.

De: SWMM

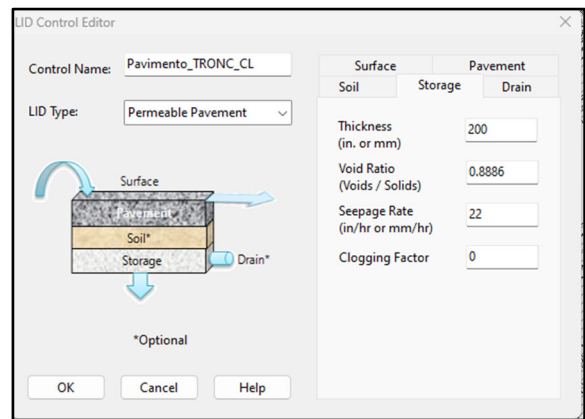


Ilustración 93. Parámetros de almacenamiento para Pavimentos porosos.

De: SWMM

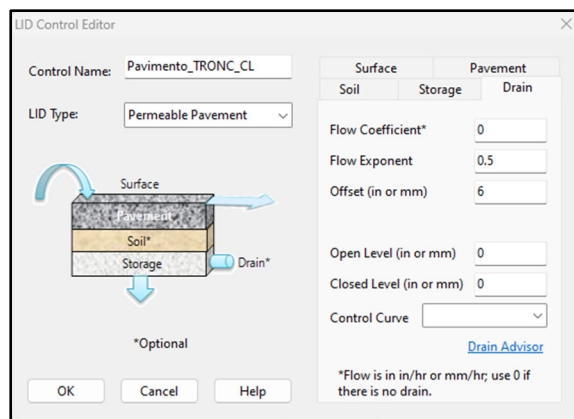


Ilustración 94. Parámetros de drenaje para Pavimentos porosos.

De: SWMM

#### 3.4.1.4. Cunetas verdes.

Se realiza la comparación de los parámetros de dimensionamiento establecidos en el producto 3 de la Norma NS 166, correspondiente a la guía técnica de diseño y construcción de SUDS, y los definidos en el manual de usuario de programa SWMM V5.1; correlacionado cuales se encuentran en ambos documentos, como se evidencia en la Tabla 31.

COMPARACIÓN PARAMETROS DE CUNETAS VERDES			
PARAMETROS NS 166	NS 166	SWMM V5.1	PARAMETROS SWMM
Área tributaria (Ad)	X	X	Subcuencas
Coefficiente de escorrentía (C)	X	X	Numero de curva
Intensidad de lluvia ( $i_{2-5}$ )	X	X	Lluvia características
Longitud de la cuneta	X		N/A
Pendiente disponible	X	X	Pendiente de subcuenca
Pendiente de diseño	X	X	Pendiente de superficie
Pendiente lateral	X	X	Pendiente lateral
Ancho del fondo	X	X	Ancho por unidad
n de Manning	X	X	Rugosidad superficial
N/A		X	Altura de la berma
N/A		X	Volumen de vegetación

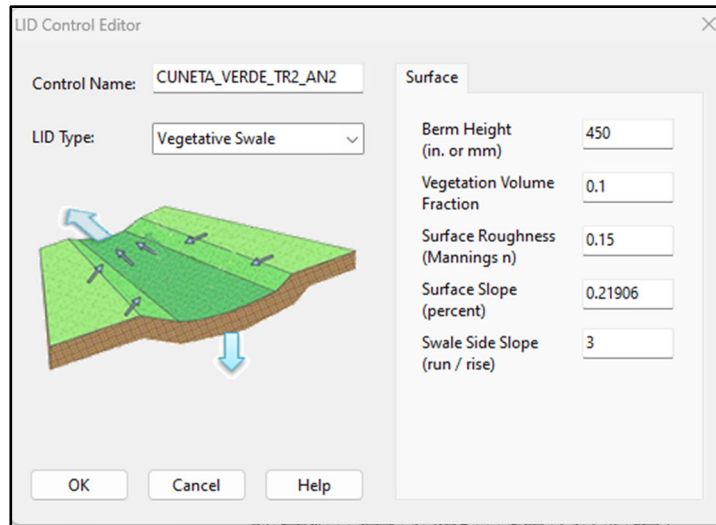
Tabla 31. Comparación de parámetros de dimensionamiento de Cunetas Verdes.

Teniendo en cuenta que llevara a cabo la modelación en el programa SWMM V5.1, se toma la determinación de implementar los parámetros establecidos en el manual de usuario. En el caso de Pavimentos Porosos, para el dimensionamiento de esta tipología corresponden únicamente al componente de superficie, como podemos observar en la Ilustración 87, Ilustración 88 e Ilustración 89. Para cada uno de ellos se definirá su concepto y valor en la tabla Tabla 32.

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
Altura de berma (Berm Height)	Superficie	Cuando hay muros de confinamiento o bermas, es la profundidad máxima a la que puede estancarse el agua por encima de la superficie de la unidad antes de que se produzca el desbordamiento (en pulgadas o mm)	N/A	450 mm
Volumen de vegetación (Vegetation Volume)	Superficie	La fracción del volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación. Se trata del volumen ocupado por tallos y hojas, no su	0.1 – 0.2	0.1

<b>Parámetro</b>	<b>Componente.</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor recomendado</b>	<b>Valor Seleccionado</b>
		superficie de cobertura.		
Rugosidad superficial (Surface Roughness)	Superficie	N de Manning para el flujo superficial sobre la cubierta del suelo, el pavimento, la superficie del tejado o la zanja vegetal.	N/A	Valor Escogido según superficie en este caso de césped fue 0,15
Pendiente superficial (Surface Slope)	Superficie	Pendiente de una superficie de tejado, pavimento o canal vegetal (porcentaje)	N/A	Valor escogido según la pendiente del tramo donde se realizará la implementación.
Pendiente lateral del canal (Swale Side Slope)	Superficie	Pendiente de las paredes laterales de la sección transversal de una zanja vegetal	N/A	3

*Tabla 32. Parámetros de dimensionamiento de cunetas verdes.*



*Ilustración 95. Parámetros de superficie para Cuentas verdes.*

*De: SWWM*

### 3.5. FASE V MODELACIÓN DEL SISTEMA CON LAS SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE TIPOLOGÍAS.

Una vez realizado el pre-dimensionamiento de las tipologías de SUDS escogidas para la zona de estudio se incorporan al modelo realizado durante la Fase III previamente descrita, esto con el objetivo de evaluar la capacidad hidráulica del sistema en diferentes escenarios haciendo uso de las tipologías identificadas durante la fase anterior. La incorporación de las estructuras de SUDS seleccionadas se realiza a través de la asignación de tipologías en las áreas aferentes correspondientes; indicando el área en  $m^2$  que ocupará el SUDS, la cantidad de estos y el ancho que tendrá cada una, como podemos observar en la Ilustración 96. Cabe resaltar que los demás parámetros tendrán un valor cero debido a que no se aplican a las tipologías escogidas y condiciones actuales.

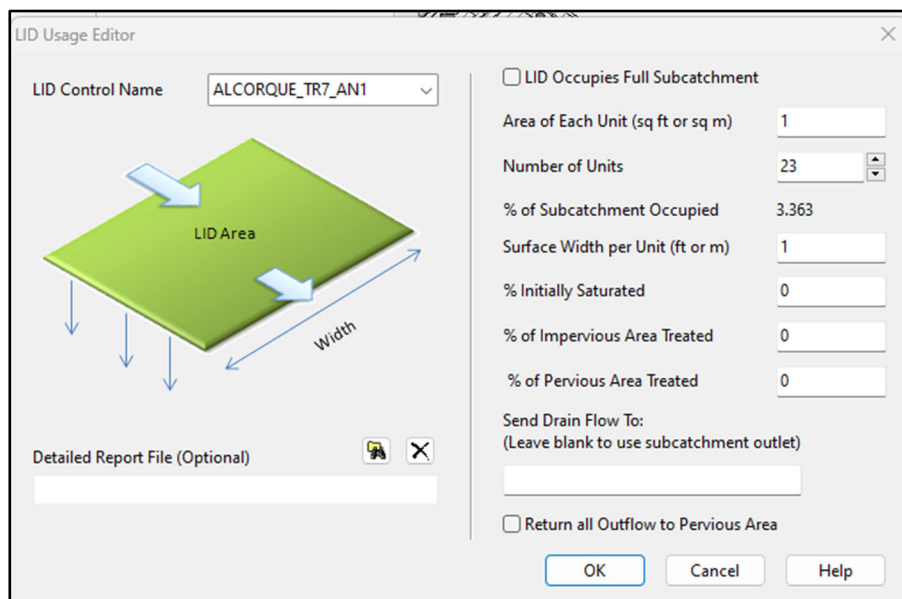


Ilustración 96. Parámetros para asignación de SUDS en áreas aferentes.

De: SWWM.

#### 3.5.1. Escenario 1

El primer escenario evaluado corresponde a la implementación de alcorques inundables en los tramos donde el espacio disponible permite la implementación de esta estructura, estos tramos corresponden al tramo 3, tramo 7 y tramo 11 específicamente en los puntos que se muestran a continuación:

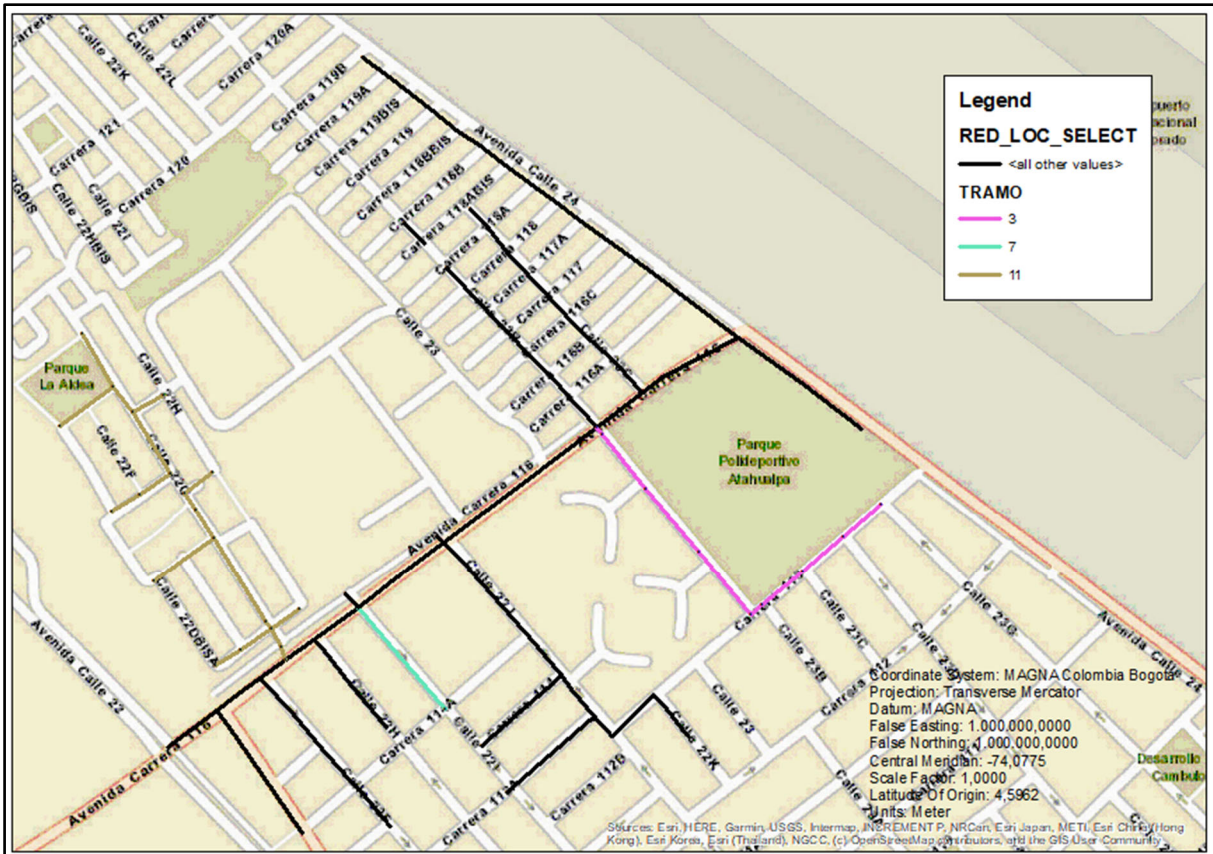
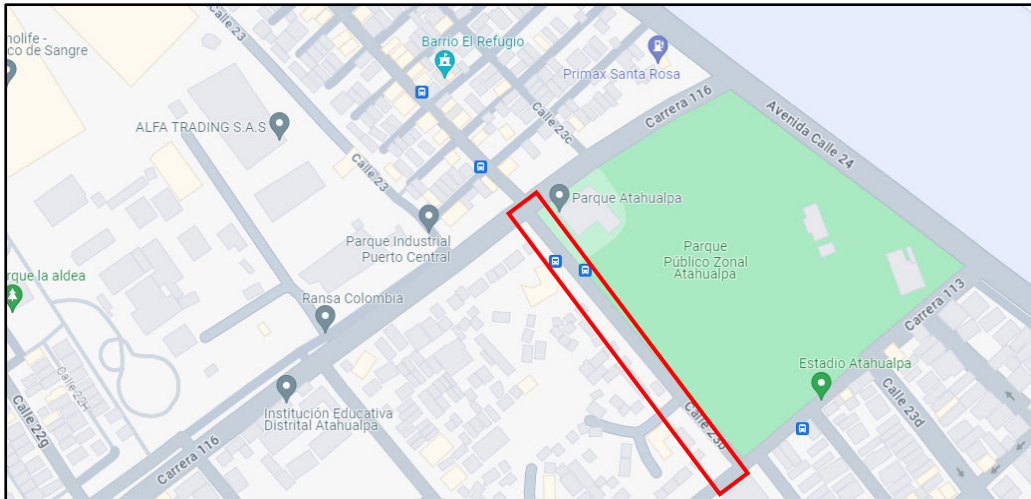


Ilustración 97. Tramos donde que inciden en el escenario 1.

✓ **TRAMO 3**

A continuación, en la Ilustración 98 y la Ilustración 99 encontraremos la ubicación en la cual se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para la misma. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 33.





*Ilustración 98. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3.  
De: Google Maps.*



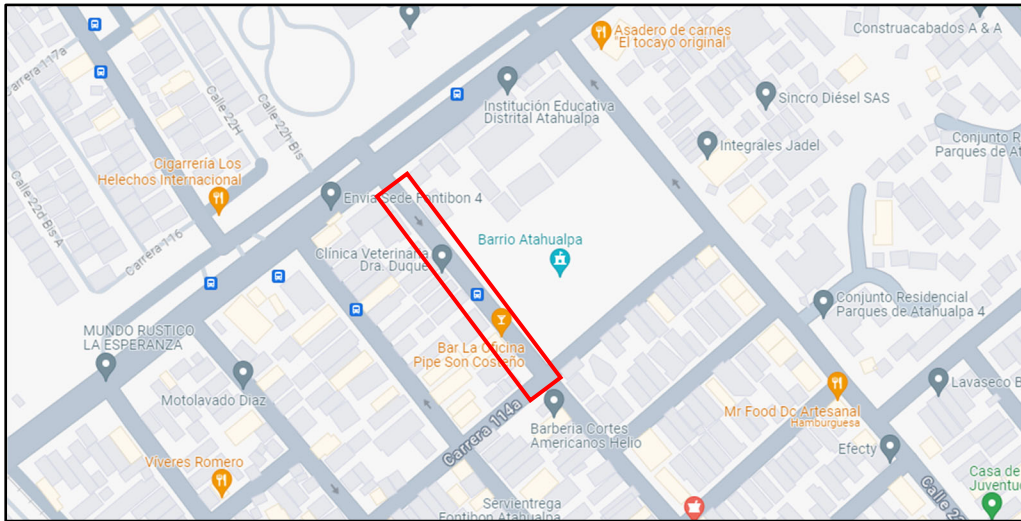
*Ilustración 99. Espacio disponible en el tramo para la implementación.  
De: Google Maps.*

Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
1	27	1,713	1

*Tabla 33. Parámetros de asignación de tipología en el área.*

✓ **TRAMO 7**

A continuación, en la Ilustración 100 y la Ilustración 101 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para la misma. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 34.



*Ilustración 100. Ubicación de Alcorques inundable tramo 7.*

*De: Google Maps*



*Ilustración 101. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

*De: Google Maps.*

Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
1	23	3,363	1

Tabla 34. Parámetros de asignación de tipología en el área.

✓ **TRAMO 11**

A continuación, en la Ilustración 102 y la Ilustración 103 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para la misma. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 35.

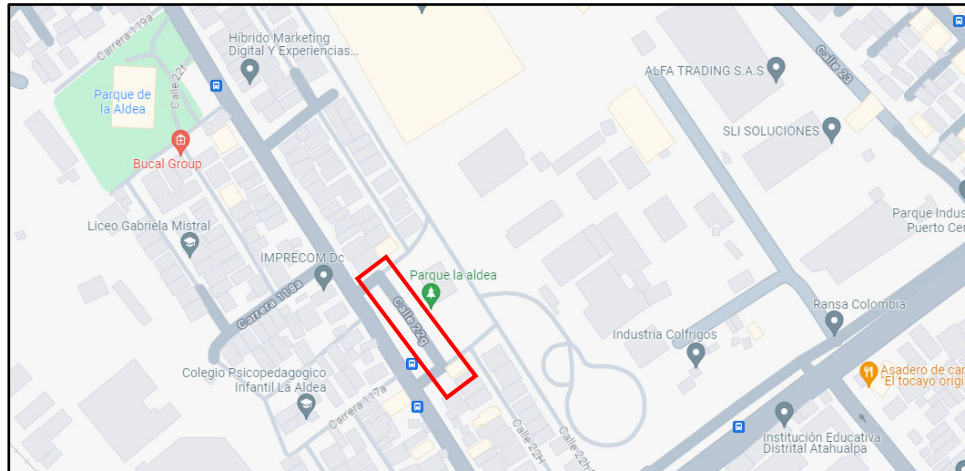


Ilustración 102. Ubicación de Alcorques inundable tramo 11.

De: Google Maps



Ilustración 103. Espacio disponible en el tramo para la implementación.

De: Google Maps.

Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
1	25	13,1	1

Tabla 35. Parámetros de asignación de tipología en el área.

Una vez las cunetas verdes son incluidas en cada uno de los puntos anteriormente mencionados se obtiene el siguiente hidrograma de salida:

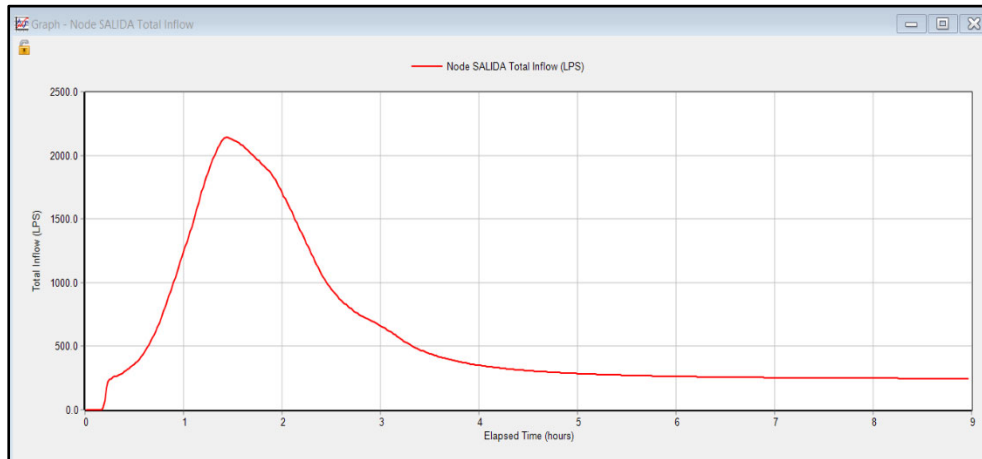


Ilustración 104. Hidrograma de salida para la implementación de alcorques inundables. De: SWMM

### 3.5.2. Escenario 2

Para el segundo escenario evaluado se realizó la implementación de zanjas de infiltración en los tramos donde el espacio disponible permite la implementación de esta estructura, estos tramos corresponden al tramo 2 y a la troncal ubicada sobre la carrera 116, específicamente en los puntos que se muestran a continuación:

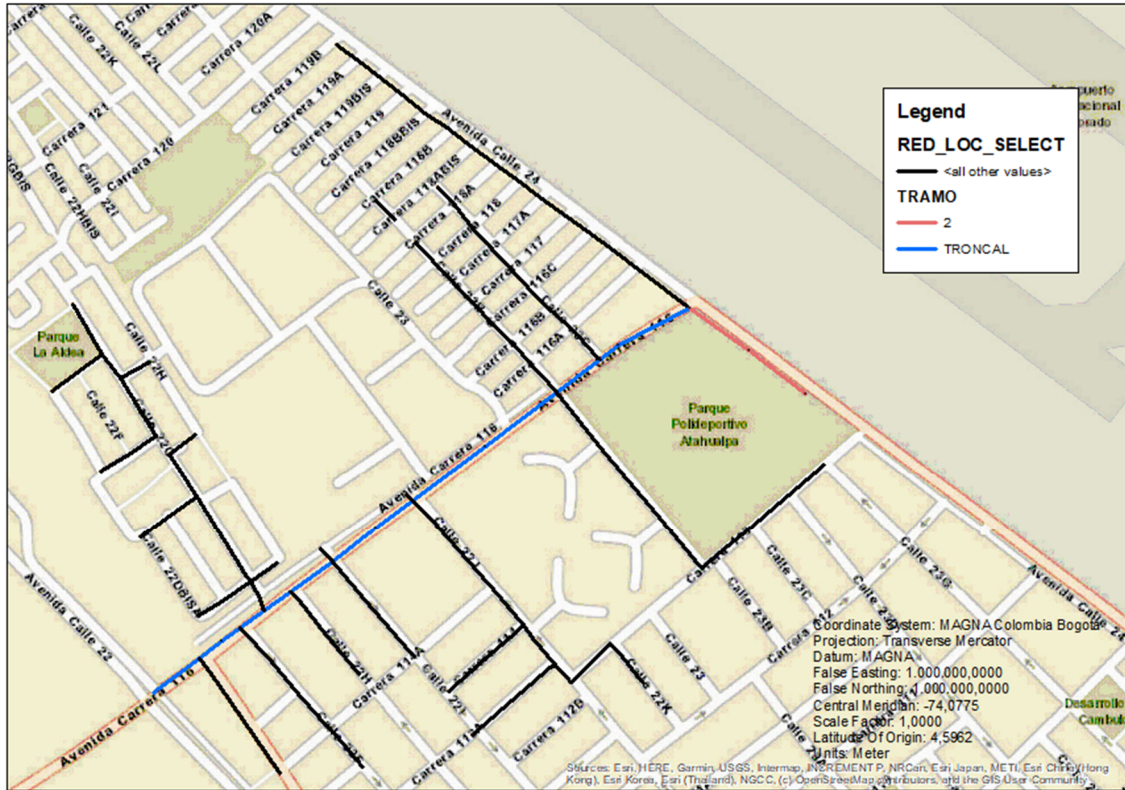


Ilustración 105. Tramos que inciden en el escenario 2.

✓ **TRAMO 2**

A continuación, en la Ilustración 106 y la Ilustración 107 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 36.

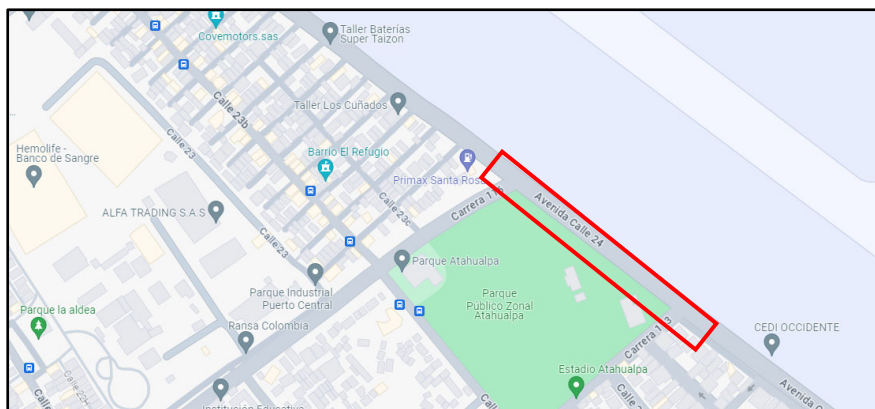


Ilustración 106. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2.

De: Google Maps.



*Ilustración 107. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

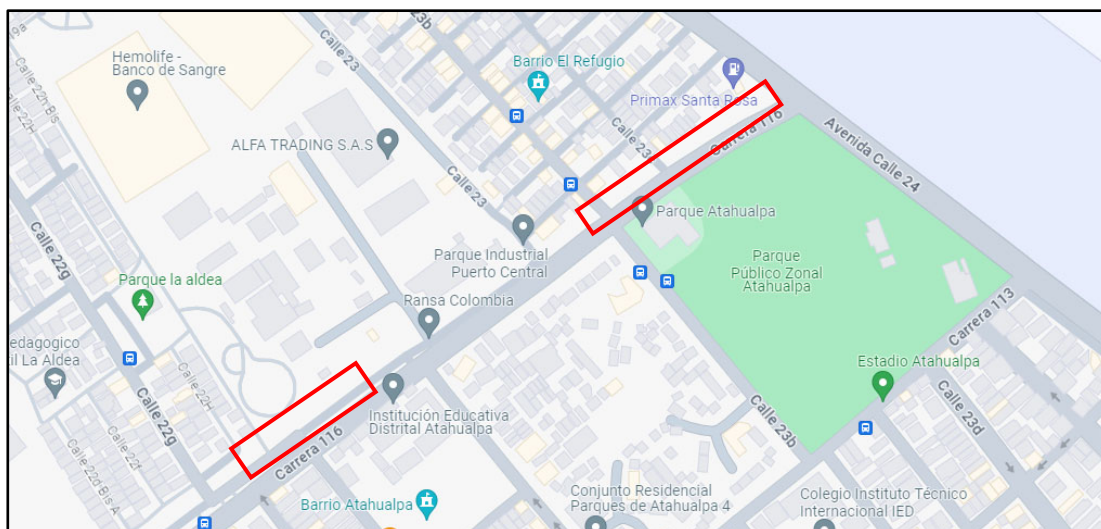
*De: Google Maps.*

Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
2692	1	83,13	12

*Tabla 36. Parámetros de asignación de tipología en el área.*

✓ **TRONCAL**

A continuación, en la Ilustración 108, la Ilustración 109 y la Ilustración 110 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 37.



*Ilustración 108. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3.  
De: Google Maps*



*Ilustración 109. Espacio disponible en el tramo para la implementación  
De: Google Maps.*



*Ilustración 110. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

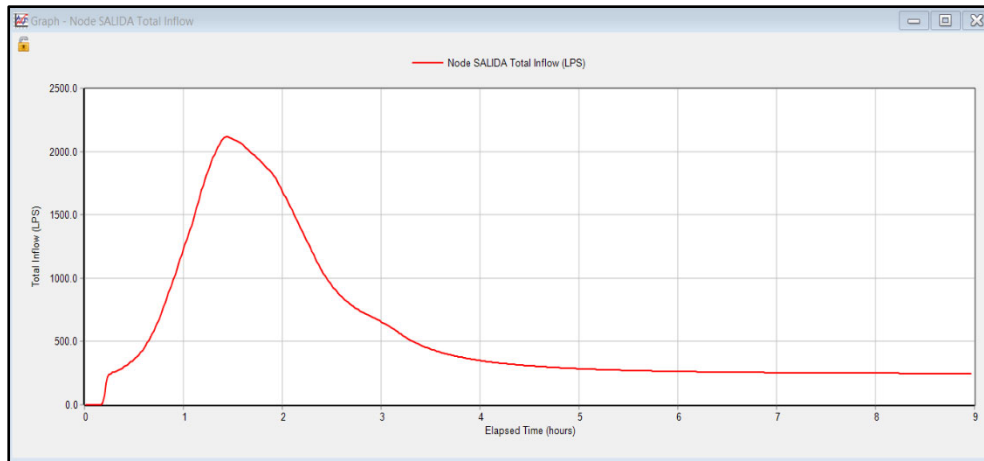
*De: Google Maps.*

<b>AREA</b>	<b>Área por unidad (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de unidades</b>	<b>% del área ocupada</b>	<b>Ancho por unidad. (m)</b>
ANDEN 1	150	1	70,1	3
TRONC_AN_5	400	1	78,0	3
TRONC_AN_14	708	1	64,4	3

*Tabla 37. Parámetros de asignación de tipología en el área.*

Una vez las zanjas de infiltración son incluidas al sistema en cada uno de los puntos anteriormente mencionados se obtiene el siguiente hidrograma de salida:





*Ilustración 111. Hietograma de salida para la implementación de zanjas de infiltración.  
De: SWWM.*

### 3.5.3. Escenario 3

Teniendo en cuenta el poco espacio disponible para la implementación de tipologías en los diferentes tramos que conforman la zona de intervención se decide realizar la implementación de cunetas verdes en la misma ubicación en la cual se implementaron las zanjas de infiltración, esto con el objetivo de facilitar su comparación y analizar su comportamiento bajo las mismas condiciones.

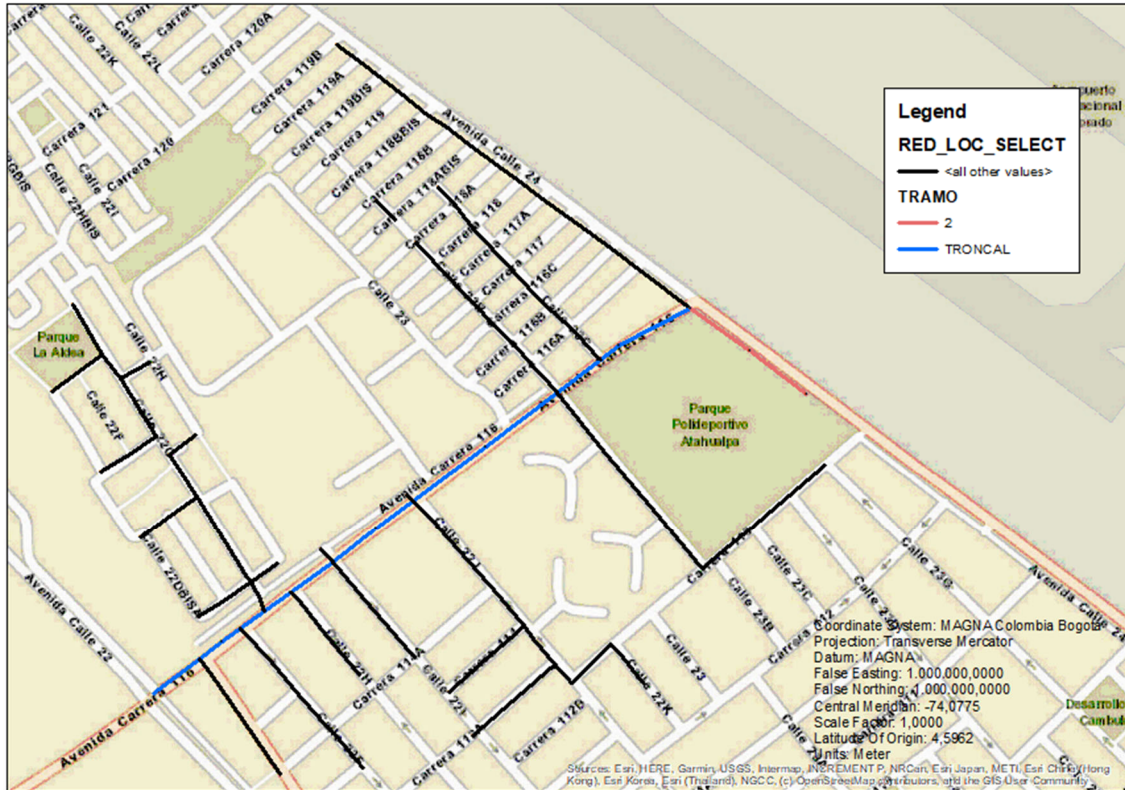
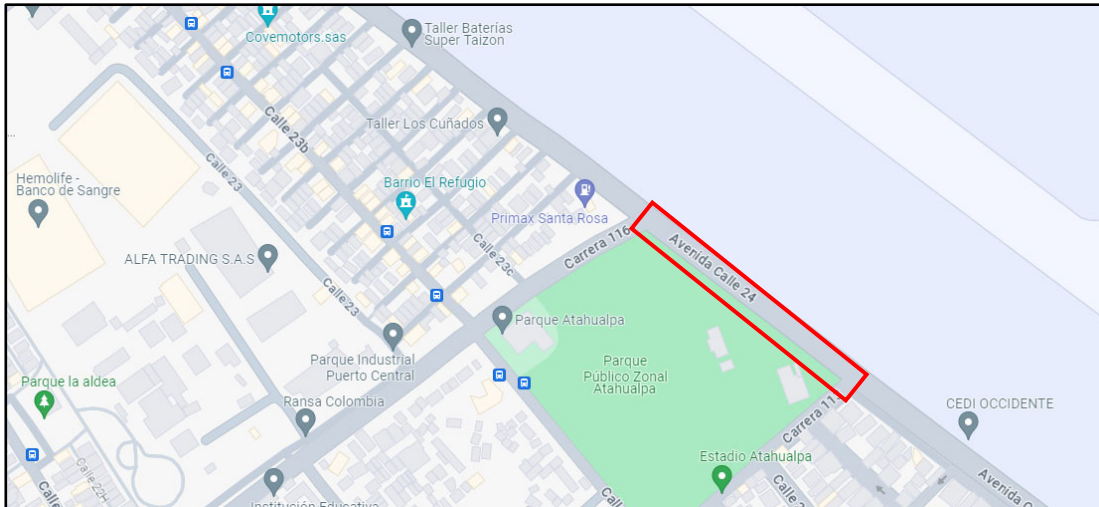


Ilustración 112. Tramos que inciden en el escenario 3.

✓ **TRAMO 2**

A continuación, en la Ilustración 113 y la Ilustración 114 encontraremos la ubicación en la cual se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 38.



*Ilustración 113. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2.*

*De: Google Maps*



*Ilustración 114. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

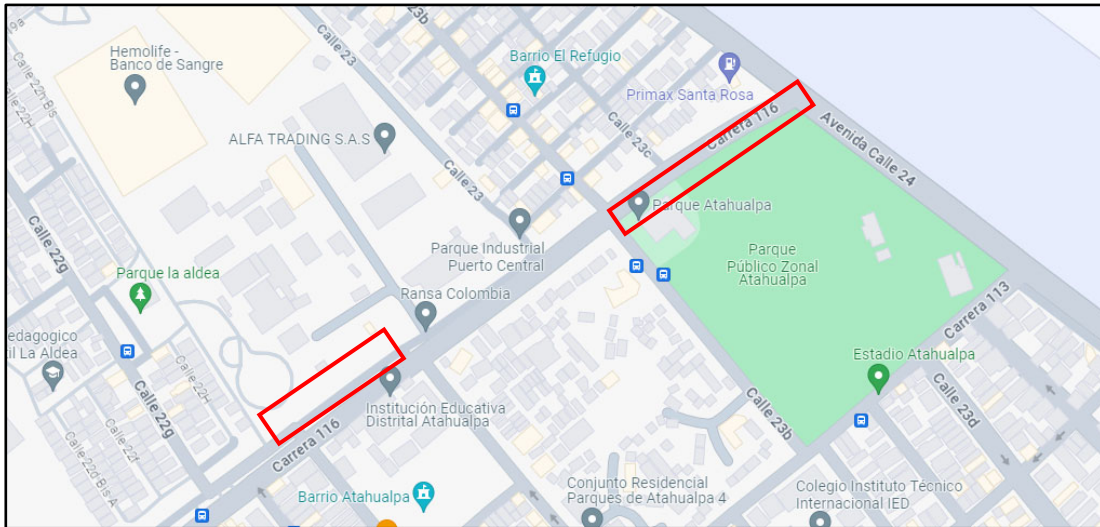
*De: Google Maps.*

Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
2692	1	83,13	12

*Tabla 38. Parámetros de asignación de tipología en el área.*

✓ **TRONCAL**

A continuación, en la Ilustración 115, la Ilustración 116 y la Ilustración 117 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 39.



*Ilustración 115. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3.*

*De: Google Maps*



*Ilustración 116. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

*De: Google Maps.*

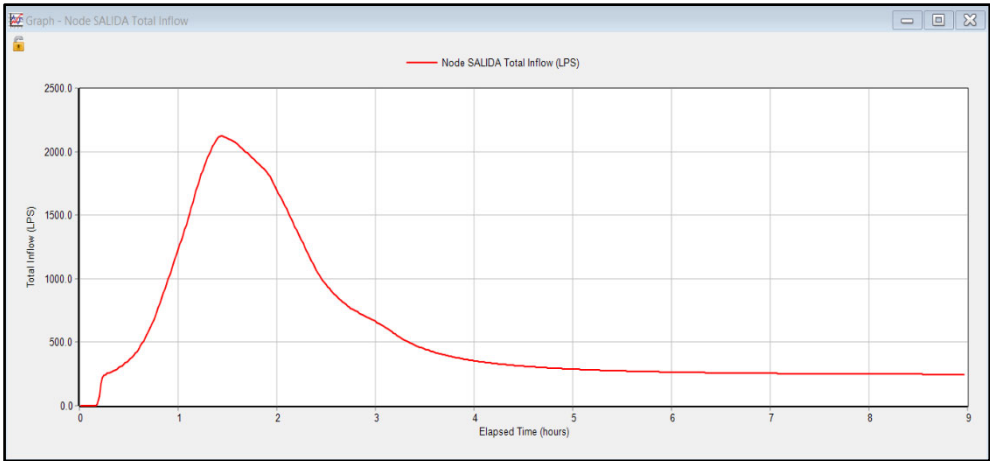


*Ilustración 117. Espacio disponible en el tramo para la implementación.  
De: Google Maps.*

<b>AREA</b>	<b>Área por unidad (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de unidades</b>	<b>% del área ocupada</b>	<b>Ancho por unidad. (m)</b>
ANDEN 1	150	1	70,1	3
TRONC_AN_5	400	1	78,0	3
TRONC_AN_14	708	1	64,4	3

*Tabla 39. Parámetros de asignación de tipología en el área.*

Una vez son incluidas las cunetas verdes al sistema en cada uno de los puntos anteriormente mencionados se obtiene el siguiente hidrograma de salida:



*Ilustración 118. Hietograma de salida para la implementación de cuentas verdes  
De: SWWM*

#### **3.5.4. Escenario 4**

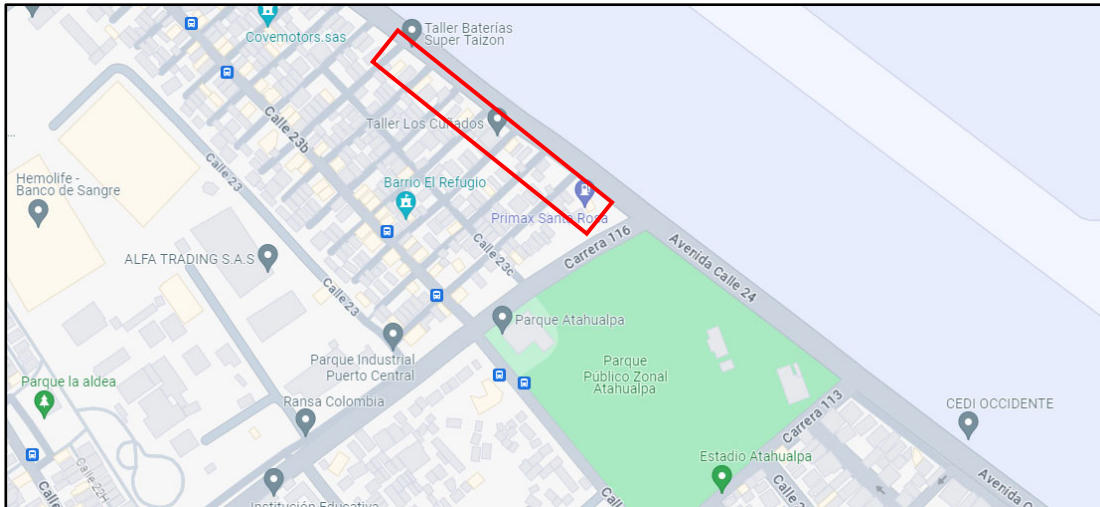
El cuarto escenario evaluado corresponde a la implementación de pavimentos porosos en los tramos donde el espacio disponible permita la implementación de esta estructura, estos tramos corresponden al tramo 1 y el tramo troncal ubicado en la Avenida carrera 116.



Ilustración 119. Tramos que inciden en el escenario 4.

✓ **TRAMO 1**

A continuación, en la Ilustración 120 y la Ilustración 121 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología para cada área en la Tabla 40.



*Ilustración 120. Ubicación de Alcorques inundable tramo 2.  
De: Google Maps.*



*Ilustración 121. Espacio disponible en el tramo para la implementación.  
De: Google Maps.*

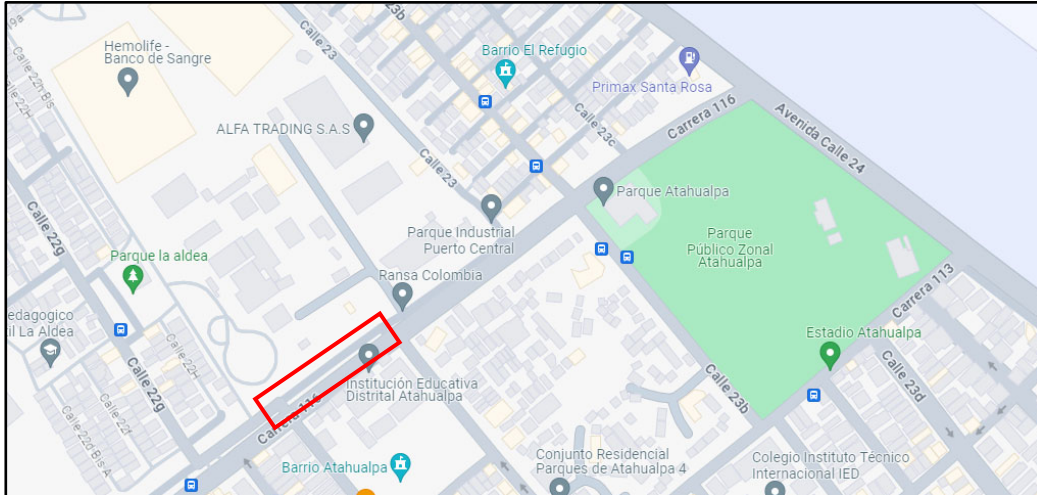
Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
3385,78	1	62,7	7,89

*Tabla 40. Parámetros de asignación de tipología en el área.*



✓ **TRONCAL**

A continuación, en la Ilustración 122 y la Ilustración 123 encontraremos la ubicación donde se implementará la tipología seleccionada y el espacio disponible para ello. Adicionalmente se podrán encontrar los parámetros de asignación de la tipología en la Tabla 41.



*Ilustración 122. Ubicación de Alcorques inundable tramo 3.*

*De: Google Maps.*



*Ilustración 123. Espacio disponible en el tramo para la implementación.*

*De Google Maps.*

AREA	Área por unidad (m <sup>2</sup> )	Número de unidades	% del área ocupada	Ancho por unidad. (m)
TRONCAL CALZADA	1298,57	1	10,4	10

Tabla 41. Parámetros de asignación de tipología en el área.

Una vez son incluidos los pavimentos porosos al sistema en cada uno de los puntos anteriormente mencionados se obtiene el siguiente hidrograma de salida.

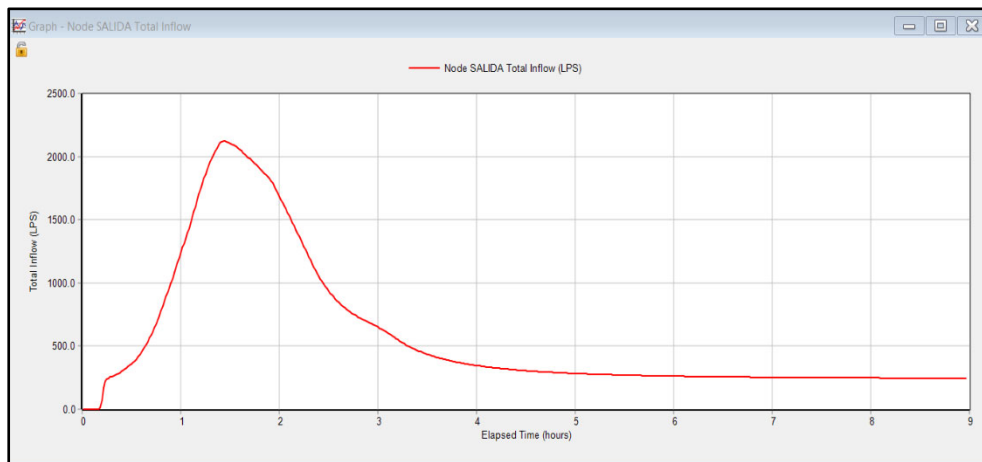


Ilustración 124. Hidrograma de salida para la implementación de cuentas verdes  
De: SWWM.

### 3.5.5. Escenario 5

Una vez evaluadas cada una de las tipologías de manera independiente, se realiza la combinación de ellas para analizar su funcionamiento en conjunto, esto manteniendo la ubicación determinada en los escenarios anteriormente expuestos, dado que son los únicos espacios disponibles en cada tramo para la implementación de estas estructuras. En este orden de ideas para el presente escenario se realizó la implementación de alcorques inundables y pavimentos porosos en los tramos 1, 2, 7, 11 y troncal, tal como se evidencia en la siguiente figura:

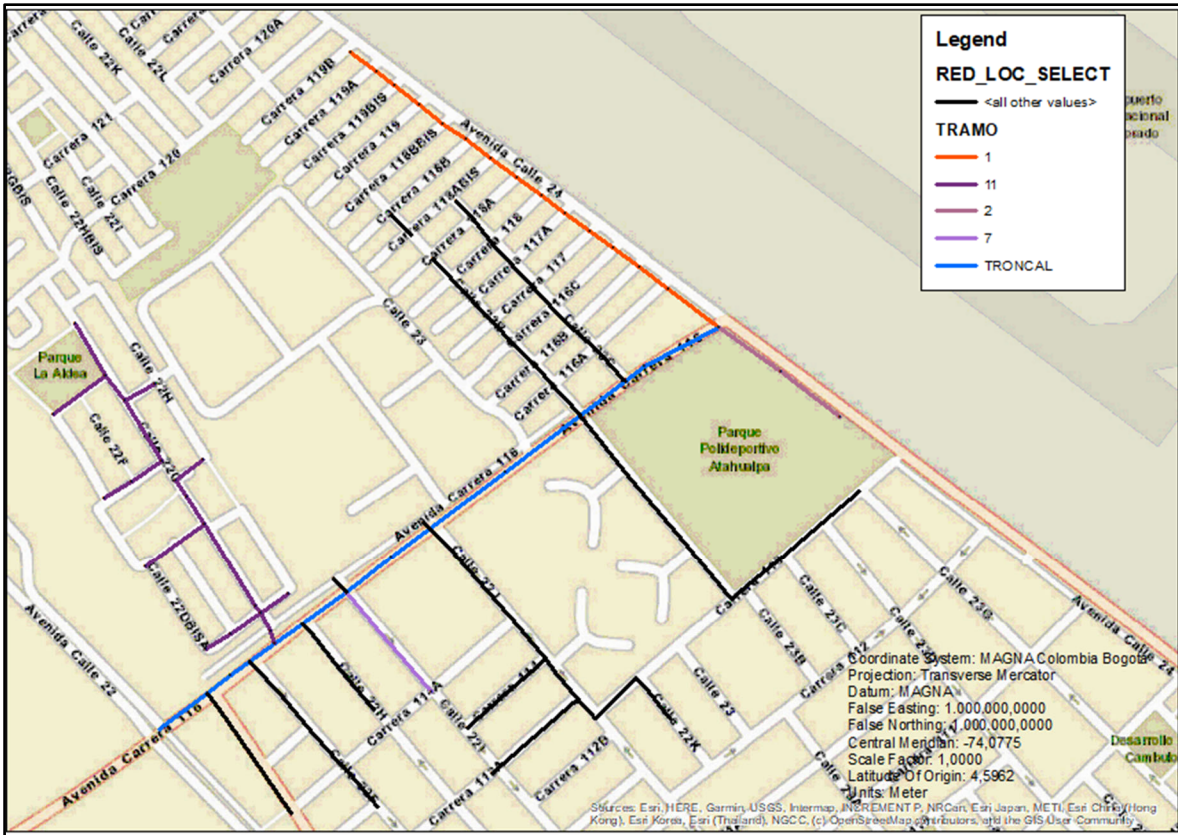


Ilustración 125. Tramos que inciden en el escenario 5.

Obteniendo el siguiente hietograma de salida:

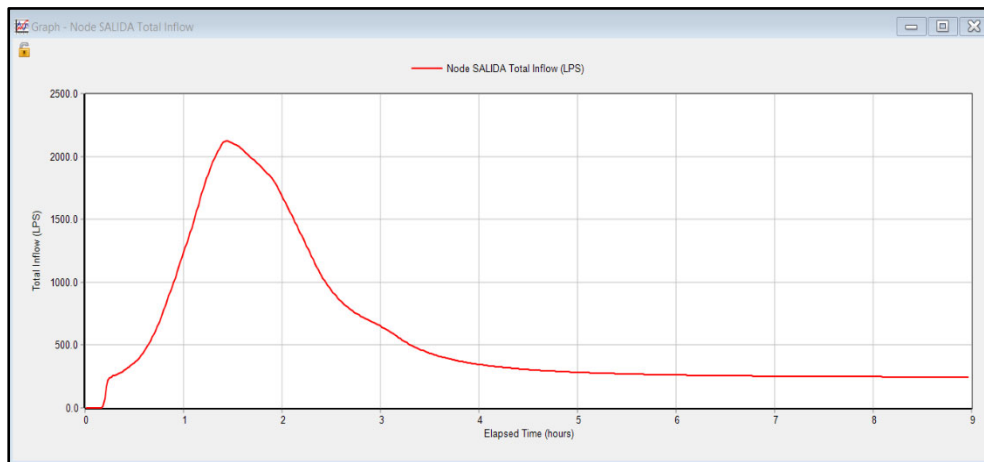


Ilustración 126. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos  
De: SWMM

### 3.5.6. Escenario 6

Para este escenario las tipologías que fueron implementadas corresponden a pavimentos porosos, alcorques inundables y zanjas de infiltración, dicha implementación se realizó en los tramos 1, 2, 7, 11 y troncal, tal como se evidencia en la siguiente figura:

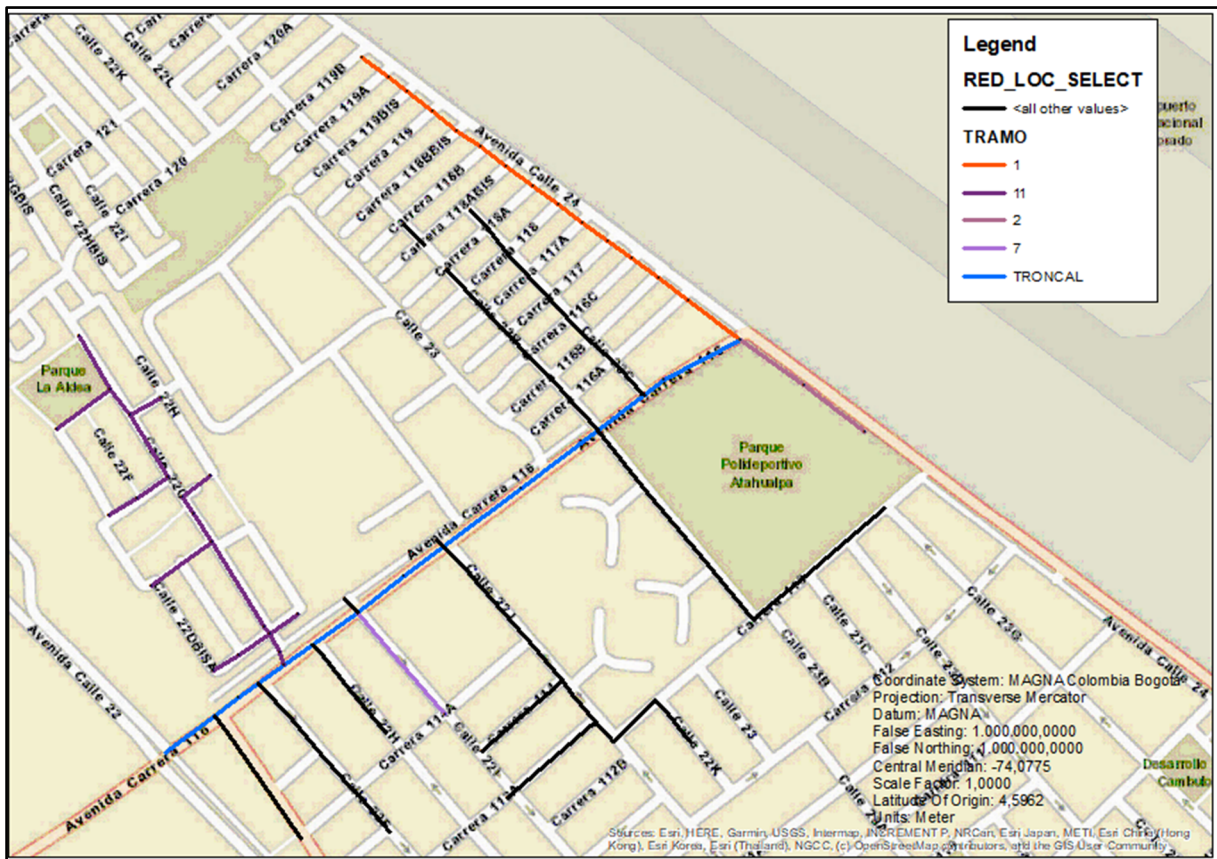
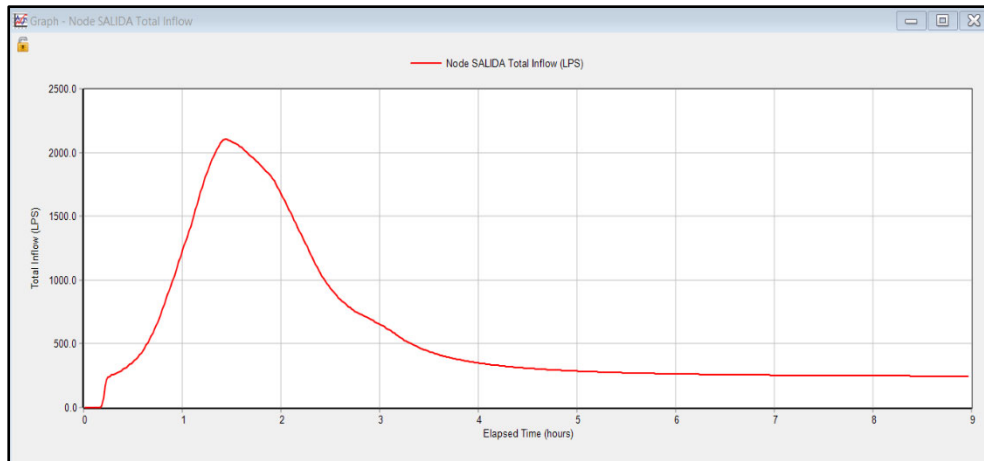


Ilustración 127. Tramos que inciden en el escenario 6.

Obteniendo el siguiente hietograma de salida:



*Ilustración 128. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos + zanjas de infiltración.*

*De: SWMM*

### **3.5.7. Escenario 7**

Para este escenario las tipologías que fueron implementadas corresponden a pavimentos porosos, alcorques inundables y cunetas verdes, dicha implementación se realizó en los tramos 1, 2, 7, 11 y troncal, tal como se evidencia en la siguiente figura:

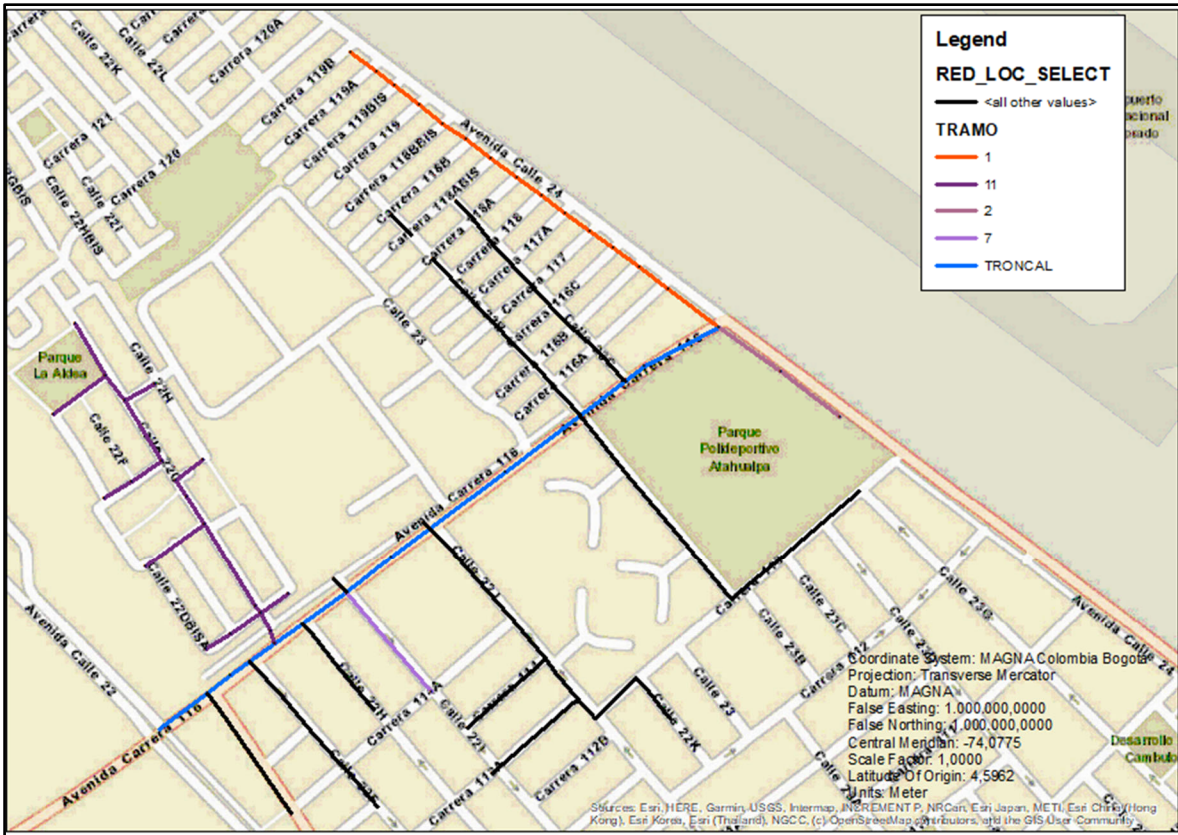


Ilustración 129. Tramos que inciden en el escenario 7.

Obteniendo así el siguiente hietograma de salida.

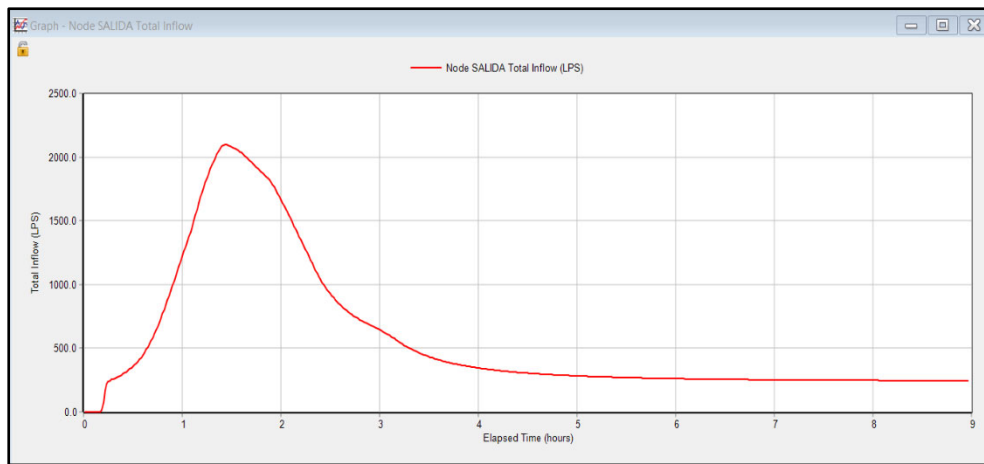


Ilustración 130. Hietograma de salida para la implementación de alcorques + pavimentos + cuentas verdes.

De: SWMM

## Capítulo IV

### Resultados

Una vez modelados todos los escenarios descritos en el capítulo anterior, se procede a realizar la comparación y análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los casos. Este análisis se realizará para cada uno de los tramos en los cuales se realizó la implementación de algunas de las tipologías descritas, evaluando el caudal total en su respectivo nodo de descarga, junto con el nodo de descarga final del proyecto, con el objetivo de evidenciar la reducción en el caudal pico para cada escenario.

#### ✓ TRAMO 1 Y 2.

Teniendo en cuenta que los tramos 1 y 2 tienen en el mismo nodo de descarga (PMP94211), se pueden evaluar de manera conjunta, haciendo claridad en que en el tramo 1 se realizó la implementación de pavimentos porosos y en el tramo dos la implementación de cunetas verdes y zanjas de infiltración, tal como se detalló en el capítulo anterior. En este sentido en la Tabla 42 se encuentran los resultados obtenidos.

<b>TRAMO 1 y 2 - Node PMP94211</b>						
<b>ESCENARIO</b>	<b>ESC 0 - MODELACION EXISTENTE (ACTUAL)</b>	<b>ESC 2 - ACTUAL + ZANJAS DE INFILTRACION</b>	<b>ESC 3 - ACTUAL + CUNETAS VERDES</b>	<b>ESC 4 - ACTUAL + PAVIMENTOS POROSOS</b>	<b>ESC 6 - ACTUAL + PAVIMENTOS + ALCORQUES + ZANJAS</b>	<b>ESC 7 - ACTUAL + PAVIMENTOS + ALCORQUES + CUNETAS</b>
<b>HORA PICO</b>	1:22:00	1:22:00	1:22:00	1:22:00	1:22:00	1:22:00
<b>CAUDAL PICO (LPS)</b>	517.25	500.7	502.78	502.04	485.5	487.58
<b>% REDUCCION CAUDAL PICO</b>	N/A	3.20%	2.80%	2.94%	6.14%	5.74%

*Tabla 42. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 1 y Tramo 2.*

Analizando los resultados obtenidos se evidencia que para los tramos 1 y 2, el escenario 6, el y cual representa la implementación de pavimentos porosos, alcorques inundables y zanjas de infiltración, genera el mayor porcentaje de disminución del caudal pico (6.14%).

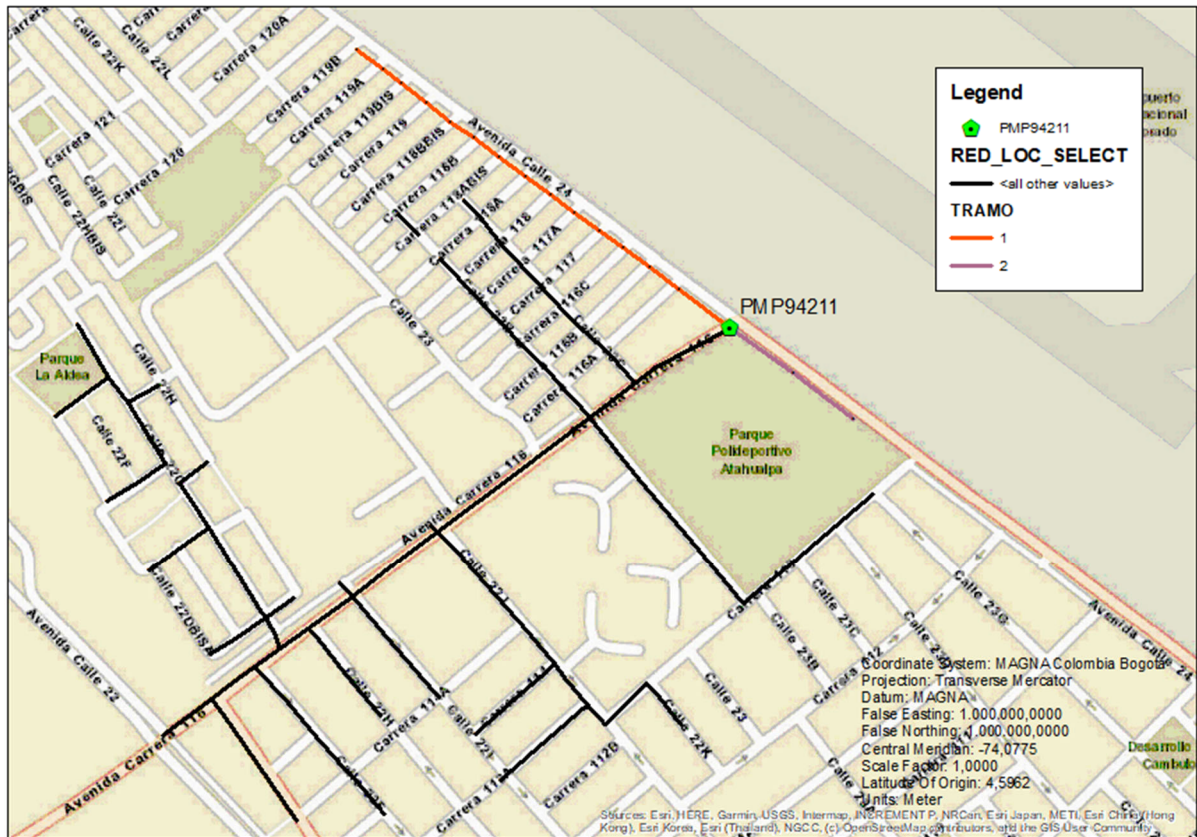


Ilustración 131. Tramos analizados y nodo de salida.

✓ **TRAMO 3.**

El tramo 3 tiene como única tipología aplicable los alcorques inundables, los cuales corresponden al escenario 1. En la Tabla 43 se evidencian los resultados obtenidos.

TRAMO 3 - Node PMC9420		
ESCENARIO	ESC 0 - MODELACION EXISTENTE (ACTUAL)	ESC 1 - ACTUAL + ALCORQUES INUNDABLES
HORA PICO	1:23:00	1:23:00
CAUDAL PICO (LPS)	1127.2	1127.09
% REDUCCION CAUDAL PICO	N/A	0.01%

Tabla 43. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 3.

Analizando los resultados obtenidos se evidencia que el escenario 1, el cual representa la implementación de alcorques inundables, en el nodo de salida del tramo 3, genera una



disminución poco significativa en el valor del caudal pico (0.01%). Por lo tanto, no se recomienda la implementación de estas estructuras en dicho tramo.

✓ **TRAMO 11**

El tramo 11 tiene como única tipología aplicable los alcorques inundables, los cuales corresponden al escenario 1. En la Tabla 44 se evidencian los resultados obtenidos.

<b>TRAMO 11 - Node PMC94926</b>		
<b>ESCENARIO</b>	<b>ESC 0 - MODELACION EXISTENTE</b>	<b>ESC 1 - ACTUAL + ALCORQUES INUNDABLES</b>
<b>HORA PICO</b>	1:26:00	1:26:00
<b>CAUDAL PICO (LPS)</b>	1914.16	1913.9
<b>% REDUCCION CAUDAL PICO</b>	N/A	0.01%

*Tabla 44. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 11.*

Analizando los resultados obtenidos se evidencia que el escenario 1, el cual representa la implementación de alcorques inundables, en el nodo de salida del tramo 11 genera una disminución poco representativa en el valor del caudal pico (0.01%). Por lo tanto, no se recomienda la implementación de estas estructuras en dicho tramo.

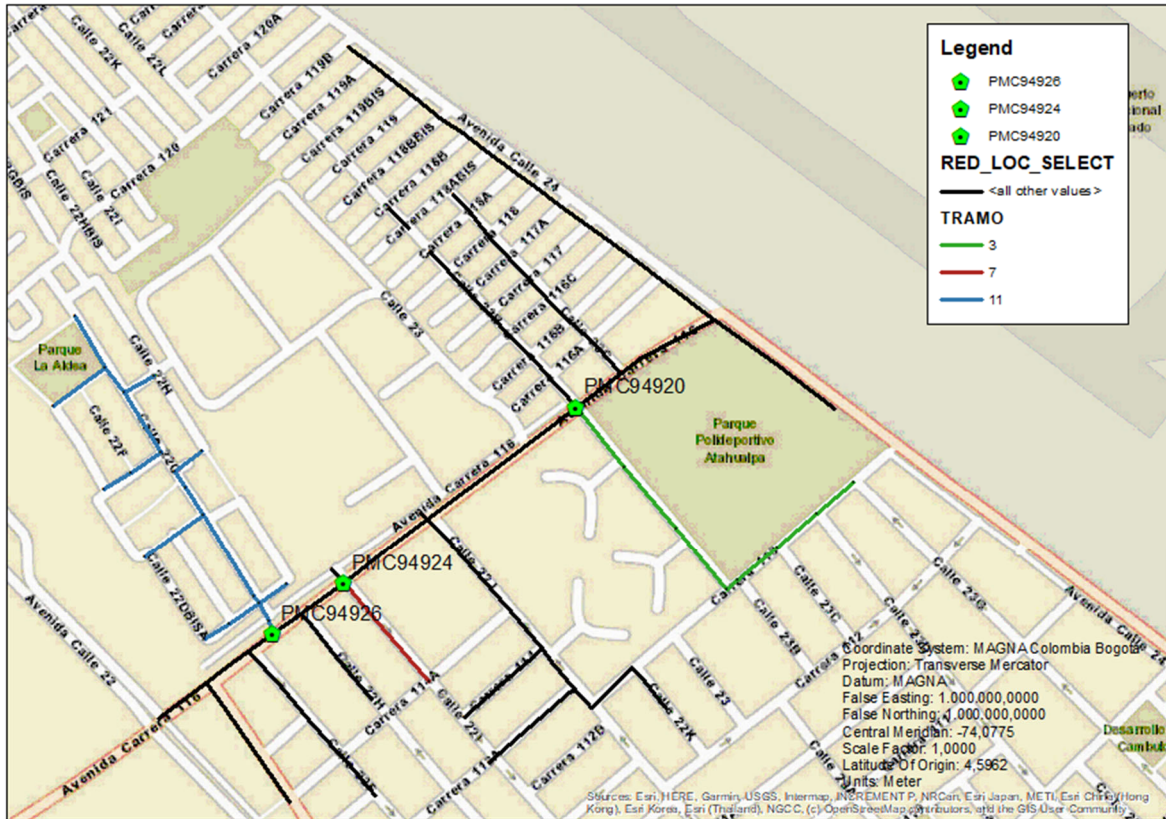


Ilustración 132. Tramos analizados y nodo de salida.

#### ✓ TRONCAL ANDEN 14

En el tramo troncal andén 14 se implementaron cunetas verdes o zanjas de infiltración. Sin embargo, teniendo en cuenta que en el tramo aguas arriba de su nodo de descarga (PMC94918) se implementaron pavimentos porosos, se hizo adicionalmente la evaluación conjunta de estos escenarios, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 45.

TRAMO TRONCAL ANDEN 14 - Node PMC94918				
ESCENARIO	ESC 0 - MODELACION EXISTENTE	ESC 2 - ZANJAS DE INFILTRACION	ESC 3 - CUNETAS VERDES	ESC 6 - ACTUAL + PAVIMENTOS + ALCORQUES + ZANJAS
HORA PICO	1:23:00	1:23:00	1:23:00	1:23:00
CAUDAL PICO (LPS)	538.68	517.34	521.12	501.97
% REDUCCION CAUDAL PICO	N/A	3.96%	3.26%	6.81%

Tabla 45. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo Troncal Andén 14.

Analizando los resultados obtenidos se evidencia que el escenario 6, el cual representa la implementación de pavimentos porosos, alcorques inundables y zanjas de infiltración,

genera el mayor porcentaje de disminución del caudal pico (6.81%) para el tramo troncal anden 14. Si se compara los escenarios en los cuales se aplicó una única tipología (escenario 2 y escenario 3) se evidencia que el escenario 2, el cual representa la implementación de zanjas de infiltración, genera una mayor disminución del caudal pico (3.96%) que el obtenido con la implementación de cunetas verdes (3.26%).

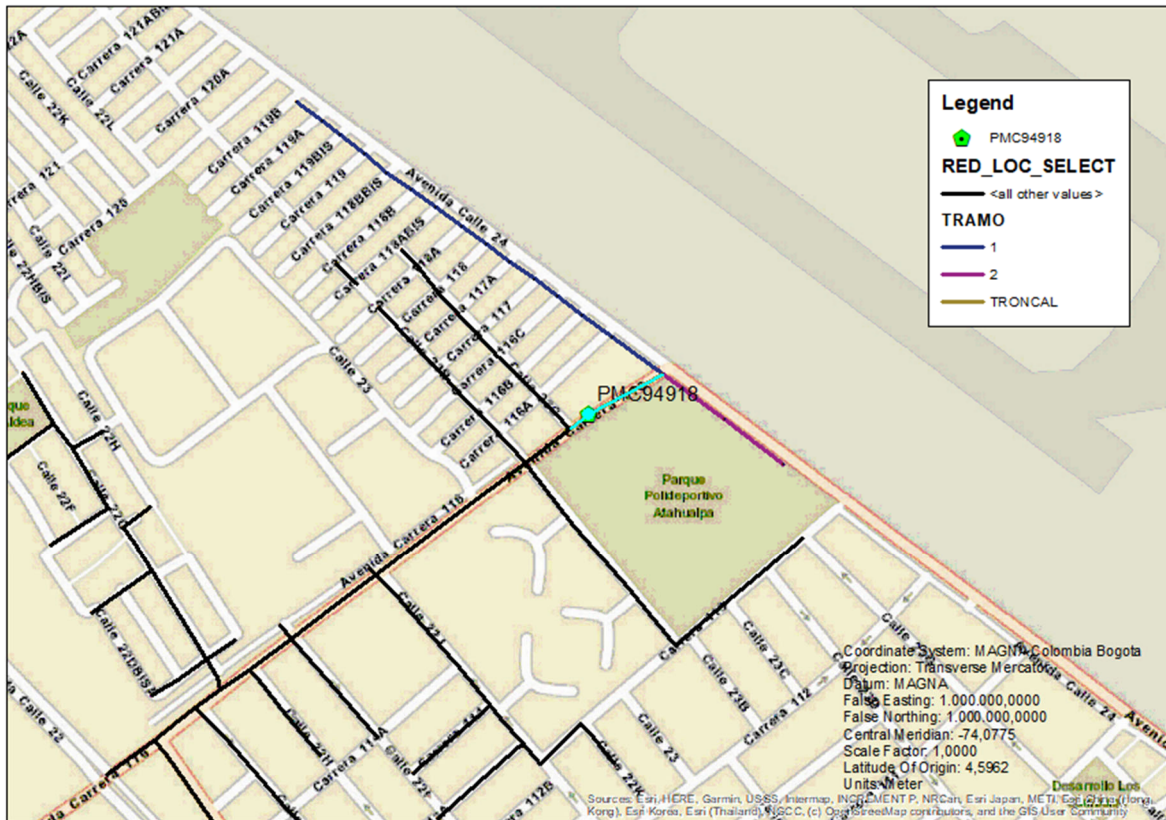


Ilustración 133. Tramos analizados y nodo de salida.

✓ **TAMO 7, TRONCAL ANDEN 5 y TRONCAL ANDEN 1**

Teniendo en cuenta que los tramos 7, troncal anden 5 y troncal anden 1 tienen en el mismo nodo de descarga (PMC94924) se puede evaluar de manera conjunta, teniendo claridad de que en los tramos evaluados se implementó alcorques inundables, cuentas verdes o zanjas de infiltración. Adicionalmente es importante aclarar que se realiza la evaluación conjunta con pavimentos porosos debido a que aguas arriba del nodo de descarga (PMC94924) se realizó la implementación de esta tipología. En este sentido en la Tabla 46 se evidencian los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios.

<b>TRAMO 7, TRONCAL ANDEN 5 y TRONCAL ANDEN 1- Node PMC94924</b>					
<b>ESCENARIO</b>	<b>ESC 0 - MODELACION EXISTENTE</b>	<b>ESC 1 - ACTUAL + ALCORQUES INUNDABLES</b>	<b>ESC 2 - ZANJAS DE INFILTRACION</b>	<b>ESC 3 - CUNETAS VERDES</b>	<b>ESC 6 - ACTUAL + PAVIMENTOS + ALCORQUES + ZANJAS</b>
<b>HORA PICO</b>	1:25:00	1:25:00	1:25:00	1:25:00	1:25:00
<b>CAUDAL PICO (LPS)</b>	1608	1607.73	1583.94	1588.71	1568
<b>% REDUCCION CAUDAL PICO</b>	N/A	0.02%	1.50%	1.20%	2.49%

*Tabla 46. Parámetros obtenidos en la modelación para Tramo 7, Troncal Anden 5 y Troncal Anden 1.*

Analizando los resultados obtenidos se evidencia que el escenario 6, el cual representa la implementación de pavimentos porosos, alcorques inundables y zanjas de infiltración, genera el mayor porcentaje de disminución del caudal pico (2.49%) para los tamos analizados. Si se compara los escenarios en los cuales se aplicó una única tipología (escenarios 1, 2 y 3) se evidencia que la implementación de zanjas de infiltración o cunetas verdes generan una disminución intermedia en el valor del caudal pico (1.50% y 1.20% respectivamente), mientras que la implementación de alcorques inundables no genera una disminución significativa (0.02%).

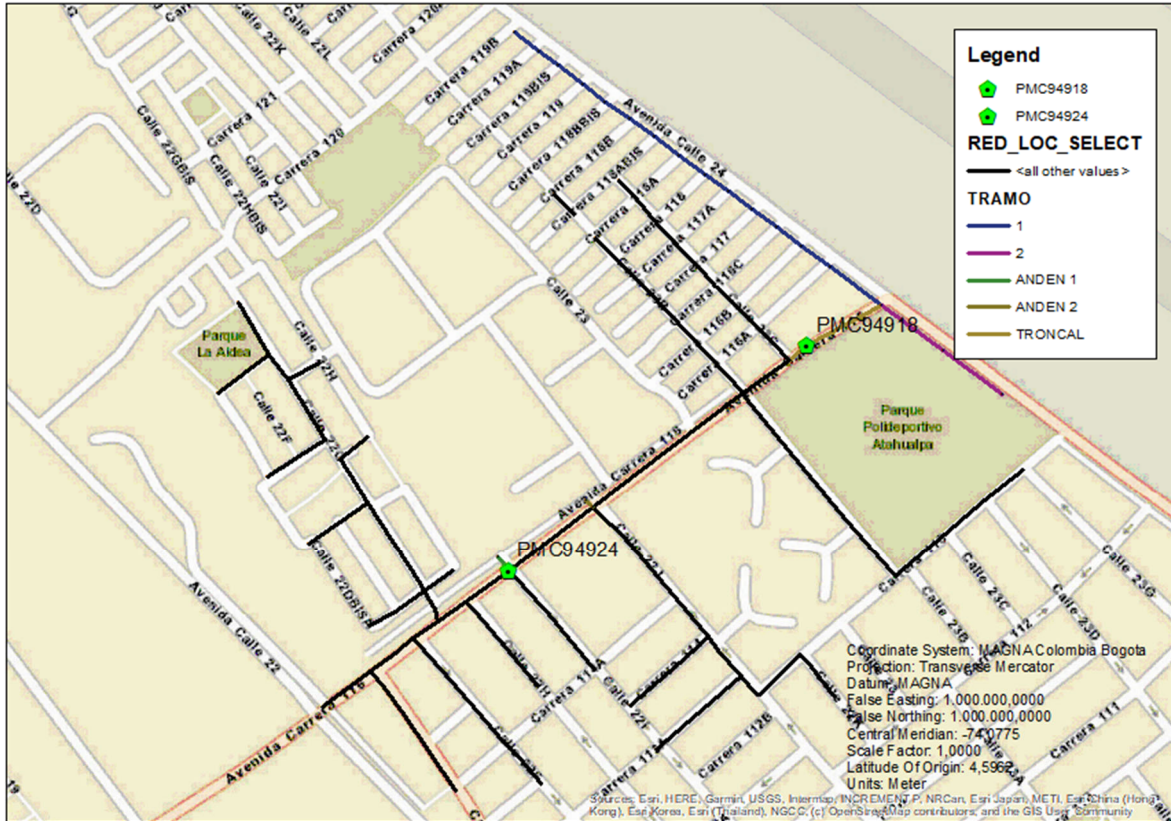
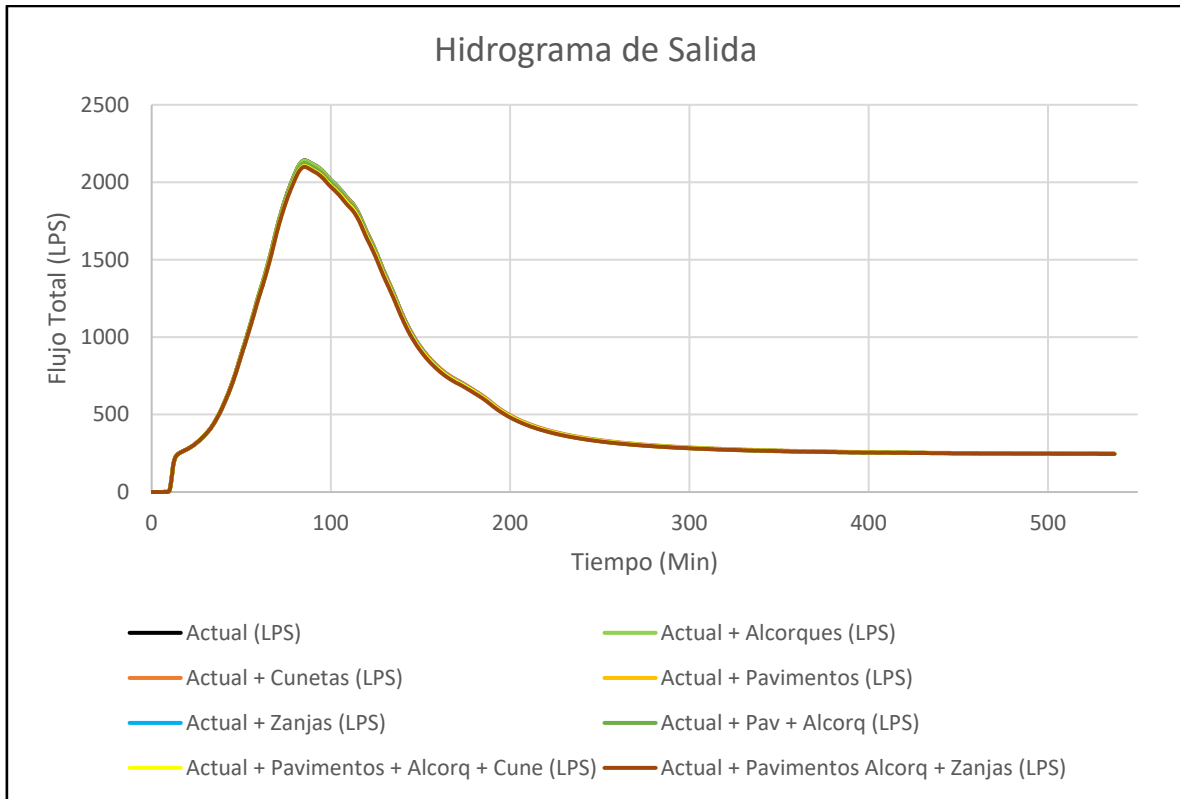


Ilustración 134. Tramos analizados y nodo de salida.

✓ **NODO DE SALIDA (TODOS LOS TRAMOS)**

Se realiza la evaluación para cada una de las tipologías de manera independiente y posteriormente su combinación, es decir; se analiza cada uno de los escenarios en el nodo final de descarga del proyecto denominado SALIDA, obteniendo los siguientes resultados de distribución de caudal o hidrograma.



*Ilustración 135. Hidrograma de salida en cada escenario.*

Teniendo en cuenta que en la Ilustración 135 no se logra visualizar la diferencia entre cada uno de los hidrogramas, en la Ilustración 136 se realiza un acercamiento de detalle a la curva en su punto más alto, es decir el caudal pico en cada escenario.



Se calcula el volumen total de cada alternativa junto con su porcentaje de reducción en comparación con el volumen obtenido en el escenario del estado actual de la red.

ESCENARIO	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
	Actual (m <sup>3</sup> )	Actual + Alcorques (m <sup>3</sup> )	Actual + Zanjas (m <sup>3</sup> )	Actual + Cunetas (m <sup>3</sup> )	Actual + Pavimentos (m <sup>3</sup> )	Actual + Pavimentos + Alcorques (m <sup>3</sup> )	Actual + Pavimentos + Alcorques + Zanjas (m <sup>3</sup> )	Actual + Pavimentos + Alcorques + Cunetas (m <sup>3</sup> )
<b>Volumen Total (m<sup>3</sup>)</b>	18618.5292	18616.7058	18479.1537	18598.8357	18451.6842	18449.8644	18309.1824	18430.1715
<b>% de diferencia</b>	N/A	0.00979347	0.74858491	0.105773661	0.896123417	0.905897551	1.661499663	1.011667989

Tabla 48. Diferencia de volumen en la salida en cada escenario.

Con el objetivo de visualizar de manera más clara la diferencia en el valor del volumen de cada uno de los escenarios respecto al escenario actual, se grafican los resultados obtenidos.

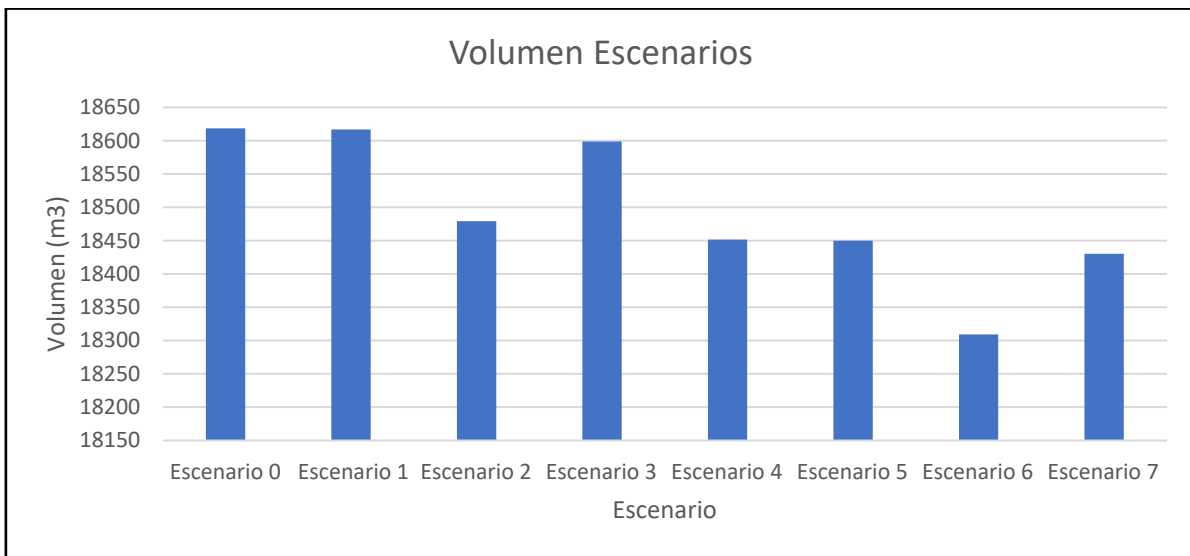


Ilustración 137. Volumen por escenario.

Al analizar los resultados obtenidos se evidencia que el escenario 6, el cual representa la implementación conjunta de pavimentos porosos, alcorques inundables y zanjas de infiltración genera el mayor porcentaje de disminución del caudal pico (1.972%) y mayor disminución en el volumen de salida del sistema (1.66%), por lo cual la implementación de estas tipologías es la más recomendable en la zona de estudio.



## **Capítulo V**

### **Conclusión y prospectivas**

Según el presente proyecto se identificó de manera clara que al interior de la ciudad de Bogotá existen un número importante de zonas afectadas por los fenómenos de inundación producto de los encharcamientos, tal como se evidencio en el barrio ATAHUALPA, caso de estudio escogido para el desarrollo del proyecto. Esto se determinó al realizar la comparación de la información secundaria obtenida de entidades tales como IDIGER, EAAB e IDEAM, las cuales poseen la caracterización de las diferentes zonas de riesgo teniendo en cuenta sus propiedades hidrológicas, topográficas e hidráulicas.

El informe sobre investigación y desarrollo de las tecnologías y/o topologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá y la Guía Técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) publicado por la Universidad de los Andes y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá los cuales hacen parte de la normatividad vigente (NS 166), son los documentos técnicos base que sirven como guía para la localización, selección y dimensionamiento de las diferentes tipologías de SUDS al interior de la ciudad de Bogotá. Sin embargo, los parámetros de estos documentos no se encuentran totalmente correlacionados con los establecidos en el programa SWWM V5.1, el cual permite su modelación.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, principalmente a la norma NS 166 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, se identificó que las tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible que más se adaptan a las características propias de la ciudad de Bogotá corresponden a; alcorques inundables, zanjas de infiltración, cunetas verdes, zonas de bio-retención, pavimentos porosos, humedales artificiales y cuencas secas de drenaje extendido. Ahora bien, teniendo estas como las principales tipologías posibles para la implementación en proyectos dentro de la ciudad, se analizó cada una de sus características, beneficios y limitaciones y se determinó que aquellas que más se adaptaban al caso de estudio son alcorques inundables, zanjas de infiltración cunetas verdes y pavimentos porosos. Teniendo en cuenta que se realizó énfasis en las tipologías que se podrían realizar a partir de la estructuración de proyectos gubernamentales.

Antes de realizar la modelación de estructuras adicionales como los SUDS, se debe realizar la modelación y validación de la red de alcantarillado pluvial existente, con información verídica que permita plasmar la realidad de la zona con mayor grado de asertividad, dado que, al analizar la capacidad y el estado del sistema en los diferentes escenarios, esta será la base para comparar los resultados obtenidos.

Con base en la información recopilada de las diferentes entidades encargadas de la construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado de la ciudad de Bogotá, se implementó el software SWMM para la construcción del modelo que simula el estado actual de la red de alcantarillado pluvial en la zona de estudio escogida, se evidenció en el diagnóstico realizado, a partir de la información secundaria de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que la red se encuentra operando correctamente en la mayor parte del tiempo. Sin embargo, en la zona se ha evidenciado históricamente la ocurrencia de evento de inundación producto de los encharcamientos, por lo cual la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible representa una alternativa viable para la atención de esta problemática.

En el presente proyecto se documenta la modelación del alcantarillado pluvial en la zona de estudio, realizando énfasis en su capacidad y valores de caudales pico, tanto en su estado actual como posterior a la implementación de diversas tipologías de SUDS acordes al espacio disponible en cada uno de los tramos que componen el sistema. El escenario 6, el cual corresponde a la implementación de pavimentos poroso junto con alcorques inundables y zanjas de infiltración, genera el mayor porcentaje de disminución en el caudal pico y volumen de salida del sistema.

Con el presente proyecto se evidencia la problemática presentada por la falta de planeación del ordenamiento territorial al interior de la ciudad. Dado que, si se contemplaran las tipologías disponibles desde el momento de la concepción del proyecto de construcción de alcantarillado y/o desarrollo urbano, se generaría un mayor beneficio, teniendo en consideración que aquellas estructuras que presentaron mejores resultados corresponden a aquellas cuyos requerimientos de espacio disponible son mayores, como en el caso de los pavimentos porosos y cunetas verdes.

Una vez comparados los diferentes escenarios de la implementación de las tipologías escogidas, se evidencia claramente que los resultados obtenidos presentan un mayor grado de disminución en el valor del caudal pico en las simulaciones en las cuales se realizó

combinaciones de las tipologías. Por tal razón, se recomienda realizar una implementación conjunta de tipologías haciendo uso de trenes de SUDS.

Para futuros proyectos se recomienda contemplar escenarios que implementen tipologías adicionales, tales como tanques de almacenamiento y techos verdes en zonas residenciales, los cuales podrían generar una disminución representativa en el caudal pico que sale del sistema. Cabe resaltar que las tipologías anteriormente mencionadas no fueron consideradas para el presente ejercicio académico ya que se basó la selección de las mismas teniendo en cuenta el espacio público disponible de la zona que podrían ser estructurados a partir de proyectos concebidos únicamente desde entidades públicas. Sin embargo, para futuros casos se podría evaluar la problemática desde la estructuración de proyectos entre entidades públicas y privadas que permitieran la implementación de tipologías como tanques de almacenamiento y techos verdes.

Adicionalmente, se recomienda implementar algoritmos de definición asociados con costos, facilidad constructiva, entre otros, que permitan determinar las tipologías óptimas para el caso de estudio.

A pesar de que la implementación de estos sistemas de estructuras conlleva costos representativos, es importante el compromiso de los urbanizadores y constructores con la sostenibilidad. Sobre todo, para proyectos nuevos, tanto a nivel de urbanización como de infraestructura, proyectos con buen manejo del recurso hídrico donde se reutilice el agua lluvia.

## Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). *Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá*.  
[www.bogota.gov.co](http://www.bogota.gov.co)
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022). *Datos Abiertos Bogotá*.  
<https://datosabiertos.bogota.gov.co/>
- Arias John. (2021). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en Bogotá*.  
<https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-en-bogota>
- Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes. (2015).  
*Informe sobre la investigación y desarrollo de las tecnologías y/o tipologías de SUDS que más se adapten a la problemática de la escorrentía urbana en la ciudad de Bogotá D.C.*
- Centro de investigación de Ingeniería Ambiental Universidad de los Andes. (2017). *Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*.
- DANE. (2021). *Boletín Técnico Encuesta Multipropósito Bogotá-Cundinamarca (EM) 2021*.
- Dutta, A., Torres, A. S., & Vojinovic, Z. (2021). Evaluation of pollutant removal efficiency by small-scale nature-based solutions focusing on bio-retention cells, vegetative swale and porous pavement. *Water (Switzerland)*, 13(17).  
<https://doi.org/10.3390/w13172361>
- EAAB. (2018). *Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) NS-166*.
- EAAB. (2020). *Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado NS-085*.
- EAAB. (2023). *Geoportal EAAB*.  
<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/otros-servicios/mapas/geoportal>

- EAB. (2023b). *La Infraestructura de Alcantarillado*.  
<https://www.acueducto.com.co/wpsportal/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la%20infraestructura%20de%20alcantarillado>
- IDEAM. (2017). *Mapas de amenaza por inundación*.
- IDIGER. (2018). *Proyecto actualización componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del plan de ordenamiento territorial*. [www.idiger.gov.co](http://www.idiger.gov.co)
- IDIGER. (2021). *Riesgo por Inundación - IDIGER*. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- IDU. (2023). *SIGIDU*. <https://webidu.idu.gov.co/sigidu/>
- Jha, A. K., Bloch, Robin., & Lamond, Jessica. (2012). *Guía para la Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Ciudades en el Siglo 21*. World Bank.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería. 2da Edición*.
- Morandi, C., Schreiner, G., Moosmann, P., & Steinmetz, H. (2021). Elevated vertical-flow constructed wetlands for light greywater treatment. *Water (Switzerland)*, 13(18).  
<https://doi.org/10.3390/w13182510>
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (2021). *IDU obtiene reconocimiento por sus Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. <https://oab.ambientebogota.gov.co/idu-obtiene-reconocimiento-por-sus-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible/>
- Peñalosa, E., Alcalde, L., De Bogotá, M., Ortiz, A., Secretario, G., Castaño Coordinador Del Pot, H., Restrepo González Consultor, E., Jácome, F., Senior, L. C., Duarte, • Edgar, & Consultor, Q. (2017). *Plan de ordenamiento territorial de Bogotá*.
- Rentschler Jun, & Salhab Melda. (2020). *En todo el mundo, 1470 millones de personas enfrentan riesgos de inundaciones: para más de un tercio de ellas, los efectos podrían ser devastadores*. <https://blogs.worldbank.org/es/datos/en-todo-el-mundo-1470-millones-de-personas-enfrentan-riesgos-de-inundaciones>
- Sanchez Paula. (2019). *“Las inundaciones en las ciudades plantean un grave desafío para la vida de los que las habitamos” | iAgua*.  
<https://www.iagua.es/noticias/eltiempo/es/inundaciones-ciudades-plantean-grave-desafio-vida-que-habitanos>

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2022). *INFORME DE VIGILANCIA O INSPECCIÓN ESPECIAL, DETALLADA O CONCRETA.*

Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80–86.  
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>

Tucci.M, C. E. (2006). *Gestión de Inundaciones Urbanas.*

USDA (U.S. Department of Agriculture). (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds.*

Ven Te Chow. (1994). *Hidraulica De Canales Abiertos.*

## **Anexo 1. Memorias de calculo**

## **Anexo 2. Modelación SWWM**



### **Anexo 3. Información secundaria**