

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS
DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS), EN EL SECTOR DE CHAPINERO
ALTO, BOGOTÁ. COLOMBIA.**

**DAVID FELIPE CAYCEDO VILLARRAGA.
JUAN SEBASTIÁN MORALES JUYO.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.
BOGOTÁ D.C.
2017**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS
DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS), EN EL SECTOR DE CHAPINERO
ALTO, BOGOTÁ. COLOMBIA.**

**DAVID FELIPE CAYCEDO VILLARRAGA.
JUAN SEBASTIÁN MORALES JUYO.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR
HENRY ALBERTO CÓRDOBA
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.
BOGOTÁ D.C.
2017**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 10 de noviembre 2017.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3. OBJETIVOS	5
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
4. JUSTIFICACIÓN	6
5. DELIMITACIÓN Y ALCANCE	7
6. ANTECEDENTES	9
7. MARCO REFERENCIAL	12
7.1. MARCO TEÓRICO	12
7.1.1. Sistemas de drenaje convencional	14
7.1.2. Sistemas de drenaje no convencional	14
7.1.3. Tipología de los sistemas de drenaje urbano	15
7.1.3.1. Tanques de almacenamiento de aguas lluvias	15
7.1.3.2. Sistemas de techos verdes	16
7.1.3.3. Drenes filtrantes	16
7.1.3.4. Cunetas verdes	17
7.1.3.5. Zonas de bio-retención.....	17
7.1.3.6. Superficies permeables.....	18
7.2. MARCO CONCEPTUAL.....	18
7.3. MARCO HISTÓRICO	20
7.4. MARCO LEGAL.....	21
8. METODOLOGÍA	24
8.1. VISITA Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
8.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL SECTOR	26
8.2.1. Datos faltantes.....	27
8.2.2. Análisis de dobles masas	29

8.2.3.	Determinación de propiedades geométricas del sitio.....	30
8.2.4.	Tiempo de concentración	31
8.2.5.	Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)	32
8.2.6.	Precipitación media.....	34
8.2.7.	Cálculo de caudal pico	36
8.2.7.1.	Método racional	37
8.2.7.2.	HIDROGRAMA UNITARIO	37
8.2.8.	CÁLCULO DE INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL	41
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
9.1.	DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA.....	44
10.	CONCLUSIONES	48
11.	RECOMENDACIONES.....	50
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	ANEXOS.....	54

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Entes encargados del diseño y construcción de proyectos de SUDS según la zona de implementación.....	9
Tabla 2. Legislación vigente a nivel nacional.	21
Tabla 3. Legislación vigente a nivel distrital.....	22
Tabla 4. Estaciones de precipitación, identificación y ubicación - Tabla resumen.....	27
Tabla 5. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Centro Medición ANDES.	28
Tabla 6. Parámetros de diseño de tiempo de concentración del lugar.	31
Tabla 7. Ecuaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.	31
Tabla 8. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, IDF, para Colombia.	33
Tabla 9. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación - Centro de Medición Andes.....	33
Tabla 10. Áreas de Polígonos de Thiessen en Hectáreas.	36
Tabla 11. Precipitación media por el método de los Polígonos de Thiessen.....	36
Tabla 12. Parámetros de hidrograma unitario adimensional del SCS.....	39
Tabla 13. Caudales obtenidos - Método del hidrograma unitario del <i>United States Soil Conservation Service (SCS)</i>	40
Tabla 14. Parámetros de infiltración de <i>Green-Ampt</i> para varias clases de suelos.....	42
Tabla 15. Dimensionamiento estructura.....	45
Tabla 16. Análisis de tubería a tubo medio lleno por MANNING.	46
Tabla 17. Coeficientes de rugosidad de MANNING	47
Tabla 18. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Emmanuel d'Alzón.....	63
Tabla 19. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Jardín Botánico.	64
Tabla 20. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Venado Oro Vivero.	65
Tabla 21. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación - Emmanuel d' - Alzón.....	69
Tabla 22. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación Jardín Botánico.	71
Tabla 23. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación Venado Oro Vivero.....	73
Tabla 24. Coeficiente de escorrentía C, según el tipo de área de drenaje.....	75

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica. 1 Análisis de doble masa - Estación Centro Medición Andes.....	29
Gráfica. 2. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación - Centro de Medición Andes.....	34
Gráfica. 3. Hidrograma unitario obtenido - Método SCS.....	41
Gráfica. 4. Análisis de doble masa - Estación Emmanuel d' - Alzón.....	66
Gráfica. 5. Análisis de doble masa - Estación Jardín Botánico.....	67
Gráfica. 6. Análisis de doble masa - Estación Venado Oro Vivero.....	68
Gráfica. 7. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación -Emmanuel d'Alzón.....	70
Gráfica. 8. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación Jardín Botánico.....	72
Gráfica. 9. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación - Venado Oro Vivero.....	74

LISTADO DE FIGURAS.

Figura 1. Área de estudio, sector de Chapinero Alto, Bogotá. Colombia.....	7
Figura 2. Estructura ecológica principal de la localidad de Chapinero.....	13
Figura 3. Tanque de almacenamiento de aguas lluvias.	15
Figura 4. Techo verde.	16
Figura 5. Cuneta verde.....	17
Figura 6. Modelación en ArcMap 10.3 de la Ciudad de Bogotá D.C. - Coordenadas y lugar de estudio.....	30
Figura 7. Modelación por ArcMap - Polígonos de Thiessen del sector.	35
Figura 8. Corredor de la carrera Séptima con calle 74.	54
Figura 9. Dren filtrante en el corredor de la carrera séptima.	55
Figura 10. Calle 72 con carrera Séptima, sentido occidente oriente.	56
Figura 11. Calle 72 con carrera Quinta.....	57
Figura 12. Sendero peatonal, quebrada La Vieja.	58
Figura 13. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J33.....	59
Figura 14. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J43.....	60
Figura 15. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J32.....	61
Figura 16. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J42.....	62
Figura 17. Plano de la zona de estudio.	76
Figura 18. Vista en corte del tanque para el dren filtrante.....	77

LISTADO DE ANEXOS.

Anexo 1. Corredor de la carrera Sèptima con calle 74	54
Anexo 2. Dren filtrante en el corredor de la carrera Sèptima.....	55
Anexo 3. Calle 72 con carrera Sèptima, sentido occidente oriente.	5615
Anexo 4. Calle 72 con carrera Quinta.....	5716
Anexo 5. Sendero peatonal, quebrada La Vieja.	58
Anexo 6. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J33.	59
Anexo 7. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J43.	60
Anexo 8. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J32.	61
Anexo 9. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J42.	62
Anexo 10. Valores totales mensuales de precipitación – Estación Emmanuel d’Alzón.	63
Anexo 11. Valores totales mensuales de precipitación – Estación Jardín Botánico.	64
Anexo 12. Valores totales mensuales de precipitación – Estación Venado Oro Vivero.....	65
Anexo 13. Análisis de doble masa – Estación Emmanuel d’Alzón.	66
Anexo 14. Análisis de doble masa – Estación Jardín Botánico.....	67
Anexo 15. Análisis de doble masa – Estación Venado Oro Vivero.....	68
Anexo 16. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación – Emmanuel d’Alzón	69
Anexo 17. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación – Emmanuel Jardín Botánico.....	71
Anexo 18. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación – Venado Oro Vivero.....	73
Anexo 19. Coeficiente de escorrentía C, según el tipo de área de drenaje	75
Anexo 20. Plano de la zona de estudio	76
Anexo 21. Vista en corte del tanque para el dren filtrante.....	77

GLOSARIO

ACUEDUCTO: Sistema o estructura por el cual se conduce el agua en grandes cantidades para abastecer una ciudad.

AGUA PLUVIAL: Es el agua proveniente del proceso de lluvias, es decir en forma de gotas causadas naturalmente.

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua presente por debajo de la superficie del suelo, alojada en los acuíferos.

ALCANTARILLADO: Sistema de drenaje convencional para transportar aguas.

CALIDAD DEL AGUA: Es el parámetro por el cual se distingue si el agua está en óptimas condiciones o no.

CAMBIO CLIMÁTICO: Variación del clima atribuida principalmente a la actividad humana que puede llegar a alterar la composición de la atmósfera y que se añade al cambio natural que sufre el clima en periodos notables.

CANAL: Conducto que transporta el agua para su distribución para un determinado uso.

CAPACIDAD HIDRÁULICA: La cantidad o eficacia de agua presente en una fuente o canal, medida en volumen por unidad de tiempo.

CAUCE: Espacio o cavidad del terreno por la cual transita el río, canal o cualquier corriente de agua en determinada zona.

COLECTOR: Conducto en el que se distribuyen las aguas provenientes de diversos ramales de una alcantarilla o sistema de drenaje.

COLMATACIÓN: Relleno de una fuente hídrica con materiales arrastrados y depositados por el agua.

CUENCA: Área definida que está drenada por un curso de agua y en donde todo el caudal efluente es distribuido de forma simple.

EMPOZAMIENTO: Es toda agua detenida en el terreno que llega a formar charcos o pozos.

ESCORRENTÍA: Agua de lluvia o pluvial que corre libremente por la superficie o terreno de algún lugar en específico.

FLUJO SUBSUPERFICIAL: Es el agua que se encuentra inmediatamente por debajo de la superficie del terreno.

GEOTEXTIL: Es una capa permeable, cuya función es impermeabilizar o permeabilizar alguna estructura según se requiera.

HIDROGRAMA: Representación gráfica del cambio de caudal, con respecto al tiempo.

IMPERMEABILIDAD: Es la capacidad de algún material para no dejar pasar el agua con facilidad.

INFILTRACIÓN: Proceso final del ciclo hidrológico en el que el agua se filtra por el terreno o suelo.

MATERIAL PÉTREO: Material proveniente de la roca, en forma de bloque, generalmente usado en concretos para mejorar la calidad del mismo.

PAVIMENTO: Estructura formada por capas compactadas de diferentes materiales, cuyo objetivo es la comunicación terrestre entre dos o más zonas.

PERIODO DE RETORNO: Se define como periodo de retorno al tiempo expresado en años en el que el valor del caudal pico es superado una vez.

PERMEABILIDAD: Capacidad de algún material de dejar filtrar el agua en su interior.

PLUVIOSIDAD: Hace referencia a la cantidad de agua lluvia que cae en un lugar determinado.

POLÍGONOS DE THIESSEN: Método por el cual es posible obtener la precipitación media de una cuenca, basado en la geometría del lugar.

POZO: Registro que permite el control e inspección de la red de saneamiento de determinado lugar.

SEDIMENTACIÓN: Es el proceso de separación de las partículas sólidas con respecto al fluido, por la acción de la gravedad.

SUMIDERO: Aberturas situadas en las cunetas de las calles no conectadas directamente a la red, se encargan de recoger la escorrentía de las calles.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: Es el tiempo requerido para que la escorrentía superficial drene desde la parte más lejana de la cuenca hasta el punto de interés.

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta la “Propuesta para la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en el sector de Chapinero Alto, Bogotá, Colombia”, por medio un análisis hidrológico en el sector.

La localidad de Chapinero no es ajena al comportamiento climático, es una zona de gran fluencia económica, residencial y con un alto porcentaje de zonas naturales hacia los cerros orientales de la ciudad.

En este documento se presentarán las diferentes tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible-SUDS, su caracterización y forma de trabajar, sin embargo, se presentará el diseño de un dren filtrante como propuesta para dar solución a los problemas que se reflejan en las calles de Bogotá en épocas de gran pluviosidad, por ejemplo, “Fuertes lluvias generaron inundaciones en Bogotá. Tráfico lento y choques simples son las dos principales consecuencias por las lluvias que cayeron en la capital”¹.

Es importante especificar que el área de estudio para el presente trabajo de investigación se encuentra situada en la localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá D.C. comprendida entre la carrera Séptima y la avenida “Circunvalar” y las calles 70 y 74, el diagnóstico del sector permitirá determinar si la implementación de SUDS es la mejor solución a los sistemas de drenaje.

¹(Revista Semana, 2016)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el FOPAE:

“La generación de procesos no planificados de urbanismo en la zona comprendida entre las quebradas Arzobispo y La Vieja, ha generado una condición de amenaza alta a la ocurrencia de procesos erosivos que aumentan el volumen de sedimentos que son transportados por las corrientes, ocasionando la obstrucción parcial de los cauces y potenciando la generación de represamientos o flujos torrenciales, aunque la amenaza por inundación sea baja.

Los eventos recurrentes en la localidad corresponden a desbordamientos de agua con alto contenido de sedimentos localizados principalmente sobre la carrera 7ª entre calles 45 a 72, asociados a las quebradas Arzobispo, Las Delicias, La Vieja y Rosales”. (Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogotá - Colombia., 2006)

Los sistemas de drenaje convencional instalados en la localidad no satisfacen las condiciones básicas de seguridad en épocas de alta pluviosidad, los residuos sólidos se acumulan en las redes de alcantarillado pluvial y generan grandes presiones y velocidades dentro del sistema.

La solución que se presenta en el siguiente texto es la implementación de los mejores sistemas urbanos de drenaje sostenible, que se adapten a las condiciones poblacionales y estructurales, con una capacidad hidráulica suficiente para que no se presente la acumulación de escorrentía superficial y que así mismo permita el correcto manejo del agua lluvia.

¿Se ajusta a un sistema convencional de drenaje la implementación de SUDS en la localidad de Chapinero?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer el mejor sistema de drenaje urbano sostenible, SUDS, que se adapte a las condiciones propias, de control y regulación de aguas lluvias en el sector de Chapinero Alto.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1.** Diagnosticar las condiciones que afectan el drenaje de la zona, para así poder plantear alternativas de solución no convencional, como lo son los SUDS.
- 3.2.2.** Verificar la implementación de los drenes filtrantes de acuerdo con la urbanística presentada en la zona de la calle 72 con carrera Séptima.
- 3.2.3.** Plantear la mejor forma de intervención al problema de recolección de aguas lluvias en una zona de constante crecimiento urbanístico.

4. JUSTIFICACIÓN

Las grandes ciudades, que están siendo urbanizadas en pro de la sociedad y su economía, deben considerar el impacto ambiental que conlleva este crecimiento, “se altera el ciclo natural del agua, produciéndose mayores volúmenes de escorrentía y mayores caudales punta. Además impide que la lluvia se infiltre en el terreno y recargue los acuíferos”².

Como especifica Alicia Loro Cubel, el análisis para la implementación de los SUDS se realiza con la finalidad de lograr:

“La captación de la escorrentía superficial generada tras un evento de lluvia para luego ser almacenada, filtrada, reutilizada y/o infiltrada en el terreno natural, posibilitando la disminución de volúmenes de agua en superficie, así como la reducción de la carga de contaminantes de éstas antes de introducirla de nuevo al sistema de alcantarillado”. (Cubel, 2016).

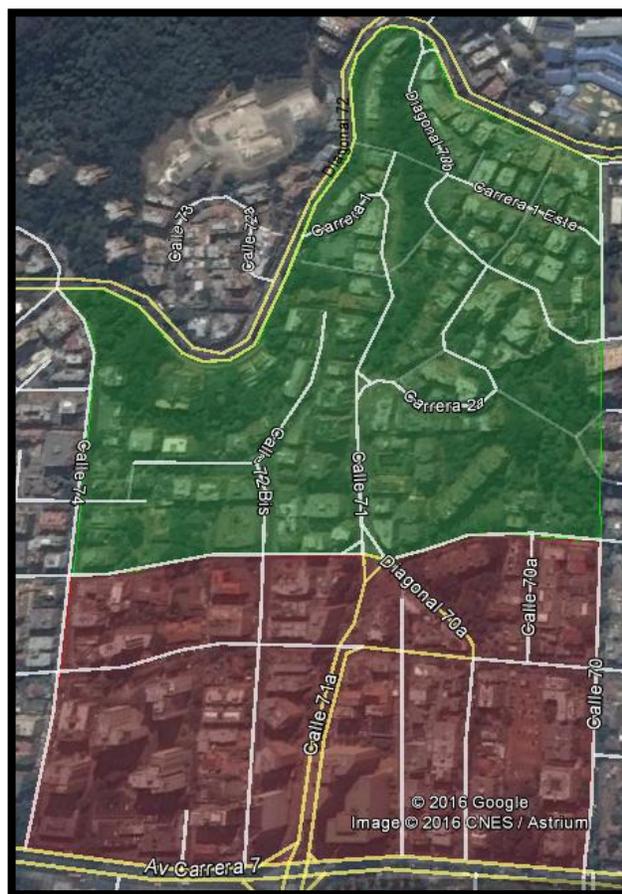
Esta implementación debe ser un complemento a los sistemas de drenaje de Bogotá, se busca lograr un mejor manejo de escorrentía superficial, reducción de la velocidad del agua dentro del sistema de drenaje y alcantarillado pluvial, con el fin de mejor calidad de agua y beneficios para la localidad de Chapinero, pues, es una zona de gran fluencia económica, residencial y con un alto porcentaje de zonas naturales hacia los cerros orientales de la ciudad, entre éstas, se encuentra la quebrada ‘La Vieja’.

²(Hidrología Sostenible)

5. DELIMITACIÓN Y ALCANCE

El área de estudio para el presente trabajo de investigación se encuentra situada en la localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá D.C. comprendida entre la carrera Séptima y la avenida “Circunvalar” y las calles 70 y 74, como se observa en la figura 1. El diagnóstico del sector permitirá determinar si la implementación de SUDS es la mejor solución a los sistemas de drenaje.

Figura 1. Área de estudio, sector de Chapinero Alto, Bogotá. Colombia.



Fuente: Google Earth 2017.

A partir de la figura 1, el color rojo representa la delimitación para la zona crítica, comprendida entre la carrera Séptima y la carrera Cuarta entre las calles 70 y 74, es una zona donde se observa el proceso de urbanización y se encuentran por

ejemplo: entidades bancarias, hoteles, restaurantes, grandes edificios administrativos, gimnasios, etc.

El color verde representa la delimitación para la zona de manejo ambiental, comprendida entre la carrera Cuarta y la avenida "Circunvalar" entre las calles 70 y 74, es una zona donde se observa el que el proceso de urbanización ha respetado al medio ambiente, cerca de los Cerros Orientales de la ciudad se encuentra uno de los más grandes tesoros ambientales; las quebradas siempre han sido parte importante de nuestro ecosistema y es por eso que se ha hecho prioritaria la conservación y restauración de las mismas, para este caso se tienen las quebradas "La Vieja" y "Los Rosales".

En el presente proyecto se plantea la propuesta para la mejor alternativa de SUDS, teniendo en cuenta que el funcionamiento de éste se debe adaptar a las condiciones presentadas en la zona de estudio.

6. ANTECEDENTES

Según el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental:

“Desde los Artículos 79 y 80 de la Constitución de Colombia es posible identificar aspectos ambientales relacionados con la protección al medio ambiente, y de ahí en adelante, leyes, decretos y artículos que fueron evolucionando en pro de un desarrollo urbanístico sostenible. Un paso importante se dio en el año 2009 con la creación de una subdirección distrital de Eco-urbanismo y Gestión Ambiental Empresarial encargada exclusivamente de este aspecto”. (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2015)

La Secretaría Distrital de Ambiente y el SEGAE han generado el Documento técnico de soporte (DTS)-Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para el Plan de ordenamiento zonal norte (POZN), tiene como objetivo específico la “conservación de la biodiversidad, el agua, el aire y, en general, del ambiente deseable para el hombre, la fauna y la flora” (Subdirección de Eco-urbanismo y Gestión Ambiental Empresarial SEGAE, 2011). La adopción final del POZN se dio mediante el artículo 7 del decreto 043 de 2010 que tiene como objetivo la “consolidación de un sistema de recolección de aguas lluvias y aguas negras, integrado al sistema de tratamiento del río Bogotá para el saneamiento y recuperación de los cauces y canales existentes y previstos”³.

Tabla 1.Entes encargados del diseño y construcción de proyectos de SUDS según la zona de implementación.

Zona	Elaboración de diseños detallados y construcción	Aprobación, seguimiento y monitoreo del
Sub-Sistema vial	Instituto Distrital de Desarrollo Urbano	-
Espacio público-parques	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Eco-urbanismo de la SDA
Espacio público-red andenes, malla vial local e intermedia	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Eco-urbanismo de la SDA

³ (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2015)

Estructura ecológica principal	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo	Subdirección de Eco-urbanismo de la SDA
Estructura socioeconómica y espacial	Promotor de la zona y futuro constructor	Subdirección de Eco-urbanismo de la SDA

Fuente: (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, 2015).

Bogotá está siendo afectada en ámbitos socio-económicos, ambientales y de movilidad debido a un crecimiento urbano considerable. Es necesario el planteamiento de una solución para que la escorrentía superficial no supere la capacidad de los sistemas de drenaje convencional y mejore las condiciones de la sociedad.

Las técnicas de drenaje sostenible se han implementado a lo largo del mundo pues, los riesgos ambientales que se afrontan actualmente requieren soluciones viables, por ejemplo:

- En Australia se propuso el término de Diseño Sensible al Agua (WSUD) que se refiere en principio al desarrollo de manera sostenible de la gestión urbana del agua en las ciudades para disminuir la contaminación ambiental y lograr un entorno más amigable.
- En Estados Unidos y Canadá se emplean los denominados LID o Desarrollo de Bajo Impacto, que promueven la interacción de los procesos naturales para cuidar el entorno para la gestión del agua, además de la conservación por medio de controles hidrológicos para contrarrestar los impactos causados por la urbanización desmedida⁴.
- En Nueva Delhi-India, se propusieron cuatro técnicas de drenaje para combatir y reducir el alto grado de contaminación que se produjo en el río Yamuna, única fuente hídrica en los últimos años⁵.
- En países como Dinamarca, Nueva Zelanda, Países Bajos, Suecia e incluso Irlanda se han centrado en estudiar posibles soluciones a partir de estos sistemas, como transformaciones de la infraestructura para la captación del agua enfocado a mitigar la contaminación provocada por las aguas pluviales y presentar un ambiente más sano a las ciudades.

Una ciudad como Bogotá D.C. debe tomar en consideración los beneficios que ha traído la implementación de estos sistemas en diferentes países, se obtendrían

⁴(Zhou, 2014)

⁵(Departament of Natural Resources, 2008)

grandes ventajas como un control de contaminación, reducción de cambios en el ciclo hidrológico y las recargas de aguas subterráneas.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1. MARCO TEÓRICO

Bogotá se localiza dentro de la zona de confluencia intertropical, la cual cruza la ciudad dos veces al año, situación que influye en el comportamiento de las lluvias produciendo dos épocas de lluvias que popularmente se denominan invierno. La primera se presenta en los meses de marzo, abril y mayo, y la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre⁶.

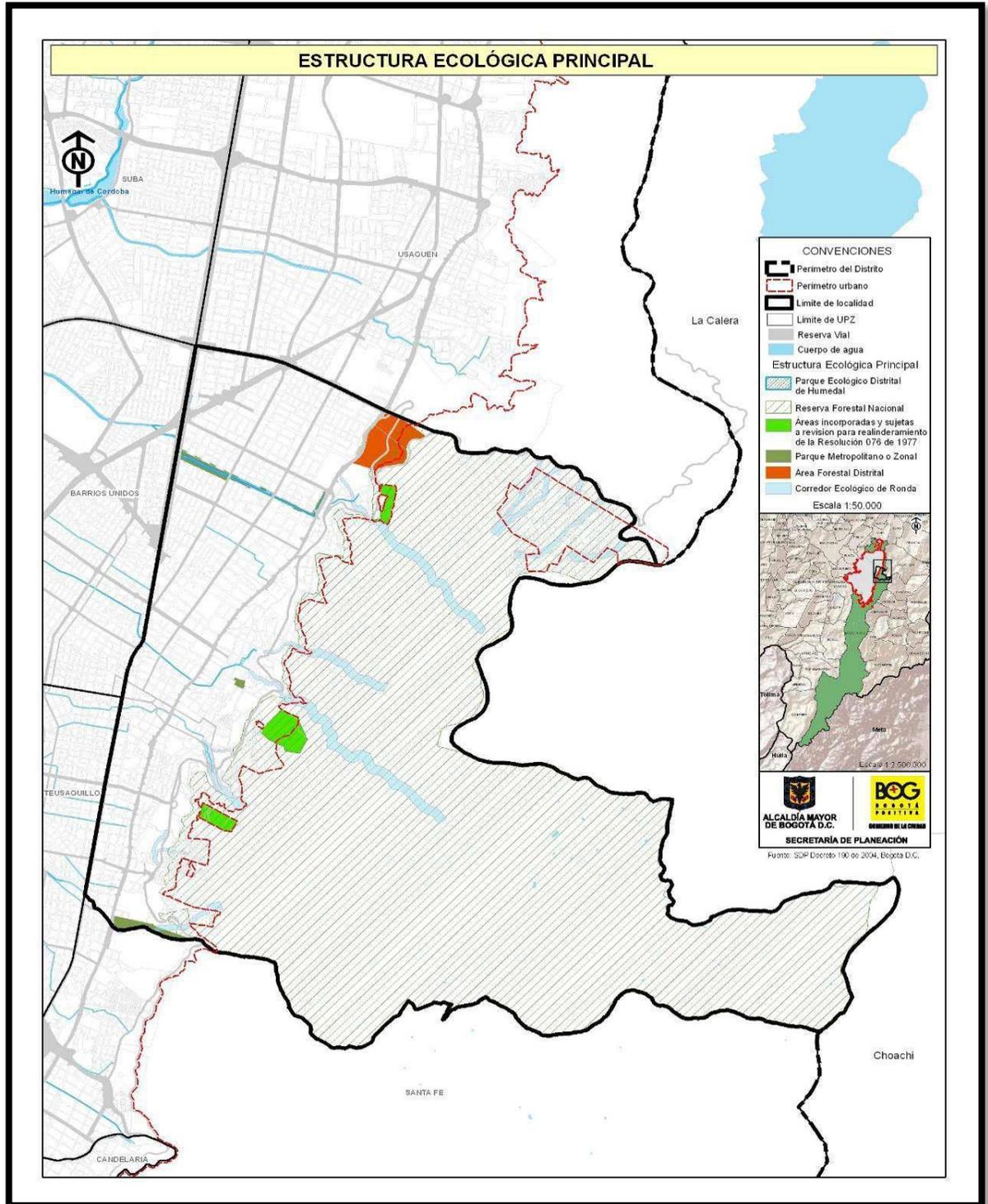
Según el plan ambiental local de chapinero para periodo 2013-2016:

“La localidad de Chapinero se ubica en el nororiente de Bogotá y limita, al occidente, con la autopista Norte, que la separa de la localidad de Barrios Unidos y Chapinero; al sur, con el canal del Arzobispo o la calle 39, que la separa de la localidad de Santa Fe; al norte con la calle 100 que la separa de la localidad de Usaquén, y al oriente con los municipios de La Calera y Choachí. Tiene una extensión total de 3.816 hectáreas (ha), de las cuales 1.316 se clasifican en suelo urbano y 2.500 se clasifican como áreas protegidas en suelo rural, lo que equivale al 65,5% del total de la superficie de la localidad. Chapinero es la novena localidad con mayor extensión del Distrito”. (Alcaldía de Chapinero, 2013-2016).

La urbanización desmedida genera el aumento de sitios impermeables que producen altos niveles de escorrentía y una disminución en los tiempos de retención del suelo, por lo que es mucho más probable que aumente la posibilidad de inundaciones en todo su entorno, provocando así inconvenientes de gestión y control de las aguas pluviales y su drenaje. Es importante entonces, conocer en primera instancia conceptos relacionados conjuntamente al tema.

⁶(Subdirección de Ecorbanismo y Gestión Ambiental Empresarial SEGAE, 2011)

Figura 2. Estructura ecológica principal de la localidad de Chapinero.



Fuente: Secretaría de Planeación, 2011.

Al empezar este proceso de investigación hidrológico es necesario remontarse a uno de los principios más importantes de dicha rama, el ciclo hidrológico es el proceso en el que el agua de precipitación, en una pequeña medida es captada por la vegetación y el restante se infiltra en el suelo en cantidades considerables. El agua que no se infiltra, es decir el agua interceptada por zonas verdes se convierte en escorrentía y de acuerdo con las condiciones o características del terreno, se dirige hacia cuencas o fuentes de agua como ríos o quebradas más cercanas. El agua infiltrada es evaporada, cerrando así el ciclo.⁷

7.1.1. Sistemas de drenaje convencional

Normalmente se usan sistemas de drenaje convencional para el tratamiento de las aguas lluvias, compuestos básicamente por tuberías y alcantarillados, sistemas de uso común para estos casos; pero durante los eventos de deliberada precipitación en ciudades como la de Bogotá, que está expuesta a cambios climáticos bruscos y a un crecimiento poblacional constante, este sistema se ha ido debilitando en cuanto a su uso se refiere, al ser sistemas con problemas de mala calidad de agua que llegan a causar una contaminación considerable.

7.1.2. Sistemas de drenaje no convencional

Por otro lado, se encuentran los sistemas de drenaje no convencional o los denominados SUDS que son todos aquellos elementos que componen el proceso de drenaje de algún lugar en específico. Los sistemas de drenaje sostenible tienen como objetivo captar y tratar de una forma más natural el proceso hidrológico, reduciendo así la contaminación producida por el agua de escorrentía, logrando que se infiltre en el terreno, y empezar con su ciclo normal.⁸

Ventajas de los sistemas de drenaje urbano, SUDS:

- Mejorar la calidad del agua.
- Restauración del flujo natural del agua.
- Protección de inundaciones y vertidos accidentales.
- Permitir el desarrollo de zonas con instalaciones colmatadas.
- Ofrecer estructuras estéticas.
- Recargar acuíferos.

⁷ (Jiménez Escobar, 1986 pág. 3)

⁸ (Abellán, 2016)

- Simplificar instalaciones urbanas.⁹
- Incrementar los niveles de infiltración.
- Retención aguas pluviales para reutilizar en diferentes actividades.
- Restauración paulatina del urbanismo para la ciudad, más áreas verdes.¹⁰

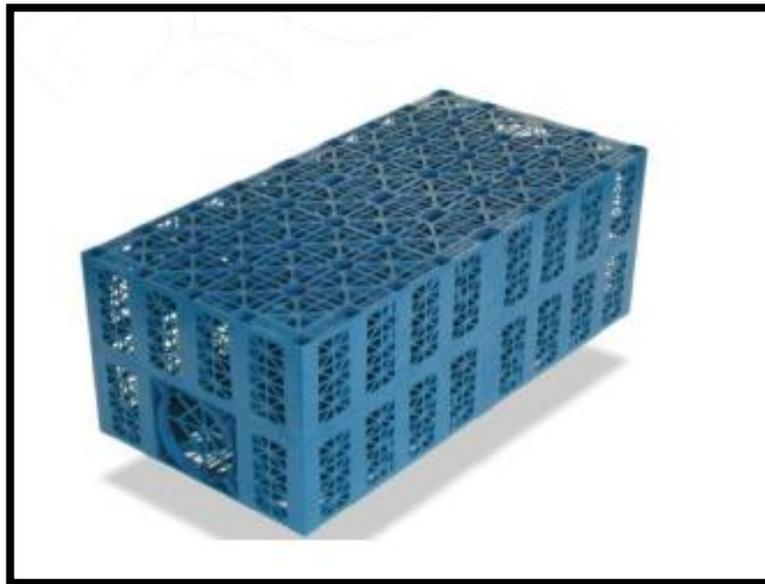
7.1.3. Tipología de los sistemas de drenaje urbano

Los sistemas de drenaje urbano, SUDS pueden ser:

7.1.3.1. Tanques de almacenamiento de aguas lluvias

Hace referencia a la construcción de tanques enterrados o no, que puedan captar y almacenar el agua pluvial con el objetivo de darles un uso no potable como el riego de zonas verdes o suministro de agua a sanitarios. Estos sistemas pueden captar aguas procedentes de cubiertas o de superficies duras de parqueaderos.

Figura 3. Tanque de almacenamiento de aguas lluvias.



Fuente: SEGAE, 2011.

⁹ (ECO@DMIN, 2014)

¹⁰ (Poletto, y otros, 2012)

7.1.3.2. Sistemas de techos verdes

Consisten en la implementación de zona vegetal en las cubiertas de los edificios, se usa vegetación capaz de soportar humedecimiento y secado, además de soportar cambios climáticos bruscos. Se debe implementar un sistema adecuado que logre evitar empozamientos. Para el diseño constructivo de cubiertas verdes deben ser considerados los diferentes elementos que la componen.

Los materiales utilizados para la impermeabilización de techos verdes, deben ser resistentes a la penetración de raíces. Si se requiere de tuberías o algún mecanismo de drenaje, éste tiene que ser construido de forma aislada al medio de soporte de la vegetación para evitar problemas futuros.

Figura 4. Techo verde.



Fuente: SEGAE, 2011.

7.1.3.3. Drenes filtrantes

Los drenes filtrantes son excavaciones poco profundas conformadas por materiales pétreos gruesos, que modelan un almacenamiento sub-superficial. Son capaces de captar la escorrentía proveniente de las vías por lo cual deben tener forma cóncava que permitan el almacenamiento de dicha escorrentía en el centro del elemento. Son los SUDS que tal vez requieren de mayor cuidado y

mantenimiento porque tienden a colmatarse con facilidad, es por eso que los materiales tienen que ser de gran calidad.

Estos drenes deben contar con un geotextil filtrante en las capas superiores del material de relleno para garantizar la debida permeabilización del agua de superficie. Por otro lado, este sistema tiene que estar aislado del terreno para garantizar su estabilidad e igualmente su próximo proceso constructivo.

7.1.3.4. Cunetas verdes

También son conocidas como *Swales* y básicamente son canales vegetalizados que transportan el agua de escorrentía como si fuesen cunetas normales, con la diferencia de que son capaces de captar y almacenar el agua de forma natural, produciendo el proceso de infiltración con mayor facilidad. Se pueden diseñar como canales abiertos, con números de Manning correspondientes a canales vegetados. Su velocidad de drenaje no podrá ser mayor a 1m/s.

Figura 5. Cuneta verde.



Fuente: SEGAE, 2011.

7.1.3.5. Zonas de bio-retención

Al igual que los drenes filtrantes, son zonas poco profundas que están conformadas por un sistema tri-capa con dren inferior que permite la remoción de

contaminantes, además de disminuir los picos de caudal. Luego de que el agua de escorrentía transita por este sistema, el agua se conduce por medio de redes de alcantarillado ya existentes que se conectan entre sí.

Las zonas de bio-retención se limitan a un área de 2 Hectáreas. Si el área es mayor, podrán ser drenadas dependiendo de las características del suelo en donde se implementarán, es decir condiciones tales como, presencia de nivel freático alto o que pueda castigar el desempeño del sistema de drenaje en un futuro.

Estas áreas deben estar divididas por tres capas de material, en primera instancia una capa que sea orgánica para la facilidad de infiltración, que permita el establecimiento de un ambiente de crecimiento de organismos degradantes de materia orgánica y con una permeabilidad que no obstruya el paso del agua hasta las capas más profundas. La segunda capa deberá ser un medio de plantado de vegetación que absorba nutrientes y demás microorganismos. Por último, la capa final, debe consistir en una franja de arena que proporcione un medio aeróbico con alto ajuste de drenaje a la capa superior.

7.1.3.6. Superficies permeables

Son superficies que se ajustan como medio para el tráfico peatonal o vehicular permitiendo la infiltración de aguas lluvias a las capas inferiores del pavimento o superficie. Esos sistemas de drenaje tienen como objetivo almacenar el agua pluvial, disminuyendo la cantidad de escorrentía que podría llegar a quedar en la superficie del mismo. Pero el sistema tiene como limitación, como cualquier pavimento una velocidad de circulación de 30 km/h. El sistema funciona de tal forma que la escorrentía se infiltra hasta un sub-dren que hace transitar el agua hacia redes locales de alcantarillado.

Este sistema de drenaje urbano debe estar conformado por superficies de grava, concreto o asfalto poroso o pavimentos articulados, para poder facilitar el paso de las aguas pluviales hasta las capas inferiores.¹¹

7.2. MARCO CONCEPTUAL

La necesidad de implementar un sistema urbano de drenaje sostenible es generada por el crecimiento poblacional de las ciudades, éste es uno de los

¹¹(Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

factores principales al que se le atribuye el cambio del ciclo hidrológico, sin embargo, ¿cómo se adapta la zona a los SUDS y cómo se une a un sistema convencional?

Según el libro de hidrología aplicada de Ven te Chow:

“El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo sub superficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, a medida que el ciclo hidrológico continúa” (Chow, y otros, 1994).

El desarrollo y crecimiento urbano de la población ha generado una disminución en los niveles de infiltración del agua precipitada, y a su vez un aumento en la escorrentía superficial. Es importante que el sistema de drenaje de la ciudad esté diseñado para darle el manejo adecuado, de lo contrario éste colapsará y afectará las condiciones de vida de los habitantes de la ciudad¹².

El análisis hidrológico permite determinar las características de precipitación, la tasa de infiltración, el caudal de diseño y el sistema urbano de drenaje sostenible SUDS que se adapte a las condiciones de la zona de estudio.

Cada uno de los parámetros del análisis hidrológico cumple una función importante, por ejemplo:

Existe una correlación entre la precipitación y la tasa de infiltración, pues, mientras que la precipitación nos permite medir la intensidad y la altura de caída de la lluvia sobre superficies planas, la tasa de infiltración es una medida para determinar la capacidad que tiene el suelo para absorber la precipitación o irrigación; el nivel de escorrentía superficial depende de la capacidad de infiltración del suelo con respecto a los niveles de precipitación de la zona.

Las curvas IDF o curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, son ajustes que presentan la intensidad de las aguas lluvias, relacionados con su tiempo de concentración y periodo de retorno. Normalmente están compuestas de:

¹² (SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution, 2014)

- Datos básicos de la estación de estudio.
- Ecuación generalizada para calcular la intensidad, en función de los coeficientes por región.
- Coeficientes para la ecuación de intensidades, para diferentes frecuencias o periodos de retorno.
- Información técnica correspondiente a la IDF.¹³

El caudal pico de diseño, es el caudal máximo generado por un cuerpo de agua en un evento de creciente. Se define por medio del análisis de resultados de las curvas IDF.

7.3. MARCO HISTÓRICO

A lo largo de los últimos años, la ciudad de Bogotá se ha visto afectada debido a inundaciones generadas por el manejo, regulación y control del agua pluvial, esto ha traído consecuencias negativas para los habitantes de la ciudad. “¿Hasta cuándo habrá lluvia en Bogotá? Son diez las localidades afectadas por los torrenciales aguaceros de los últimos días”¹⁴.

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) presentó un registro de estudio comprendido entre los años 2002 y 2013, en donde se concluye que de 10.501 eventos, el 50,4% corresponden a inundaciones y el restante a movimiento de masas, es decir, la ciudad de Bogotá es propensa a constantes precipitaciones de forma súbita¹⁵.

El sector de Chapinero se encuentra entre las localidades con mayor riesgo de inundación en épocas de invierno, principalmente porque cuenta con 21 de las 60 quebradas de Bogotá; es importante recalcar que las constantes lluvias colapsan los sistemas de drenaje pluvial ocasionando problemas de movilidad, entre otros.¹⁶

En mayo de 2005 se produjo el desbordamiento de la quebrada Las Delicias, debido a las altas lluvias, ocasionando problemas en las viviendas aledañas al lugar, además el agua que cubre las calles de Chapinero Alto bajó de los cerros con un alto porcentaje de sedimentos y de basura que generó un taponamiento en

¹³ (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014)

¹⁴(El Tiempo, 2017)

¹⁵(Almanza, 2014)

¹⁶(Caracol Radio, 2016)

el sistema de alcantarillado, impidiendo el paso del agua por el mismo, e inundando el sector.

De acuerdo con lo anterior se puede describir que la Localidad de Chapinero tiene una variación dentro del ciclo hidrológico, producido por el crecimiento urbanístico que se ha presentado a través del tiempo en este sector; 'Las Delicias' como fuente hídrica del distrito no contaba con protección forestal ni ambiental por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, ni la SDA en el momento de la inundación (2005), evidenciando la falta de prestación de servicios de las entidades¹⁷.

En el presente año, el desbordamiento del canal Torca afectó a varias localidades de la ciudad, una de ellas fue Chapinero, el barrio San Luis tuvo colapsos estructurales y problemas de tráfico, todo generado por los altos niveles de pluviosidad presentados en el mes de marzo¹⁸.

7.4. MARCO LEGAL

Con el paso del tiempo las políticas ambientales se han fortalecido, es responsabilidad de los entes distritales velar por el cuidado y la protección de los recursos ambientales. A continuación, se presentarán las legislaciones vigentes para la República de Colombia.

Tabla 2. Legislación vigente a nivel nacional.

NIVEL NACIONAL	
Constitución política de Colombia, capítulo III. De los derechos colectivos y del ambiente.	
Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

¹⁷(El Tiempo, 2005)

¹⁸(Publimetro, 2017)

Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas ¹⁹ .
--------------------	--

Fuente. Autores

Tabla 3. Legislación vigente a nivel distrital.

NIVEL DISTRITAL	
Decreto 528 de 2014	<p>"Por medio del cual se establece el sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital, se organizan sus instancias de dirección, coordinación y administración; se definen lineamientos para su funcionamiento y se dictan otras disposiciones". Según el artículo 1° capítulo I, el objeto del decreto es "Establecer el Sistema de Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital como subsistema del Sistema Hídrico del Distrito Capital, organizar sus instancias de dirección, coordinación y administración, y dictar los lineamientos que se requieren para su adecuado funcionamiento". Sin embargo, la implementación del Sistema Drenaje Pluvial Sostenible del Distrito Capital, tiene los siguientes objetivos generales:</p> <p>Recuperación del ciclo hidrológico. Reducción de riesgos de inundaciones y la adaptación al cambio climático. La conectividad de la estructura principal. La oferta del espacio público principal. Definir los componentes del sistema, las instancias o entidades encargadas de la orientación, dirección, coordinación y operación del mismo²⁰.</p>
	<p>"Por el cual se adopta la Política Pública de Eco urbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá, Distrito Capital 2014-2024". La idea de construir una ciudad más humana, se debe afrontar desde el urbanismo y la construcción; la equidad entre el desarrollo urbano y el ambiente rural ayudará a la sociedad a enfrentar el cambio climático. Los objetivos que se deben cumplir</p>

¹⁹(Corte constitucional, 2015)

²⁰(Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)

Decreto 566 de 2014	son los siguientes: <ul style="list-style-type: none">• Lograr que en las acciones de urbanismo y construcción se incorporen prácticas sostenibles.• Fortalecer la capacidad de respuesta institucional para la aplicación de prácticas sostenibles en urbanismo y construcción.• Promover incentivos que permitan que el sector de la construcción incorpore gradualmente criterios de sostenibilidad.• Lograr la apropiación de las prácticas de eco urbanismo y construcción sostenible, por parte de los diferentes sectores sociales²¹.
----------------------------	--

Fuente. Autores.

²¹(Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014)

8. METODOLOGÍA

Inicialmente se realiza la recolección de datos históricos de 4 estaciones meteorológicas (centro medición Andes, Jardín Botánico, Venado Oro Vivero, Emmanuel d' Alzon), éstas son aledañas a la zona de estudio y permiten realizar un análisis hidrológico preciso, está compuesto por: la determinación de las características geométricas del sector, el tiempo de concentración necesario para reducir la velocidad y el tiempo que demora un gota de agua en llegar al punto de desagüe de la tubería, la elaboración de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), la precipitación media, el caudal de diseño y la infiltración superficial.

8.1. VISITA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

El sector de Chapinero Alto, Bogotá, Colombia, comprendido entre la carrera Séptima y la avenida “Circunvalar” y las calles 70 y 74, se ha convertido en un punto de fluencia de actividades socio-económicas y culturales para la ciudad, para que el estudio de esta zona sea el adecuado se debe entender la magnitud, la importancia y el impacto que genera la localidad de Chapinero, ésta cubre 3.899 hectáreas, el 35.1% es considerado área urbana; el 23.1%, área amenazada; el 20.4%, área residencial, y el 21.2%, área rural protegida²²

De acuerdo con las investigaciones de la Cámara de Comercio de Bogotá, se presentan los aspectos económicos, sociales y empresariales más relevantes de la localidad de Chapinero²³

- En Chapinero predomina la clase alta: el 45% de los predios son de estrato 6, 11,7% estrato 5 y el 30,8% estrato 4.
- La localidad Chapinero tiene 136 mil habitantes (2% del total de la ciudad)
- Las actividades que más ocuparon personas residentes en Chapinero fueron: servicios (39,4%), comercio (17,4%), actividades inmobiliarias (17,3%), industria manufacturera (10%).
- En Chapinero, el 66% de las vías se encuentra en deterioro, de las cuales el 41% estaba en mal estado y el 25% en estado regular.
- En Chapinero se localiza el mayor número de empresas de Bogotá, 23.581, equivalente al 12%. La estructura empresarial de la localidad se

²²(Secretría Distrital de Cultura, Recreación y Deportes, 2008)

²³(Camara de Comercio de Bogotá, 2006)

concentra en el sector servicios (84%), industria (5,9%) y construcción (5,8%).

- En la localidad hay una alta presencia de microempresarios. Del total de empresas (23.581), 16.283 son microempresas que representaron el 69% de la localidad y el 9,3% de Bogotá.
- Los sectores económicos en los que se encuentra el mayor número de empresas de la localidad Chapinero son: servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler (30,2%), comercio (22,8%), intermediación financiera (8,4%) y hoteles y restaurantes (7%).
- El 29% de las empresas de la localidad Chapinero son personas naturales, y el 71% de personas jurídicas.
- En la localidad Chapinero se identificaron 10.707 posibles empresas que pueden articularse a las cadenas productivas de construcción e ingeniería civil, productos alimenticios, software, salud, textil y confección.
- La mayor parte de los recursos de la localidad se destinaron al área social (40,6%), principalmente para los programas de apoyo y fortalecimiento de la nutrición y la alimentación en la localidad y en los de mitigación de riesgos.

Teniendo en cuenta los aspectos de la investigación presentada, y con base en la visita diagnóstica que se llevó a cabo en el sector de Chapinero Alto, Bogotá-Colombia, se observa que hay una tendencia de mantenerse a través del tiempo, es decir, hay gran diversidad de actividad económica desde entidades bancarias, restaurantes, hoteles (se observa una gran cantidad de extranjeros, afecta el hecho de que este sector colinde con la quebrada La Vieja, un paisaje natural al alcance de todos, adicional es una zona ubicada estratégicamente para el desarrollo efectivo de los distintos tipos de negocio), instalaciones adecuadas para tener un uso tipo oficina de cualquier tipo (ingeniería, derecho, comercio internacional, etc.)

Éste es un sector donde se ha generado cultura ambiental, la cercanía a los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá ha hecho que se instalen muros y techos verdes, sistemas urbanos de drenaje sostenible que contribuyen al cuidado del agua, la conservación de la Quebrada La Vieja se ha vuelto prioridad para la comunidad en general, muchas personas comienzan a entender el valor que ésta representa.

Las grandes edificaciones ubicadas sobre la carrera Séptima, permiten que la localidad siga creciendo, generando y aportando un mayor número de microempresarios. A pesar de ser una zona netamente comercial y empresarial, la

cantidad de árboles plantados a lo largo de los corredores viales genera una tasa de infiltración importante y considerable para los sistemas de drenaje, estos contribuyen a disminuir las inundaciones que se generan por las constantes lluvias en la ciudad de Bogotá.

Se presentan imágenes que describen y dan percepción completa de la zona de estudio, (ver anexos 1, 2, 3, 4 y 5).

8.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DEL SECTOR

El análisis hidrológico es un estudio matemático y estadístico con el cual se obtiene la información requerida para el desarrollo de la investigación, se deben tener en cuenta las características hidrológicas de la zona por medio de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, éstas miden la precipitación registrada en un periodo de tiempo determinado²⁴.

A partir del análisis hidrológico se determinan los criterios de selección para la mejor propuesta de SUDS, por ejemplo: el intervalo y frecuencia de intensidad, curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF), tiempo de duración y periodo de retorno hasta obtener el caudal de diseño para la estructura.

Se debe proyectar un estudio hidráulico que permita realizar el diseño de un sistema de drenaje urbano, éste se debe adaptar a los criterios del análisis hidrológico, por ejemplo, caudal pico o caudal de diseño, velocidad del flujo, etc.

La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá suministró los planos donde se observa el detalle de los sistemas de drenaje existentes en la zona de estudio, (ver anexos 6, 7, 8, y 9). La información más relevante de estos planos es la dirección y extensión de los cauces “Los Rosales” y “La Vieja” que descargan en un sistema de alcantarillado combinado, es decir, se recolectan las aguas pluviales y las aguas residuales del mismo sector.

Sin embargo, se realizó un análisis hidrológico con base a la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales de Bogotá (IDEAM). Se escogieron 4 estaciones ubicadas alrededor de la zona de estudio, los datos de precipitación mensual y anual registrados durante el tiempo de servicio se presentan a continuación.

- Estación 21205730, Centro Medición Andes.

²⁴(Chow, y otros, 1994)

- Estación 21205710, Jardín Botánico.
- Estación 21205580, Venado Oro Vivero.
- Estación 21201230, Emmanuel d' Alzon.²⁵

Tabla 4. Estaciones de precipitación, identificación y ubicación - Tabla resumen.

NOMBRE DE ESTACIÓN	CÓDIGO DE ESTACIÓN	TIPO	LATITUD	LONGITUD
Centro Medición Andes	21205730	Convencional – Meteorológica	4.698167N	-74.036833W
Jardín Botánico	21205710	Convencional – Meteorológica	4.669333N	-74.102667W
Venado Oro Vivero	21205580	Convencional – Meteorológica	4.598361N	-74.061556W
Emmanuel d' Alzon	21201230	Convencional – Meteorológica	4.701125N	-74.070306W

Fuente. Autores.

La información solicitada al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), son precipitaciones totales en milímetros, con una periodicidad mensual y anual según corresponda.

8.2.1. Datos faltantes

Para realizar el análisis hidrológico es necesario tener la información completa, en hidrología se trabaja con series continuas, para el desarrollo del proyecto se trabaja con el método de proporción normal, el cual relaciona la cantidad de estaciones totales de la zona, la precipitación total de cada una de ellas y la precipitación del tiempo requerido por parte de las estaciones restantes.

El método de proporción normal se puede obtener mediante la Ecuación 1²⁶.

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \left(\frac{N_x}{N_3} \right) P_3 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right] \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

²⁵ (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014)

²⁶ (Chow, y otros, 1994)

- n: Número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.
- P_x: Precipitación de la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.
- P₁ a P_n: Precipitación de las estaciones 1 a n durante el periodo de tiempo a completar.
- N_x: Precipitación media anual a nivel multianual de la estación "x".
- N₁ a N_n: Precipitación media anual a nivel multianual de las estaciones de 1 a n.

Al completar los datos de precipitación mensual, es posible conocer el valor anual, el valor máximo, medio y mínimo de intensidad de lluvia para cada una de las estaciones. A continuación, se presenta la información de la estación Centro Medición Andes.

Tabla 5. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Centro Medición ANDES.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES														SISTEMA DE INFORMACIÓN NACIONAL AMBIENTAL			
VALORES TOTALES MENSUALES PRECIPITACIÓN (mms)														ESTACION 21205730 CENTRO MED ANDES			
CHA DE PROCES	####													ESTACION			
LATITUD	4.41 N	TIPO ESTACION:	DEPTO	BOGOTÁ D											FECHA INSTALACIÓN	ene-85	
LONGITUD	74 W	ENTIDAD:	01 IDEAM	MUNICIPI	BOGOTÁ											FECHA SUSPENSIÓN	may-11
ELEVACION	2575 m.s.n	REGIONAL:	11 BOG	CORRIEN	BOGOTÁ												
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL	VR MAX ANUAL	
1985	2	1	15.44	2.3	46.51	32.22	129.33	42.93	37.31	50.21	49.26	134.51	130.83	61.43	732.28	134.51	
1986	2	1	50.13	66.29	84.03	165.6	84.5	67.8	41.6	13.62	31.7	177.9	110.6	8.13	901.90	177.90	
1987	2	1	9.3	20.37	98.53	124.14	129.8	13.83	47.53	20.03	28.01	239.4	41.33	9.18	781.45	239.40	
1988	2	1	13.08	117.6	219.7	35.83	48.90	19.32	25.18	62.11	77.61	130.93	148.8	66.23	965.89	219.70	
1989	2	1	30.03	136.2	66.61	71.61	168.6	47.41	47.83	13.5	38.11	80.73	45.52	33.71	779.87	168.60	
1990	2	1	128.53	46.3	66.3	61.05	50.43	4.58	13.43	15.93	22.01	88.56	50.22	57.42	604.83	128.53	
1991	2	1	25.51	8.23	55.41	47.02	43.24	8.56	17.96	24.83	25.42	20.83	169.4	44.47	490.86	169.40	
1992	2	1	13.78	10.47	20.19	33.41	16.77	12.08	24.24	31.76	40.57	17.98	90.22	41.12	352.59	90.22	
1993	2	1	26.61	19.13	47.73	61.23	58.28	6.37	22.56	9.44	24.79	24.74	89.80	36.96	427.64	89.80	
1994	2	1	61.02	43.36	64.53	42.57	208.83	26.47	25.39	26.36	17.99	42.04	63.78	9.31	631.66	208.83	
1995	2	1	8.16	32.97	45.47	59.65	48.24	34.25	12.79	38.02	18.67	41.14	64.03	53.06	456.44	64.03	
1996	2	1	26.35	55.36	66.58	36.19	56.90	21.67	39.7	36	8.3	46.8	109.3	94.9	598.05	109.30	
1997	2	1	186.43	8.77	44	58.6	36	36.1	41.6	15.1	15.3	54.13	38.76	2.84	537.63	186.43	
1998	2	1	13.5	41.43	70.3	44.6	88.92	58.93	28.69	53.13	58.17	63.64	74.73	80.33	676.38	88.92	
1999	2	1	42.85	123.23	72.28	34.95	68.63	39.53	16.54	25.80	57.83	84.29	79.94	23.5	669.38	123.23	
2000	2	1	43.19	221.1	81.73	80.93	32.30	33.09	46.31	21.37	46.7	87.2	54.83	9.18	757.93	221.10	
2001	2	1	14.4	33.5	9.5	2.8	70.3	16.6	6.7	19.83	67.5	28.53	115.1	75.3	460.06	115.10	
2002	2	1	52.73	50.93	134.6	134.3	62.05	32.93	30.63	24.5	48.2	44.61	6.8	48.40	670.68	134.60	
2003	1	1	25.6	35.8	75.6	128.7	36.3	70.33	19.88	19.93	53.03	144.5	79.51	81.3	770.48	144.50	
2004	1	1	19.5	117.13	32.30	100.4	44.53	58.63	19.18	19.50	30.73	81.38	17.35	19.58	614.20	117.13	
2005	1	1	18.19	29.75	21.38	45.64	106.75	18.27	10.40	18.13	30.31	32.45	33.47	52.68	477.63	106.75	
2006	1	1	65.51	17.28	74.61	106.31	88.01	50.12	10.44	17.73	14.59	78.73	79.13	17.03	619.49	106.31	
2007	1	1	10.88	19.48	40.84	67.76	73.03	22.13	13.30	17.63	5.49	124.67	73.63	77.28	546.18	124.67	
2008	1	1	20.99	37.76	63.83	52.44	242.93	87.8	66.8	77.53	40.8	74.16	89.28	52.72	907.04	242.93	
2009	1	1	53.42	56.57	57.64	40.92	14.81	27.98	17.29	14.57	10.57	75.26	37.50	28.38	432.92	75.26	
															460.06	143.49	
ROMEDIO Corre			39.00	54.05	66.41	66.75	80.34	34.33	27.33	27.46	34.47	83.16	77.92	43.31	634.54		

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM.

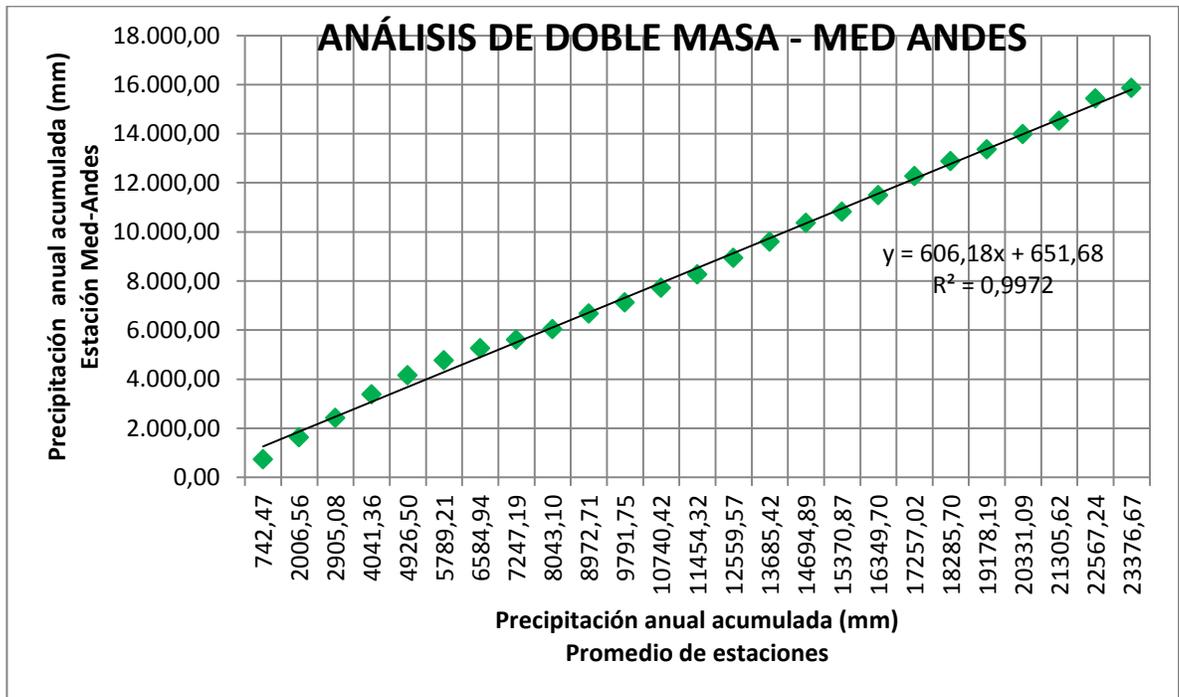
En la tabla 5, se observan los datos de precipitación mensual para la Estación Centro Medición Andes, en un lapso de tiempo de 24 años y en donde los datos subrayados en amarillo fueron completados por medio del método de proporción normal, de acuerdo con la Ecuación 1. Por otro lado, los datos en fuente roja son

los datos promedio corregidos, es decir, incluyendo la información completada. Este mismo procedimiento se adaptó para la información de las estaciones Emmanuel d' Alzon, Jardín Botánico y Venado Oro Vivero, (Ver anexos 10, 11 y 12), respectivamente.

8.2.2. Análisis de dobles masas

Se generó un análisis de dobles masas para homogenizar la información de cada una de las estaciones de estudio, con el fin de dar más precisión y coherencia a la investigación. Este análisis permite comprobar si hubo alguna anomalía en la estación por algún periodo de tiempo, por ejemplo, cambio de lugar, variación de las condiciones normales o cualquier otro tipo de eventualidad. A continuación, se presenta el análisis de homogeneidad para para la Estación Centro Medición Andes, con su respectiva verificación, línea de tendencia y coeficiente de determinación.

Gráfica. 1 Análisis de doble masa - Estación Centro Medición Andes.



Fuente: Autores.

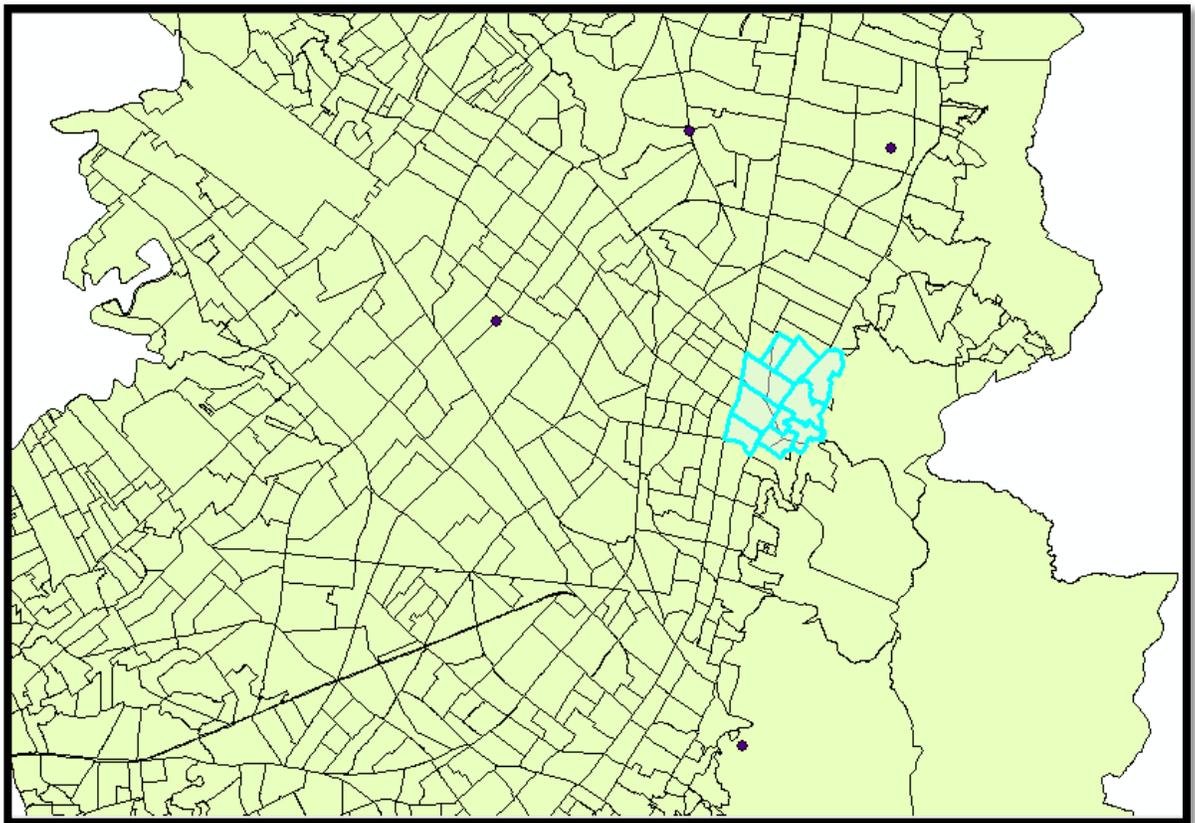
De acuerdo con la gráfica 1, el estudio de doble masa de la estación Centro Medición Andes arroja un coeficiente de determinación (R^2) es aproximadamente igual a 1, esto indica que los datos son precisos y viables para el desarrollo del análisis hidrológico. Este mismo procedimiento se adaptó para la información de

las estaciones Emmanuel d' Alzon, Jardín Botánico y Venado Oro Vivero, (Ver anexos 13, 14 y 15), respectivamente.

8.2.3. Determinación de propiedades geométricas del sitio

Por medio del programa ArcMap 10.3 se modeló la zona de estudio, ubicando las coordenadas de las estaciones meteorológicas, con el fin de encontrar las propiedades necesarias para el desarrollo del estudio, tales como: longitud del cauce, área y elevación del lugar. En la Figura 6, se aprecia una parte de la ciudad de Bogotá, en donde se resalta, en color azul, el lugar de estudio en la localidad de Chapinero, además en color violeta se distinguen las cuatro estaciones que rodean la cuenca analizada.

Figura 6. Modelación en ArcMap 10.3 de la Ciudad de Bogotá D.C. - Coordenadas y lugar de estudio.



Fuente: Autores.

A través del programa AutoCad y junto con las planchas solicitadas a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, se calculó la longitud del cauce principal

desde la Avenida circunvalar hasta la Carrera 7ª, en este caso la quebrada La Vieja y la elevación del lugar, esta información es pre-requisito para el análisis, se debe determinar el tiempo de concentración en el sector.

Tabla 6. Parámetros de diseño de tiempo de concentración del lugar.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Longitud cauce quebrada La Vieja	1,25 km
Pendiente de la zona de estudio	6,5 %

Fuente: Autores.

8.2.4. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se determina mediante diferentes ecuaciones, es un valor aproximado para continuar el análisis hidrológico. Se hizo uso de las siguientes ecuaciones:

- Ecuación de Kirpich.
- Ecuación de Témez.
- Ecuación de Giandotti.
- Ecuación de SCS - Ranser.
- Ecuación de Ventura - Heras.
- Ecuación de V.T. Chow.
- Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

La aplicación de las ecuaciones depende del uso específico requerido en el estudio, se optó por el menor valor de tiempo concentración obtenido. A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los casos.

Tabla 7. Ecuaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

NOMBRE	ECUACIÓN	VALOR OBTENIDO
Kirpich	$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77} \quad (2)$	0,2258 h
Témez	$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (3)$	0,2493 h
Giandotti	$T_c = \frac{4A^{0,5} + 1,50L}{25,3(LS)^{0,5}} \quad (4)$	1,2492 h
SCS - Ranser	$T_c = 0,947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (5)$	0,2257 h

Ventura - Heras	$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75} \quad (6)$	0,2499 h
V.T. Chow	$T_c = 0,273 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64} \quad (7)$	0,7562 h
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U.	$T_c = 0,28 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (8)$	0,5581 h

Fuente: Autores.

La determinación del valor del tiempo de concentración se basó en el objetivo que se quiere conseguir con un sistema de drenaje no convencional. Se busca reducir la velocidad y el tiempo desde el momento en que la gota cae, hasta el punto de desagüe en el sistema de drenaje; el menor valor calculado para la tasa de infiltración será el que permita que el diseño cumpla con las características de uso requerido.

Como se aprecia en la Tabla 7, el tiempo de concentración utilizado para el desarrollo del análisis hidrológico fue el hallado por medio de la ecuación de Kirpich, éste fue el menor valor calculado.

8.2.5. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)

Las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) se trazaron por medio del cálculo del método simplificado, éste se desarrolla por medio de la Ecuación 9²⁷.

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60} \right)^c} \quad (\text{Ecuación 9})$$

En donde:

- I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
- T: Periodo de retorno, en años.
- M: Precipitación máxima promedio anual a nivel multianual.
- t: Duración de la lluvia, en minutos (min).
- a,b,c,d: Parámetros de ajuste de acuerdo con la región de estudio.²⁸

²⁷ (Chow, y otros, 1994)

²⁸ (Instituto Nacional de Vías, 2009)

Tabla 8. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, IDF, para Colombia.

Región	A	B	C	d
Andina (R1)	0,94	0,18	0,66	0,83
Caribe (R2)	24,85	0,22	0,50	0,10
Pacífico (R3)	13,92	0,19	0,58	0,20
Orinoquía (R4)	5,53	0,17	0,63	0,42

Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS. 2009.

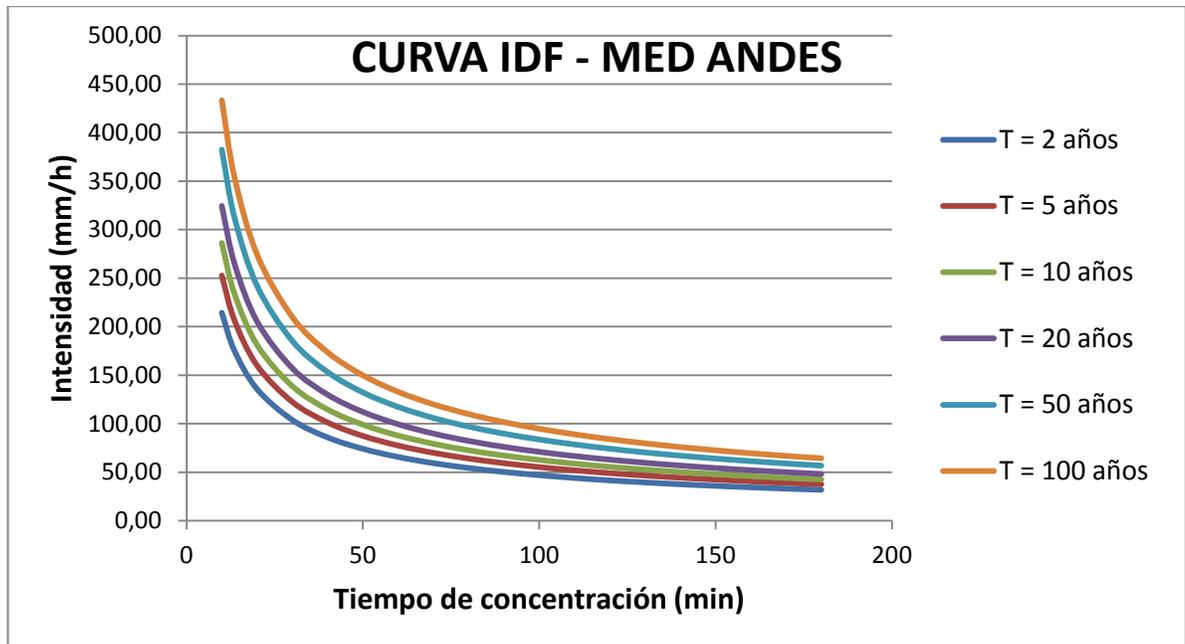
Con los valores de precipitación máxima promedio anual presentados en las tablas 5, 18, 19 y 20y conociendo que Bogotá está situada en la región Andina (R1) de Colombia, es posible calcular los valores de la intensidad de precipitación en milímetros por hora para generar las curvas IDF de cada una de las estaciones. A continuación, se presentan las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia de la Estación Centro Medición Andes, con ésta se desarrolló el estudio hidrológico.

Tabla 9. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación - Centro de Medición Andes.

t (min)	Tiempo de retorno, T en años					
	2	5	10	20	50	100
10	214,31	252,74	286,33	324,37	382,54	433,37
13,55	175,40	206,85	234,34	265,48	313,08	354,69
20	135,63	159,95	181,21	205,29	242,10	274,27
30	103,79	122,40	138,66	157,09	185,26	209,87
40	85,84	101,23	114,68	129,92	153,22	173,58
50	74,08	87,37	98,98	112,13	132,24	149,81
60	65,69	77,46	87,76	99,42	117,25	132,83
70	59,33	69,97	79,27	89,80	105,90	119,98
80	54,33	64,07	72,58	82,23	96,97	109,86
90	50,26	59,28	67,15	76,08	89,72	101,64
100	46,89	55,29	62,64	70,97	83,69	94,81
110	44,03	51,92	58,82	66,64	78,59	89,03
120	41,57	49,02	55,54	62,92	74,20	84,06
130	39,43	46,50	52,68	59,68	70,38	79,74
140	37,55	44,28	50,17	56,83	67,02	75,93
150	35,88	42,31	47,93	54,30	64,04	72,55
160	34,38	40,55	45,93	52,04	61,37	69,53
170	33,03	38,96	44,13	50,00	58,96	66,80
180	31,81	37,51	42,50	48,15	56,78	64,33

Fuente: Autores.

Gráfica. 2. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación - Centro de Medición Andes.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 9, se observa que para un tiempo de retorno de cinco años y un tiempo de concentración de 13,55 min (ver Ecuación 2²⁹) se obtuvo una intensidad de 206,85 mm/h, mientras que la gráfica 2 contiene la curva IDF calculada de acuerdo con la información de las intensidades relacionadas en la tabla 5.

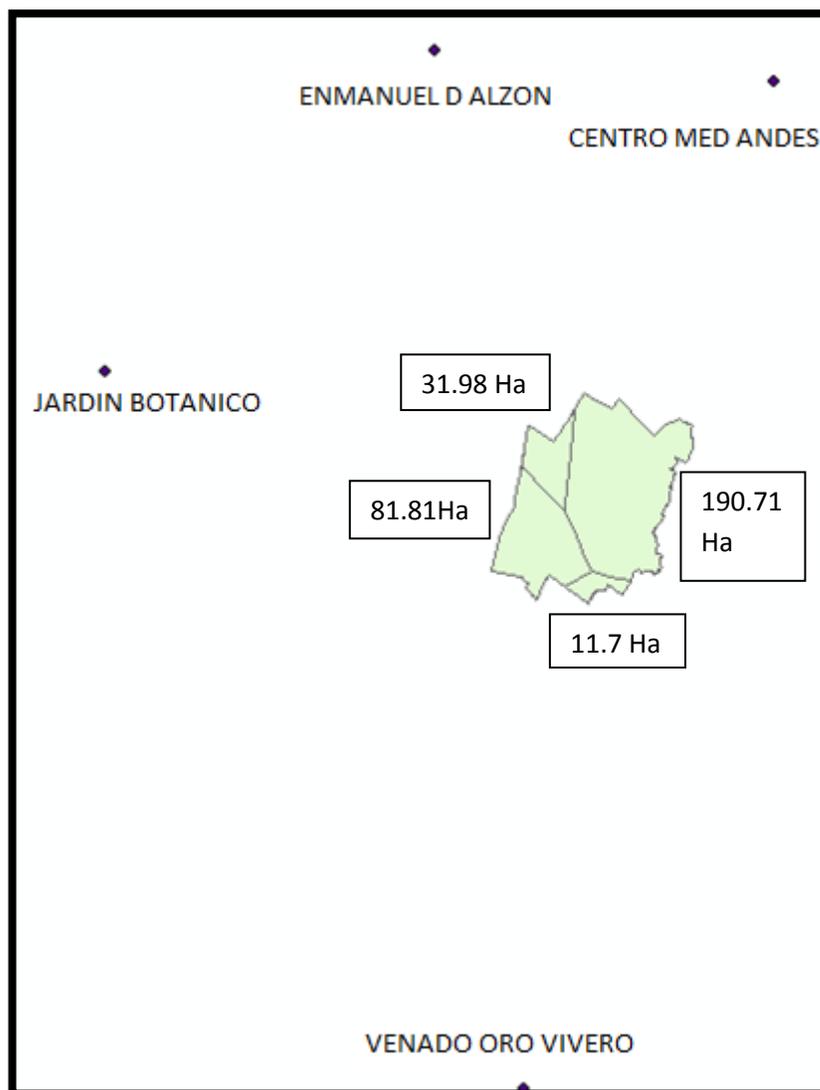
Este mismo procedimiento se adaptó para la información de las estaciones Emmanuel d' Alzon, Jardín botánico y Venado Oro Vivero (Ver anexos 16, 17 y 18), respectivamente.

8.2.6. Precipitación media

La precipitación media se calcula por medio del método de los Polígonos de Thiessen, éste método se basa en la modelación de ArcMap ubicando las coordenadas de las estaciones meteorológicas y el área de estudio.

²⁹ (Chow, y otros, 1994)

Figura 7. Modelación por ArcMap - Polígonos de Thiessen del sector.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 7, se observa la ubicación de las estaciones meteorológicas con respecto a la zona de estudio, por medio del software ArcGis se continúa el análisis hidrológico utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se establecen las áreas de cada uno de ellos y de esta manera se analizan las precipitaciones obtenidas del cálculo de las curvas IDF para cada una de las estaciones. Los parámetros de evaluación siguen constantes, un tiempo de concentración de 13,55 minutos y un periodo de retorno de 5 años. Para determinar la precipitación media, los resultados son presentados en la tabla 10 y

la tabla 11, generados a partir de la modelación virtual y el cálculo de la precipitación, respectivamente.

Tabla 10. Áreas de Polígonos de Thiessen en Hectáreas.

FID	Shape *	Id	Input FID	AREAS Ha
0	Polygon	0	1	190,717469
1	Polygon	0	2	81,816085
2	Polygon	0	3	11,703622
3	Polygon	0	4	31,989772

Fuente: Autores.

Tabla 11. Precipitación media por el método de los Polígonos de Thiessen.

ANÁLISIS MÉTODO DE POLIGONOS DE THIESSEN				
PRECIPITACIÓN MEDIA				
ID	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm/h) [Pi]	ÁREA POLIGONO (Ha) [Ai]	Pi*Ai (mm*Ha)
0	MED ANDES	206,85	190,7175	39450,33267
1	ENMANUEL	247,84	31,9897	7928,339572
2	JARDIN	266,71	81,82	21822,31793
3	VENADO	312,19	11,7036	3653,768986
TOTAL			316,2308	72854,75916

PRECIPITACIÓN MEDIA: mm/h

Fuente: Autores.

8.2.7. Cálculo de caudal pico

La cuenca comprendida entre la carrera Séptima y la avenida “Circunvalar” y las calles 70 y 74, cuenta con un sistema de drenaje convencional, la necesidad de una implementación de un sistema no convencional requiere conocer el caudal de diseño de la nueva estructura.

El caudal necesario para diseñar un nuevo sistema de drenaje SUDS, se puede determinar por medio de distintos métodos.

8.2.7.1. Método racional

El método racional es uno de ellos y se calcula por medio de la Ecuación 10³⁰.

$$Q = C * I * A \text{ (Ecuación 10)}$$

Dónde:

- Q: Caudal pico en m³/s.
- C: Coeficiente de escorrentía.
- I: Intensidad de lluvia media en mm/h.
- A: Área de la cuenca en m².

El coeficiente de escorrentía esta dado según el área de drenaje que se estudie, por ejemplo, prados, distritos comerciales, residenciales, industriales o calles. El coeficiente de escorrentía [C] para calles es de 0.7, (ver anexo 19).

De acuerdo con la Ec.10, el caudal pico obtenido es de 141,66 m³/s.

8.2.7.2. HIDROGRAMA UNITARIO

El denominado hidrograma unitario de *United States Soil Conservation Service* (SCS), consiste en la relación entre caudal y tiempo. Se desarrolló por una investigación que involucra múltiples cuencas de los Estados Unidos de América, para éste fin se unificaron y desarrollaron los parámetros necesarios y requeridos para la investigación.

El proceso para el cálculo del caudal pico por este método consiste en determinar el tiempo de desfase por medio de Ecuación 11³¹.

$$Ti = Tc * 0,6 \text{ (Ecuación 11)}$$

En donde:

- Ti: Tiempo de desfase en horas.
- Tc: Tiempo de concentración en horas.

El tiempo pico mediante la Ecuación 12³².

$$Tp = \frac{10}{9} * Ti \text{ (Ecuación 12)}$$

³⁰ (Chow, y otros, 1994)

³¹ *Ibíd.*

³² *Ibíd.*

En donde:

- Tp: Tiempo pico en horas.
- Ti: Tiempo de desfase en horas.

Conociendo el tiempo pico y el área de la cuenca, es posible hallar el caudal pico por medio de la Ecuación 13³³.

$$Qp = \frac{0,208 * A}{Tp} \text{ (Ecuación 13)}$$

En donde:

- Qp: Caudal pico en m³/s.
- A: Área de la cuenca en km².
- Tp: Tiempo pico en horas.

Comparando el caudal pico de diseño obtenido entre el método de caudal racional y el hidrograma unitario, se observa una gran diferencia entre los valores, siendo menos preciso el caudal racional. El diseño se realizó con base en los resultados obtenidos en el hidrograma unitario.

A continuación, se presentan las ordenadas del hidrograma unitario SCS para la construcción de la curva del mismo.

³³ (Chow, y otros, 1994)

Tabla 12. Parámetros de hidrograma unitario adimensional del SCS.

t/t_p	Q/Q_p
0.0	0.00
0.2	0.10
0.4	0.31
0.6	0.66
0.8	0.93
1.0	1.00
1.2	0.93
1.4	0.78
1.6	0.56
1.8	0.39
2.0	0.28
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.2	0.010
4.4	0.007
4.6	0.003
4.8	0.0015
5.0	0.0000

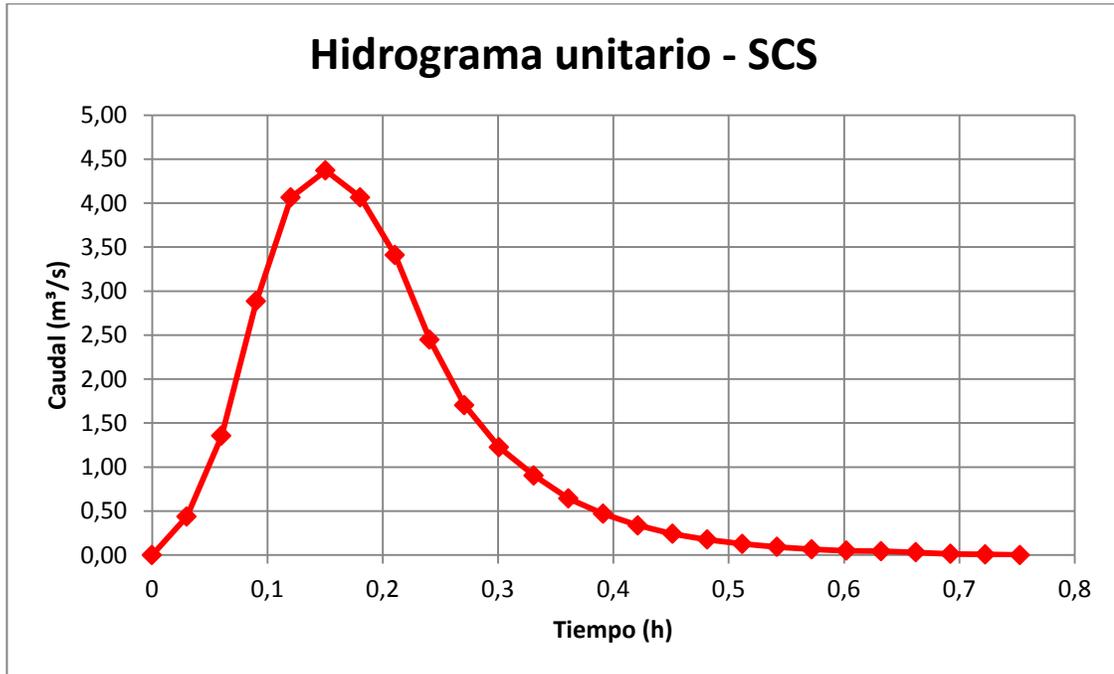
Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS. 2009

Tabla 13. Caudales obtenidos - Método del hidrograma unitario del *United States Soil Conservation Service (SCS)*

t/tp	Q/qp	Tiempo (h)	Caudal (m ³ /s)
0	0	0	0
0,2	0,1000	0,0301	0,4370
0,4	0,3100	0,0602	1,3547
0,6	0,6600	0,0903	2,8841
0,8	0,9300	0,1204	4,0640
1	1,0000	0,1505	4,3699
1,2	0,9300	0,1806	4,0640
1,4	0,7800	0,2107	3,4085
1,6	0,5600	0,2408	2,4471
1,8	0,3900	0,2709	1,7043
2	0,2800	0,3010	1,2236
2,2	0,2070	0,3311	0,9046
2,4	0,1470	0,3613	0,6424
2,6	0,1070	0,3914	0,4676
2,8	0,0770	0,4215	0,3365
3	0,0550	0,4516	0,2403
3,2	0,0400	0,4817	0,1748
3,4	0,0290	0,5118	0,1267
3,6	0,0210	0,5419	0,0918
3,8	0,0150	0,5720	0,0655
4	0,0110	0,6021	0,0481
4,2	0,0100	0,6322	0,0437
4,4	0,0070	0,6623	0,0306
4,6	0,0030	0,6924	0,0131
4,8	0,0015	0,7225	0,0066
5	0,0000	0,7526	0,0000

Fuente: Autores.

Gráfica. 3. Hidrograma unitario obtenido - Método SCS.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 13 y la gráfica 3, se observa que el método para calcular el caudal pico obtenido es de mayor precisión al cálculo del método racional. El valor obtenido fue de 4,3699 m³/s, éste será la base para realizar los cálculos correspondientes al diseño del nuevo sistema de drenaje.

8.2.8. CÁLCULO DE INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL

La velocidad o tasa de infiltración de las aguas lluvias determina las características del sistema de drenaje que se está diseñando, la relación entre caudal y velocidad permite dimensionar la estructura y evaluar su funcionalidad.

A continuación, se presenta el modelo de *Green Ampt* que se basa en las características del entorno (suelo, condiciones hidráulicas, etc.), según la Ecuación 14³⁴.

$$f = K \left(\frac{\psi \Delta \theta}{F} + 1 \right) \text{ (Ecuación 14)}$$

En donde:

³⁴ (Chow, y otros, 1994)

- f: Tasa de infiltración.
- K: Conductividad hidráulica.
- Ψ : Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado.
- θ : Porosidad efectiva.
- F: Infiltración acumulada que se obtiene de una sucesión de iteraciones hasta que el valor numérico no cambie considerablemente.

El diseño de los drenes filtrantes como alternativa de sistema urbano de drenaje sostenible, requiere de un material interno de la estructura que logre retener y absorber el agua pluvial, se emplea el uso de arena como capa filtrante y un limo orgánico para el cuidado de la vegetación necesaria en la estructura. La tasa de infiltración para cada uno de los materiales, fue tomada de la información presente en la tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de infiltración de *Green-Ampt* para varias clases de suelos.

Clase de suelo	Porosidad η	Porosidad efectiva θ_e	Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ (cm)	Conductividad hidráulica K (cm/h)
Arena	0.437 (0.374–0.500)	0.417 (0.354–0.480)	4.95 (0.97–25.36)	11.78
Arena margosa	0.437 (0.363–0.506)	0.401 (0.329–0.473)	6.13 (1.35–27.94)	2.99
Marga arenosa	0.453 (0.351–0.555)	0.412 (0.283–0.541)	11.01 (2.67–45.47)	1.09
Marga	0.463 (0.375–0.551)	0.434 (0.334–0.534)	8.89 (1.33–59.38)	0.34
Marga limosa	0.501 (0.420–0.582)	0.486 (0.394–0.578)	16.68 (2.92–95.39)	0.65
Marga arenoarcillosa	0.398 (0.332–0.464)	0.330 (0.235–0.425)	21.85 (4.42–108.0)	0.15
Marga arcillosa	0.464 (0.409–0.519)	0.309 (0.279–0.501)	20.88 (4.79–91.10)	0.10
Marga limo–arcillosa	0.471 (0.418–0.524)	0.432 (0.347–0.517)	27.30 (5.67–131.50)	0.10
Arcilla arenosa	0.430 (0.370–0.490)	0.321 (0.207–0.435)	23.90 (4.08–140.2)	0.06
Arcilla limosa	0.479 (0.425–0.533)	0.423 (0.334–0.512)	29.22 (6.13–139.4)	0.05
Arcilla	0.475 (0.427–0.523)	0.385 (0.269–0.501)	31.63 (6.39–156.5)	0.03

Los números entre paréntesis debajo de cada parámetro son una desviación estándar alrededor del valor del parámetro dado. Fuente: Rawls, Brakensiek y Miller, 1983.

Fuente: (Chow, y otros, 1994).

De acuerdo con la tabla 14, y estipulado el diseño de los drenes filtrantes con una capa de arena y el limo orgánico, se calcula una tasa de infiltración de 0,00019m/s por medio de la expresión del modelo de *Green-Ampt*.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con el análisis hidrológico presentado, se debe realizar el dimensionamiento de los tanques de la estructura, estos se ubicarán en el separador vial de la calle 72 entre las carreras Séptima y Quinta; se debe garantizar que tengan la capacidad de manejar los niveles de escorrentía generados por la pluviosidad de la zona.

9.1. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA

Se debe calcular el área total de los tanques para los drenes filtrantes, esto se realiza con los resultados obtenidos de caudal pico y la tasa de infiltración calculadas por medio de las ecuaciones 13 y 14, respectivamente. La Ecuación 15³⁵, modela el planteamiento descrito.

$$A: \frac{Qp}{f} \text{ (Ecuación 15)}$$

Dónde:

A: Área tanque.

Qp: Caudal pico de diseño

f: Tasa de infiltración total

$$h: \frac{A}{b} \text{ (Ecuación 16)}$$

Dónde:

h: Altura estructura

A: Área tanque

b: Base asumida

El área de tanque a diseñar es de 22.835 m², se asume una base para la estructura de 60 m de ancho y se calcula una altura de 380.58 m de alto, según la Ecuación 16³⁶. Estas dimensiones están dadas para que la estructura sea funcional a las condiciones analizadas del sector, es decir, que esté en la capacidad de manejar las aguas lluvias con la disminución de velocidad requerida, ésta se obtiene por medio de la evaluación de distintos criterios, como las

³⁵ (Chow, y otros, 1994)

³⁶ *Ibíd.*

ecuaciones de Témez, Giandotti, SCS – Ranser, Ventura – Heras, V.T. Chow y la ecuación del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, sin embargo, el menor valor calculado se obtuvo con la ecuación de Kirpich.

Teniendo en cuenta los planos de la zona (ver anexo 20), se realiza un ajuste para que el dimensionamiento de la estructura se adapte las características urbanas del sector. Se asume una tasa de infiltración de 0.1 m/s, una base de 10 m, y por medio de las ecuaciones 15 y 16, se calcula el área del tanque y la altura de la estructura, respectivamente.

La comparación de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Dimensionamiento estructura

Parámetro	Unidad	Valor	
		Calculado	ASUMIDO
Tasa de infiltración	m/s	0.000191	0.1
Área tanque	m ²	22835	43.70
Base	M	60.00	10
Altura	M	380.58	4.37
Caudal	m ³ /s	4.3699	4.3699

Fuente: Autores.

La tasa de infiltración asumida para el diseño fue el menor valor, pues, se busca reducir la velocidad y el tiempo desde el momento en que la gota cae, hasta el punto de desagüe en el sistema de drenaje, sin embargo, este parámetro afecta directamente el dimensionamiento de la estructura, (ver tabla 15). Existe una relación entre la tasa de infiltración y el área de los tanques para los drenes filtrantes, son inversamente proporcionales; el diseño de los drenes filtrantes se debe adaptar a la urbanística de la zona, razón por la cual, se asume una tasa de infiltración mayor y se realizan los cálculos para obtener las dimensiones de la estructura, (Ver anexo 21).

9.2. Dimensionamiento tubería

Por medio de Manning se realizó el cálculo de caudal de flujo a pendiente y sección dada. El análisis se desarrolla asumiendo un diámetro de tubería con el cual se debe calcular un caudal mayor al caudal pico arrojado por el hidrograma unitario, nunca se trabaja con tubería a tubo lleno.

El cálculo del caudal según Manning, está dado por la Ecuación 17³⁷, y a su vez por la Ecuación 18³⁸.

$$Q: \frac{A * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \text{ (Ecuación 17)}$$

Dónde:

A: Área.

Rh: Radio hidráulico.

S: Pendiente.

n: Coeficiente de Manning.

$$Rh: \frac{Am}{Pm} \text{ (Ecuación 18)}$$

Dónde:

Am: Área mojada.

Pm: Perímetro mojado.

El diseño de la tubería se muestra en la tabla 16, teniendo en cuenta los parámetros indicados.

Tabla 16. Análisis de tubería a tubo medio lleno por MANNING.

ANÁLISIS DE TUBERÍA A TUBO MEDIO LLENO POR MANNING	
Materia de tubería =	PVC
Caudal, Q =	4.370 m ³ /s
Pendiente, S =	0.065
Coeficiente de Manning, n =	0.009
Diámetro, ϕ =	1.00 M
Diámetro, ϕ =	39.37 pulg
Diámetro nominal, ϕ =	40.00 pulg
Radio, r =	0.5 M

³⁷ (Chow, y otros, 1994)

³⁸ *Ibíd.*

$$\begin{array}{l} \text{Área, } A = \boxed{0.393} \text{ m}^2 \\ \text{Radio Hidráulico, } R_h = \boxed{0.25} \text{ M} \end{array}$$

$$\text{Caudal, } Q = \boxed{4.40} \text{ m}^3/\text{s}$$

Fuente: Autores.

Tabla 17. Coeficientes de rugosidad de MANNING

Material	N
Asbesto cemento	0.010
Concreto liso	0.012
Concreto rugoso	0.014
Ladrillo	0.016
Ladrillo vitrificado	0.014
Metal corrugado	0.022
Hierro fundido	0.015
PVC	0.009

Fuente: (Chow, y otros, 1994)

Una tubería con diámetro de 1 metro es suficiente para asegurar que el sistema tiene la capacidad de manejar el caudal pico de diseño obtenido con el hidrograma unitario, pues el caudal calculado por medio de Manning es mayor, (ver tabla 14).

10. CONCLUSIONES

La localidad de Chapinero Alto, Bogotá, Colombia, es una zona donde los niveles de pluviosidad son bastante altos, las estaciones utilizadas para el desarrollo del análisis hidrológico respaldan esta afirmación, además, la impermeabilización del suelo causada por el desarrollo urbano acelerado y sumado a los altos niveles de pluviosidad, genera un nivel de escorrentía que contribuye a los problemas de inundación del sector.

Se plantea la implementación de los drenes filtrantes como sistema urbano de drenaje sostenible en la zona de la calle 72 con carrera Séptima como complemento al sistema de drenaje convencional, éstos se diseñan para tener la capacidad reducir las velocidades en el sistema de alcantarillado convencional y generar un control de las aguas arribas en el sector de estudio, por ésta razón, se propone una tubería de 1 metro de diámetro y un tanque de retención con vegetación de un ancho y una altura de 10 y 4.37 metros, respectivamente. Este sistema contribuye a mejorar el paisajismo del sector.

Los drenes filtrantes almacenan la escorrentía superficial en tanques mientras que se hace la descarga correspondiente en el sistema de drenaje, es decir, infiltran el agua de la superficie sin sobrepasar la capacidad de su propia estructura ni de la tubería convencional; esto se logra con el análisis de los materiales granulares que permiten reducir tiempos de concentración y velocidad de las aguas pluviales que ingresan al sistema (material orgánico, marga limosa y arena). Este sistema se adecúa a las condiciones que se presentan en la localidad de Chapinero Alto, tanto funcional como paisajísticamente, la capacidad de los drenes filtrantes permite el manejo del caudal generado por la quebrada 'La Vieja' junto con la pluviosidad de la zona.

De acuerdo con las condiciones de pluviosidad del sector analizado, se establece la necesidad de un complemento para el sistema de drenaje convencional actual, sin embargo, la estructura diseñada en este proyecto no se adapta al sistema urbano presentado, debido a las dimensiones requeridas para dar el manejo adecuado de las aguas, esto produce que la propuesta presente un alto nivel de dificultad a nivel constructivo y como planteamiento urbano sobre el corredor vial de la calle 72, entre las carreras Séptima y Quinta.

El diseño de la estructura se realizó de acuerdo al análisis hidrológico, se encontró que el sistema tiene dimensiones finales de: 10 metros de base y 4.37 metros de profundidad, de esta manera el sistema se adecua constructivamente en la zona de estudio, dado que, actualmente se cuenta con una calzada de 19 metros y un separador vial de aproximadamente 5 metros de ancho

De acuerdo al análisis hidrológico y al caudal calculado de 4,3699 m³/s, se realizó el diseño de la tubería para los tanques de la estructura teniendo en cuenta que el objetivo del dren filtrante es reducir y tener control sobre la velocidad del agua, por tal razón, se consideraron diámetros de gran magnitud, para el caso de la presente propuesta, 1 metro.

11.RECOMENDACIONES

De acuerdo con las dimensiones establecidas en el presente trabajo, es importante realizar las verificaciones desde el punto de vista urbanístico y de tránsito, pues la implementación de este sistema requiere intervenir directamente sobre una calzada en cada sentido de la vía, el dimensionamiento de la estructura se realizó en base a la información de las 4 estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis hidrológico: estación centro de medición Andes, Jardín Botánico, Emmanuel d' - Alzón y Venado Oro Vivero.

Realizar análisis para diferentes estructuras SUDS que se puedan implementar en la zona de Chapinero Alto, las características de estos sistemas deben permitir el manejo de los altos niveles de pluviosidad del sector. Por ejemplo, se pueden establecer los beneficios y la funcionalidad de los pavimentos permeables.

Se recomienda realizar un análisis donde se establezca la infiltración que tienen los muros y techos verdes del sector.

BIBLIOGRAFÍA

Abellán, Ana. 2016. Drenaje Urbano Sostenible. [En línea] 24 de Mayo de 2016. [Citado el: 28 de Febrero de 2017.] <http://drenajeurbanosostenible.org/>.

Alcaldía de Chapinero. 2013-2016. *Plan Ambiental Local de Chapinero*. Bogotá D.C. : s.n., 2013-2016.

Alcaldía Mayor de Bogotá. 2014. *Política pública de eco urbanismo y construcción sostenible de Bogotá*. Bogotá D.C. : 2014, 2014.

Almanza. 2014. IDIGER. *Caracterización general del Escenario de Riesgo por Inundación*. [En línea] 14 de Noviembre de 2014. [Citado el: 7 de Abril de 2017.] <http://www.idiger.gov.co/riesgo-por-inundaciones>.

Almanza, Giovanni. 2014. IDIGER. *Caracterización general del Escenario de Riesgo por Inundación*. [En línea] 14 de Noviembre de 2014. [Citado el: 7 de Abril de 2017.] <http://www.idiger.gov.co/riesgo-por-inundaciones>.

Camara de Comercio de Bogotá. 2006. *Perfil económico y empresarial-Localidad de Chapinero*. Bogotá : s.n., 2006.

Caracol Radio. 2016. Chapinero, Ciudad Bolívar y Usaquén localidades con mayor riesgo de inundación: IDIGER. *Caracol radio*. [En línea] 16 de Septiembre de 2016. [Citado el: 10 de Abril de 2017.] http://caracol.com.co/emisora/2016/09/16/bogota/1474003536_948146.html.

Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA. 2015. *Investigación de las Tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de*. Universidad de los Andes. Bogotá D.C. : s.n., 2015.

Chow, Ven te, Maidment, David y Mays, Larry. 1994. *Hidrología Aplicada*. s.l. : McGraw-Hill, 1994.

Corte constitucional. 2015. *Constitución Política de Colombia*. Bogotá D.C : s.n., 2015.

Cubel, Alicia Loro. 2016. *Estudio de alternativas para la implantación de Sistemas de Srenaje Sostenible en el barrio de Ruzafa (Valencia)*. Universitat Politècnica de València. Valencia : s.n., 2016. pág. 17, Trabajo final de grado.

Departament of Natural Resources. 2008. *Sustainable Drainage System (SuDs) for Stormwater Management: A Technological and Policy Intervention to Combat Diffuse Pollution.* Delhi : s.n., 2008.

Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogotá - Colombia. 2006. Fondo de prevención y atención de emergencias - FOPAE. *Información general de la Localidad de Chapinero.* [En línea] 2006. [Citado el: 14 de Marzo de 2017.]

http://svrdpae8n1.sire.gov.co/portal/page/portal/fopae/localidades/chapinero/chapinero_info.

ECO@DMIN. 2014. Ecotelhado. *Beneficios de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).* [En línea] 7 de Marzo de 2014. [Citado el: 3 de Marzo de 2017.] <http://ecotelhado.com.co/beneficios-de-los-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>.

El Tiempo. 2017. ¿Hasta cuando habrá lluvia en Bogotá? *El Tiempo.* [En línea] 02 de marzo de 2017. [Citado el: 07 de Abril de 2017.]

<http://www.eltiempo.com/bogota/lluvias-en-bogota-en-marzo-del-2017-63248>.

—. **2005.** Inundaciones en Chapinero por Quebrada Las Delicias, puede ser peor la proxima vez. *El Tiempo.* [En línea] 08 de Mayo de 2005. [Citado el: 10 de Abril de 2017.] <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1643955>.

Hidrología Sostenible. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible-SUDS. [En línea] [Citado el: 28 de Febrero de 2017.] <http://hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. IDEAM. *IDEAM.* [En línea] 2014. [Citado el: 11 de Agosto de 2017.] <http://www.ideam.gov.co>.

Instituto Nacional de Vías. 2009. *Manual de Drenaje para Carreteras.* Bogotá D.C. : s.n., 2009.

Jiménez Escobar, Henry. 1986. *Hidrología Básica.* Cali : s.n., 1986.

Poleto, Cristiano y Tassi, Rutinéia . 2012. Sustainable Urban Drainage Systems. [aut. libro] Muhammad Salik Javaid. *Drainage Systems.* Brazil : s.n., 2012.

Publimetro. 2017. Caos en la movilidad por desbordamiento del canal Torca y lluvias en Bogotá. *Publimetro.* [En línea] 08 de Marzo de 2017. [Citado el: 10 de

Abril de 2017.] <https://www.publimetro.co/co/bogota/2017/03/08/caos-movilidad-desbordamiento-canal-torca-lluvias-bogota.html>.

Revista Semana. 2016. *Fuertes lluvias generaron inundaciones en Bogotá.* Bogotá : s.n., 2016.

Secretaría Distrital de Cultura, Recreación y Deportes. 2008. *Localidad de Chapinero Ficha Básica.* Bogotá : s.n., 2008.

Secretaría Distrital de Ambiente. 2014. *Decreto 528.* Bogotá D.C. : s.n., 2014.

Secretaría Distrital de Ambiente. 2011. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.* Bogotá : s.n., 2011.

Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial SEGAE. 2011. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.* Bogotá D.C. : s.n., 2011.

SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution. **Fletcher, Tim, y otros. 2014.** 2014.

Zhou, Qianqian. 2014. *A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts.* Guangzhou : s.n., 2014.

ANEXOS

ANEXO 1

Figura 8. Corredor de la carrera Séptima con calle 74.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 8, se observa el desarrollo urbano que presenta la localidad de Chapinero, grandes edificaciones, transporte público y obras de infraestructura vial, sin embargo, se destaca el hecho de tener árboles, que además de cumplir una función paisajística, mitiga y contribuye el impacto ambiental que traen los procesos de urbanización.

ANEXO 2

Figura 9. Dren filtrante en el corredor de la carrera séptima.



Fuente: Autores.

Con respecto a la figura 9, se observa la implementación de los SUDS tipo dren filtrante, cumple con función de separador de calzada y principalmente contribuye en manejo de las aguas lluvias y la escorrentía superficial que genera inundaciones.

ANEXO 3

Figura 10. Calle 72 con carrera Séptima, sentido occidente oriente.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 10, se observan grandes edificaciones construidas con el fin de generar una sostenibilidad económica en la zona.

ANEXO 4

Figura 11. Calle 72 con carrera Quinta.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 11, en comparación con el corredor de la carrera Séptima se observa menos contaminación, y un ambiente más tranquilo al de la zona que está 100% urbanizada por comercio, negocios y aspectos socio-económicos que se viven a diario. Esta situación se presentará siempre que se tome la decisión de tomar rumbo hacia los Cerros Orientales de la ciudad.

ANEXO 5

Figura 12. Sendero peatonal, quebrada La Vieja.

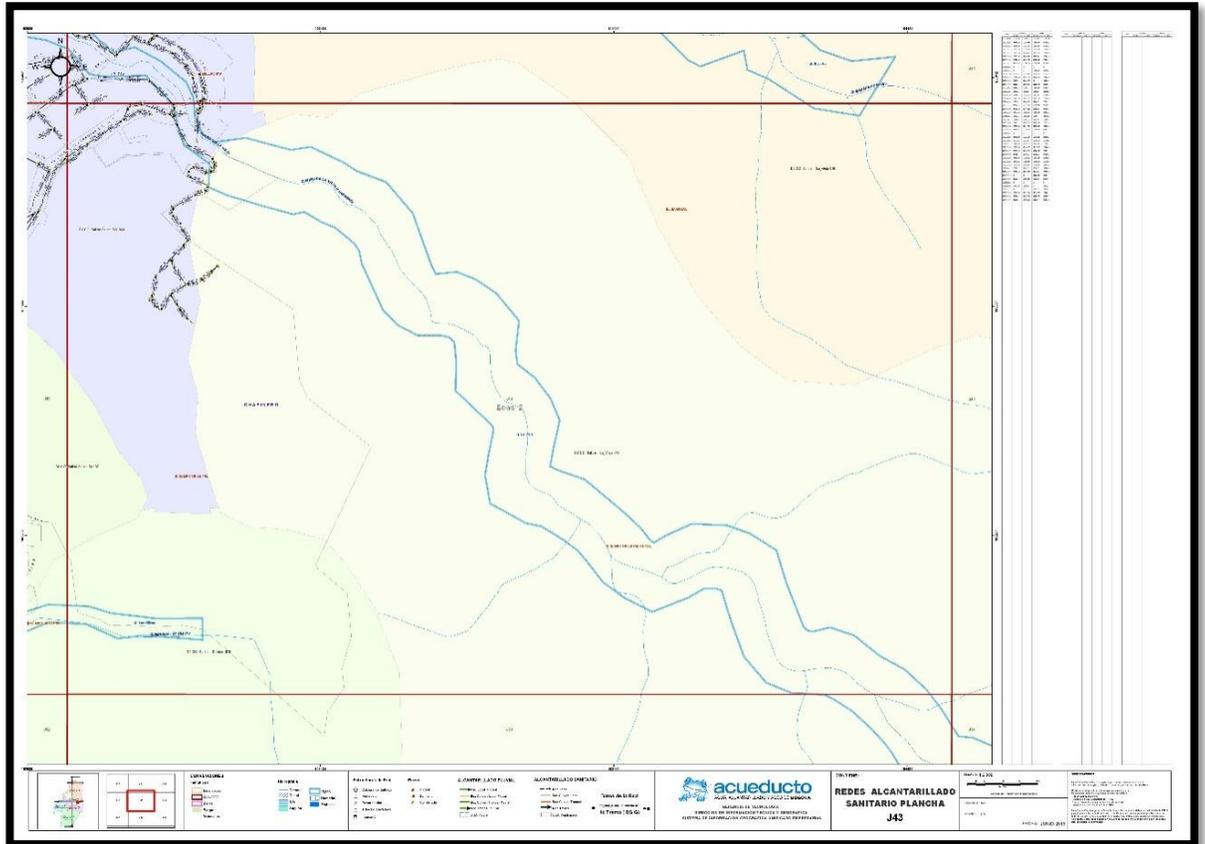


Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 12, el sendero de la quebrada la vieja inicia con edificios netamente residenciales, una vez llega la montaña, la urbanización queda en el olvido y se convierte en un entorno completamente natural. Desde la parte alta de la montaña baja el caudal necesario para los estudios hidrológicos mínimos que se deben hacer para plantear la propuesta de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, SUDS en la localidad de Chapinero Alto, Bogotá, Colombia.

ANEXO 7

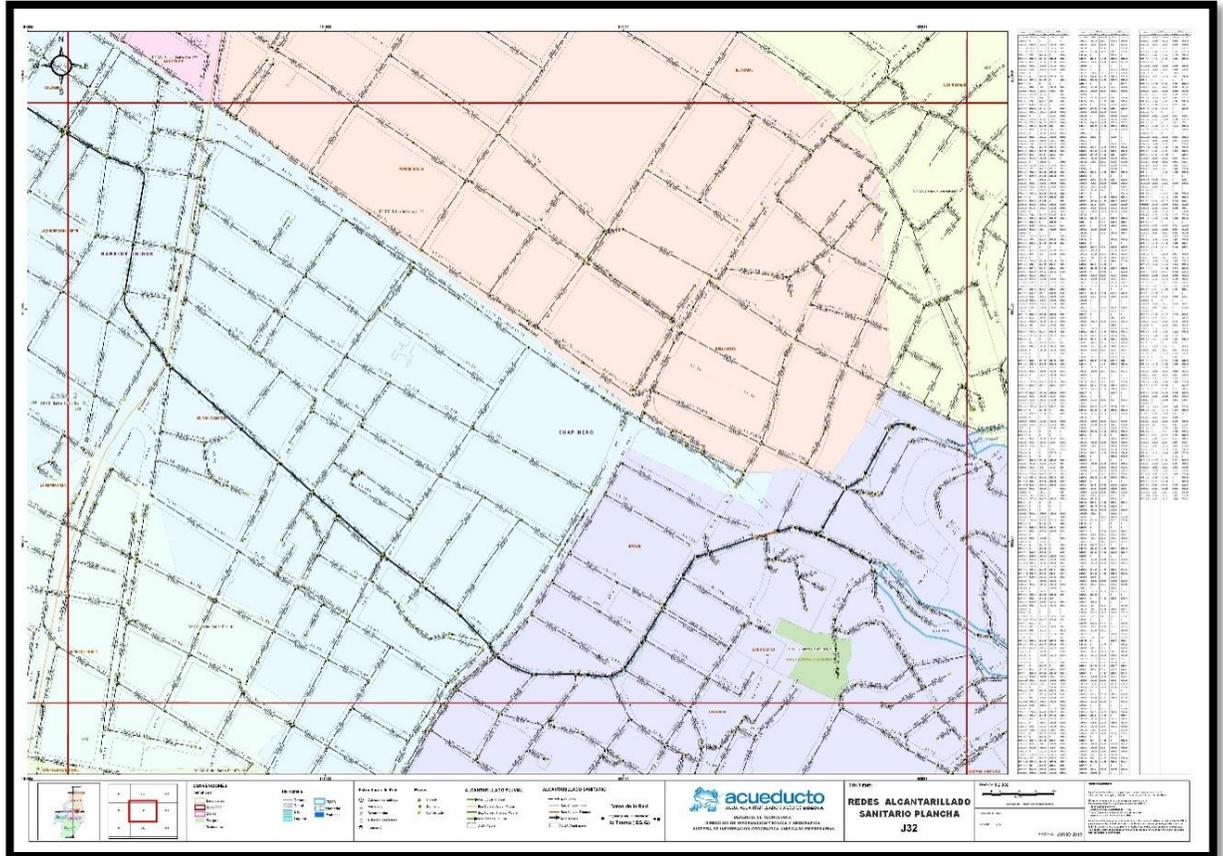
Figura 14. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J43



Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2015.

ANEXO 8

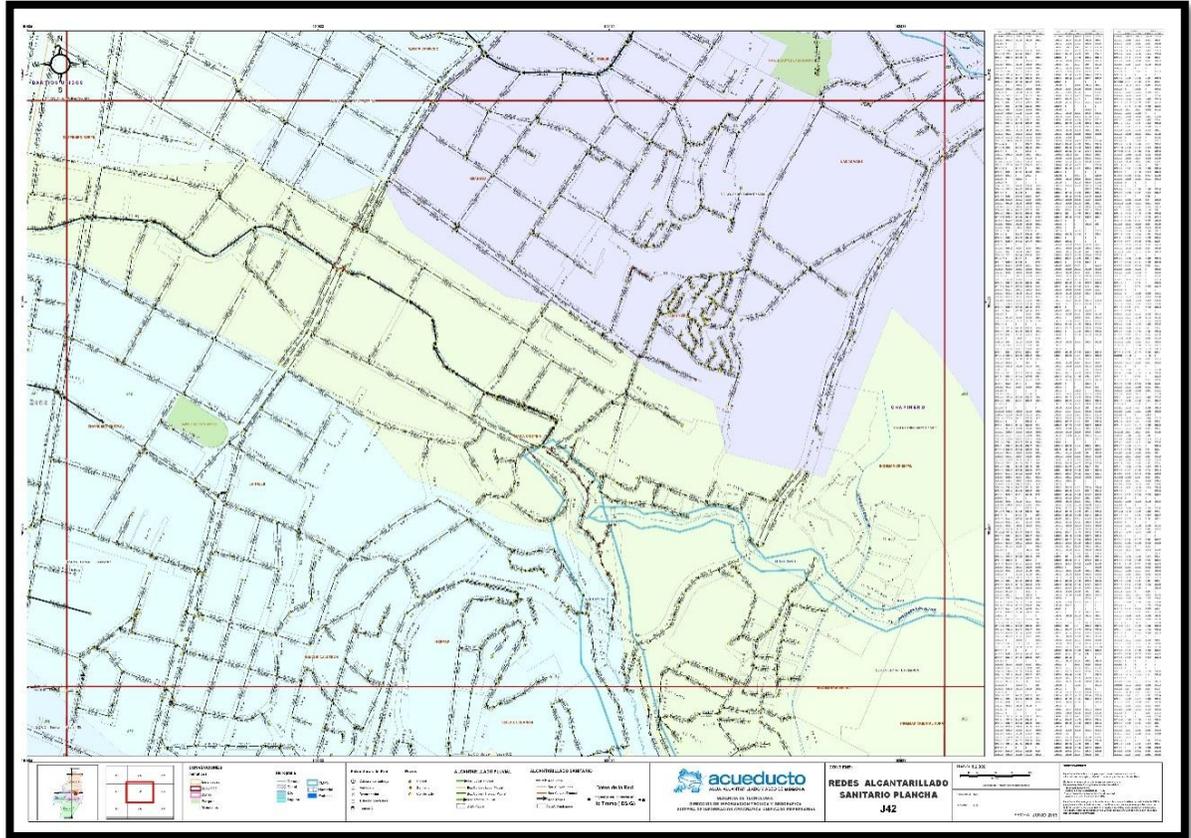
Figura 15. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J32



Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2015.

ANEXO 9

Figura 16. Redes Alcantarillado Sanitario Plancha J42



Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2015.

ANEXO 10

Tabla 18. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Emmanuel d'Alzón.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																
VALORES TOTALES MENSUALES PRECIPITACIÓN (mm)													NACIONAL AMBIENTAL			
													21201230			
													FECHA INSTALACIÓN			
													FECHA SUSPENSIÓN			
HA DE PROCE	ESTACION :															
LATITUD	TIPO ESTACIÓN:															
LONGIT	DEPTO:															
ELEVAC	ENTIDAD:															
REGIONAL:																
CORRIEN:																
TIBABUYES																
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL	VR MAX ANUAL
1985	2	1	43,1	1,7	25	64,1	113,5	15,4	33,5	32	101,7	47,3	97,4	52,4	627,1	113,5
1986	2	1	48,43	126,1	49,1	90,3	139,6	68,4	20,5	29,4	25,9	272	69,9	6,7	946,33	272
1987	2	1	48,5	45	40,2	91,4	90,3	12	46,5	28,5	46,7	194,93	49,2	7,2	700,43	194,93
1988	2	1	49,74	85,24	40,8	45,5	68,5	33,1	49,2	51,5	69,9	108,8	180,2	114	896,48	180,2
1989	2	1	31,5	68,1	183,3	61,9	71,7	34,2	30,2	42,1	43,1	113,3	94,2	26,6	800,2	183,3
1990	2	1	55,7	27,6	53,2	102,9	65,9	7,9	10,2	13,7	18,8	166,1	71,7	157,3	751	166,1
1991	2	1	44,5	4,2	123,6	115,7	119,1	13,1	23,7	24,7	66,7	29,6	211	110,1	886	211
1992	2	1	34,5	17,4	38,4	57,9	7,9	6,4	21	89,4	79,7	17,6	190,3	105	665,5	190,3
1993	2	1	44,7	27	109,9	106,9	103,3	6,4	35,2	7,9	47,8	33,6	201	111,8	835,5	201
1994	2	1	92,2	112,1	134,2	113,8	100,3	50,9	14,9	31,6	37,4	83,2	154,5	13,8	938,9	154,5
1995	2	1	15,52	53,8	84,9	124,8	89,3	62,9	18,3	95,9	42,5	99,3	75,8	89,2	852,22	124,8
1996	2	1	62,5	105,3	136,1	79,5	98,4	35,4	47	70,6	77,5	118,2	48,4	45,2	924,1	136,1
1997	2	1	148,8	22,1	51,4	55,4	60	43,6	2,2	2,9	28,8	64,3	54,2	2,5	536,2	148,8
1998	2	1	6,4	83,1	71,9	105,9	153	34,4	36,1	88,9	110	153,4	106,3	194,5	1143,9	194,5
1999	2	1	64,7	142,6	149,1	54,6	76,6	78,3	14,3	46,7	84,3	161,2	211,2	58,6	1142,4	211,2
2000	2	1	107,4	173,4	142,3	38,9	42,7	31,3	78,7	39,3	71,5	113,8	80,8	21,8	941,7	173,4
2001	2	1	13,7	27,6	128,9	13,9	64,6	23	30,2	11,4	84	33,4	53	62,3	546	128,9
2002	2	1	24,7	53,9	123,2	126,3	108	72,6	23,5	26,3	61,7	84,2	36	87,5	827,9	126,3
2003	1	1	10,7	68,3	75	116,3	28	51,9	25,8	32,8	60,6	177,2	194,8	67,2	908,6	194,8
2004	1	1	112	82,1	95,4	168,4	103,5	39,6	41,6	16,7	63,1	135,4	131,93	39,4	1029,13	168,4
2005	1	1	15,7	74	34	88,3	192,2	28,8	13,4	35,4	58,3	145,4	53	100,6	839,1	192,2
2006	1	1	140,2	26,1	119,9	163,8	143,9	83,2	12	29,2	23,1	97	170,5	32,4	1041,3	170,5
2007	1	1	20,7	28,4	76,9	128,9	55,2	42,1	25,3	33,53	5,1	230	152,2	171,6	969,93	230
2008	1	1	25,2	72,4	143,8	127,5	212,83	102,03	68,4	63,13	40,3	183,3	152,63	78,83	1270,35	212,83
2009	1	1	131,7	123,93	76,9	53,5	39,7	51,9	26,8	17,7	10,8	180,53	75,9	45,8	835,16	180,53
															875,13	178,40
OMEDIO Cor			55,71	66,06	92,30	91,86	93,93	41,15	29,94	38,45	54,37	121,72	116,64	72,09	874,22	

Fuente: IDEAM.

ANEXO 11

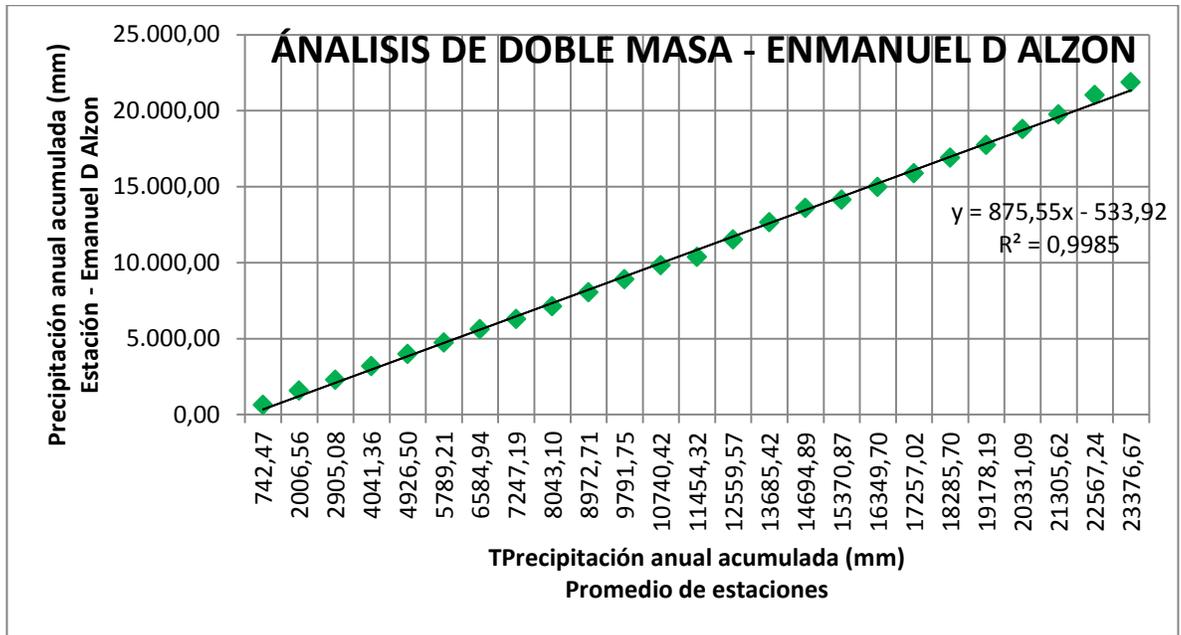
Tabla 19. Valores totales mensuales de precipitación - Estación Jardín Botánico.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																
VALORES TOTALES MENSUALES PRECIPITACIÓN (mms)												SISTEMA DE INFORMACIÓN				
												NACIONAL AMBIENTAL				
HA DE PROCE	####											ESTACION	21205710 JARDIN BOTANICO			
LATITUD	4.4 N											TIPO ESTACION	sept-74			
LONGITUD	74.96 W											ENTIDAD:	IDEAM			
ELEVAC	2552 m.s.n.m											MUNICIP	BOGOTA			
												REGIONAL:	11BOG			
												CORRIE	BOGOTA			
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL	VR MAX ANUAL
1985	2	1	17.1	5.4	56.7	69.1	124.1	22	43	52.6	128.5	106.7	80.6	59.6	765.4	128.5
1986			78.54	137.76	114.13	221.40	164.06	107.81	54.42	32.12	47.09	333.43	153.10	12.11	1455.98	333.43
1987	2	1	52.8	35.5	26.5	136.8	108.3	15.9	53.8	35.5	65.4	159.8	43.5	30.3	764.1	159.8
1988	2	1	27.83	34.7	9	124.7	163.9	44.5	44.8	32.4	81.3	136.7	175.4	97.3	1033.883	175.4
1989	2	1	16.5	66.4	179.9	52.4	87.3	56.3	24.73	39.7	81.1	101.7	79.83	27.2	613.06	179.9
1990	2	1	62.5	44.9	58.2	143.3	104.4	10.4	33.2	39.6	90.9	219.9	130.4	165.6	1103.3	219.9
1991	2	1	37.8	3.9	75.2	106.5	64.2	6.8	22.53	26	43.13	20.63	145.9	64.53	617.12	145.9
1992	2	1	19.6	24.5	41.95	53.6	60.5	14.1	37.33	44.1	81.53	58.8	173.4	76.4	685.81	173.4
1993	2	1	47.9	50.03	78.3	137.7	149.7	19.5	55.3	30.6	50.8	41.7	198.7	71.2	931.43	198.7
1994			126.81	90.11	108.32	88.47	223.37	55.02	52.77	54.78	37.38	87.37	132.55	19.34	1076.23	223.3700135
1995			16.35	68.53	94.49	123.97	100.26	71.17	26.57	79.02	38.80	85.49	101.90	110.26	917.39	123.3694147
1996	2	1	88.90	115.04	212.71	74.6	132.9	58.7	83.1	74	84.9	111.5	39.7	30.1	1106.15	212.7122197
1997	2	1	108.3	17.3	51.8	90.4	64.7	97.7	29.3	18.2	65.3	57.8	104.6	9.9	715.3	108.3
1998	2	1	26.8	63.5	88	112.5	191.3	53.6	65.7	101.63	199.7	141.03	132.33	179	1355.09	199.7
1999	2	1	82.9	171.8	135.33	82.73	95.13	137	59.83	61.33	139.1	212.63	135.2	86.93	1399.91	212.63
2000	2	1	66.83	200.2	124.9	85.5	87.6	103.33	106.5	45.9	121.2	136.93	74.03	19.07	1171.99	200.2
2001	2	1	70.43	33.9	105.1	212.3	119.03	49.3	41.03	26.43	105	30.7	118.8	50.63	771.58	119.03
2002	2	1	62.5	68.6	72.53	306.3	121.6	139.3	34.5	19.53	68.3	106.63	91.2	98.23	1189.22	306.3
2003	1	1	6.1	43.63	50.43	141.2	24.7	67.3	41.5	79.4	74.8	81.53	129.73	96.58	836.90	141.2
2004	1	1	63.10	160.67	50.33	116.03	136.9	72.4	42.53	35.83	85.73	190.33	140.23	33.43	1127.51	190.33
2005	1	1	55.13	62.53	68.33	110.6	227.2	49.8	20.03	44	62.3	225.4	81.2	109.9	1116.42	227.2
2006	1	1	119.1	43.3	179.13	262.9	208.6	117.4	30.3	41.8	35.4	195.8	142.6	35.40	1411.73	262.9
2007	1	1	22.61	49.93	85.73	140.82	106.04	45.99	27.64	36.63	17.23	266.9	140	144.6	1084.13	266.9
2008	1	1	73.9	67	144.1	112.5	212.9	135.3	94.59	86.5	48.3	183	185.8	94.63	1438.52	212.9
2009	1	1	78.13	112.7	149.8	89.7	17.4	68.9	29.3	34.2	28	140.3	60.4	78.2	887.03	149.8
															956.07	194.89
COMEDIO Correl			57.14	70.87	94.44	120.20	123.84	64.78	46.17	49.27	75.25	137.39	119.64	72.02	1031.01	

Fuente: IDEAM.

ANEXO 13

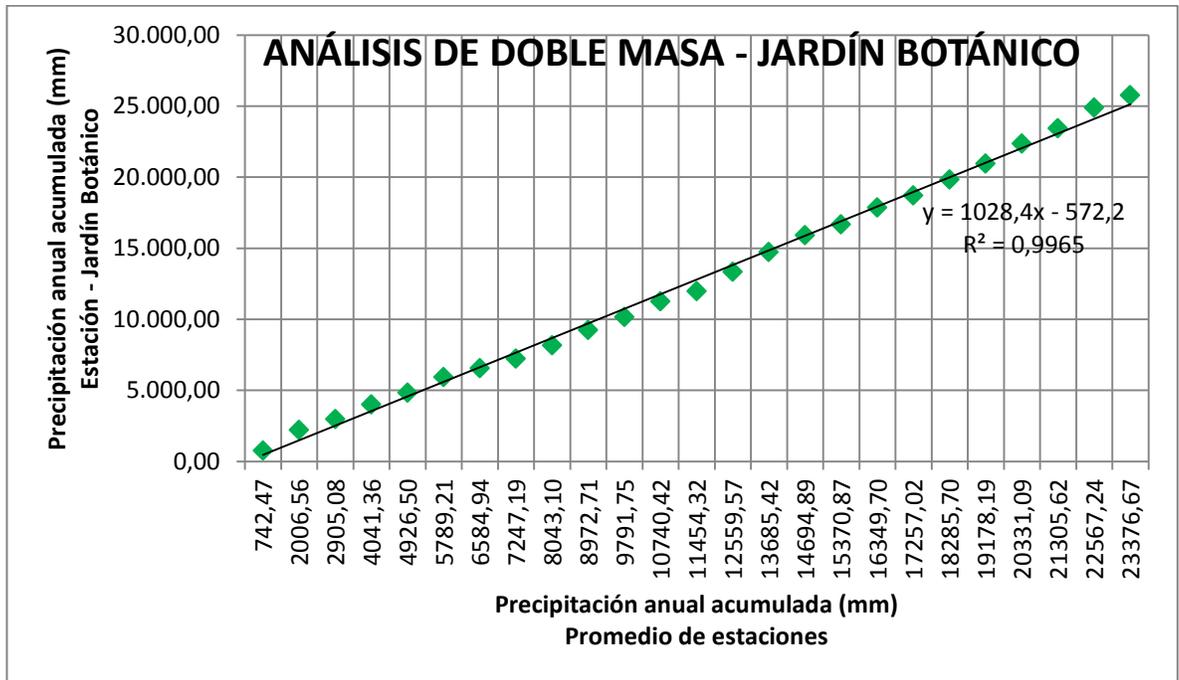
Gráfica. 4. Análisis de doble masa - Estación Emmanuel d' - Alzón.



Fuente: Autores.

ANEXO 14

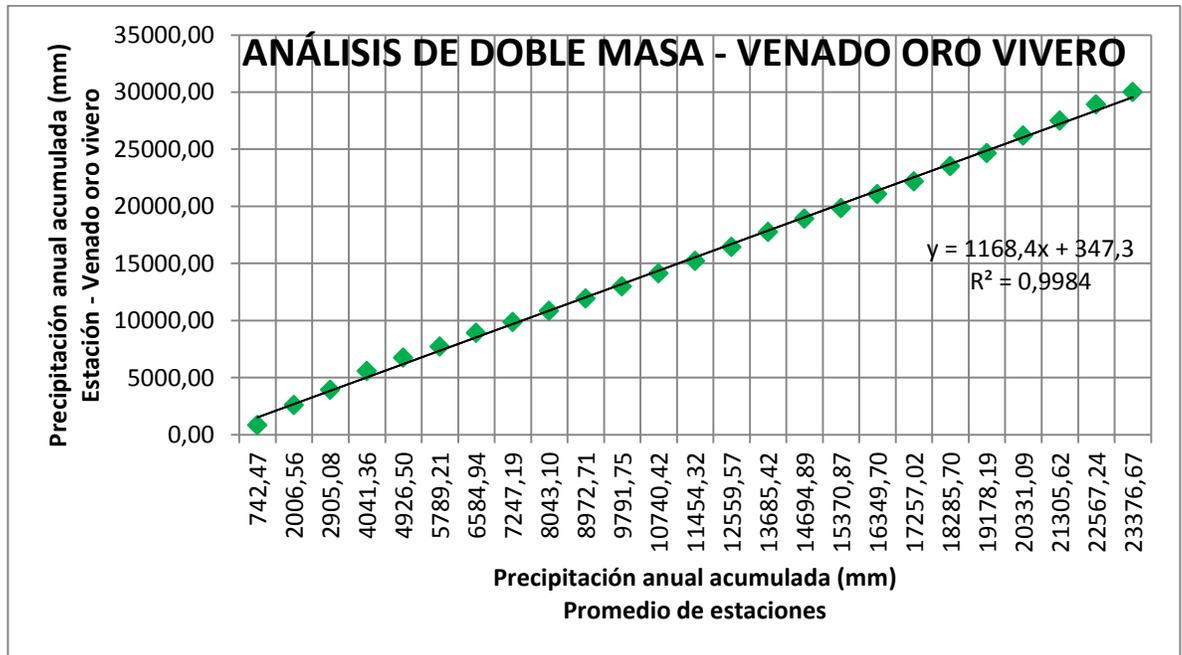
Gráfica. 5. Análisis de doble masa - Estación Jardín Botánico.



Fuente: Autores.

ANEXO 15

Gráfica. 6. Análisis de doble masa - Estación Venado Oro Vivero.



Fuente: Autores.

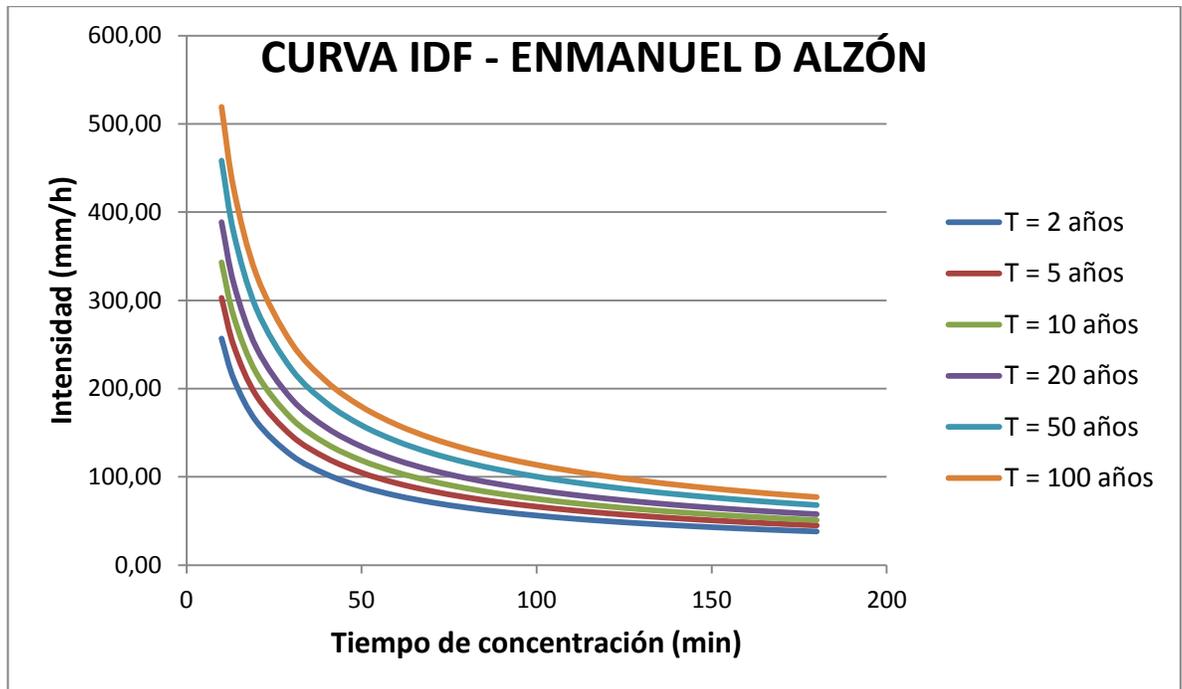
ANEXO 16

Tabla 21. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación - Emmanuel d' - Alzón.

t (min)	Tiempo de retorno, T en años					
	2	5	10	20	50	100
10	256,78	302,82	343,06	388,65	458,34	519,25
13,55	210,16	247,84	280,77	318,08	375,12	424,97
20	162,51	191,65	217,12	245,97	290,07	328,62
30	124,35	146,65	166,14	188,22	221,97	251,46
40	102,85	121,29	137,41	155,67	183,58	207,98
50	88,76	104,68	118,59	134,35	158,44	179,50
60	78,70	92,81	105,15	119,12	140,48	159,14
70	71,09	83,83	94,97	107,60	126,89	143,75
80	65,09	76,76	86,96	98,52	116,18	131,62
90	60,22	71,02	80,46	91,15	107,49	121,78
100	56,18	66,25	75,05	85,03	100,27	113,60
110	52,75	62,21	70,48	79,84	94,16	106,67
120	49,81	58,74	66,54	75,39	88,91	100,72
130	47,24	55,72	63,12	71,51	84,33	95,54
140	44,99	53,06	60,11	68,09	80,31	90,98
150	42,99	50,70	57,43	65,06	76,73	86,93
160	41,19	48,58	55,04	62,35	73,53	83,30
170	39,58	46,68	52,88	59,90	70,65	80,03
180	38,11	44,95	50,92	57,69	68,03	77,07

Fuente: Autores.

Gráfica. 7. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación -Emmanuel d'Alzón.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 21, se observa que para un tiempo de retorno de cinco años y un tiempo de concentración de 13,55 min (Ec. Kirpich) se obtuvo una intensidad de 247,84 mm/h, mientras que la gráfica 7 contiene la curva IDF calculada de acuerdo con la información de las intensidades relacionadas en la tabla 18.

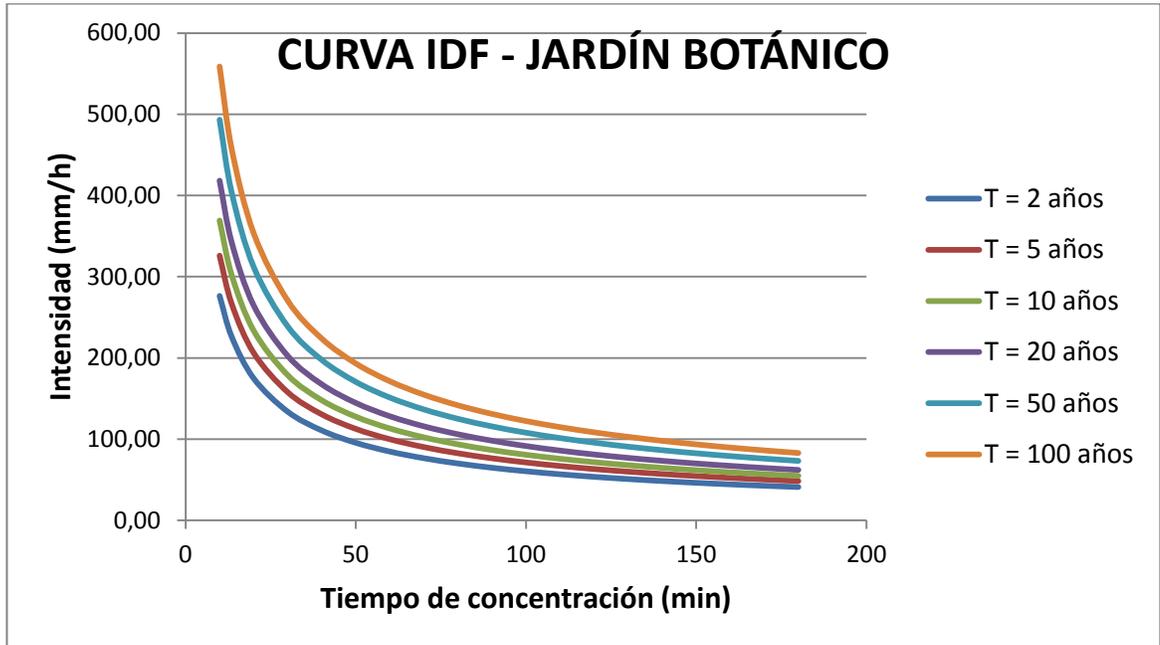
ANEXO 17

Tabla 22. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación Jardín Botánico.

t (min)	Tiempo de retorno, T en años					
	2	5	10	20	50	100
10	276,33	325,88	369,18	418,24	493,24	558,78
13,55	226,16	266,71	302,15	342,30	403,68	457,33
20	174,88	206,24	233,65	264,70	312,16	353,64
30	133,82	157,82	178,79	202,55	238,87	270,61
40	110,68	130,53	147,87	167,52	197,56	223,81
50	95,52	112,65	127,62	144,58	170,50	193,16
60	84,69	99,88	113,15	128,19	151,17	171,26
70	76,50	90,22	102,21	115,79	136,55	154,70
80	70,05	82,61	93,58	106,02	125,03	141,65
90	64,81	76,43	86,58	98,09	115,68	131,05
100	60,45	71,29	80,77	91,50	107,91	122,25
110	56,77	66,95	75,84	85,92	101,33	114,79
120	53,60	63,21	71,61	81,13	95,67	108,39
130	50,84	59,96	67,93	76,95	90,75	102,81
140	48,42	57,10	64,68	73,28	86,42	97,90
150	46,26	54,56	61,80	70,02	82,57	93,55
160	44,33	52,28	59,23	67,10	79,13	89,64
170	42,59	50,23	56,90	64,47	76,03	86,13
180	41,02	48,37	54,80	62,08	73,21	82,94

Fuente: Autores.

Gráfica. 8. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación Jardín Botánico.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 22, se observa que para un tiempo de retorno de cinco años y un tiempo de concentración de 13,55 min (Ec. Kirpich) se obtuvo una intensidad de 266.71 mm/h, mientras que la gráfica 8 contiene la curva IDF calculada de acuerdo con la información de las intensidades relacionadas en la tabla 19.

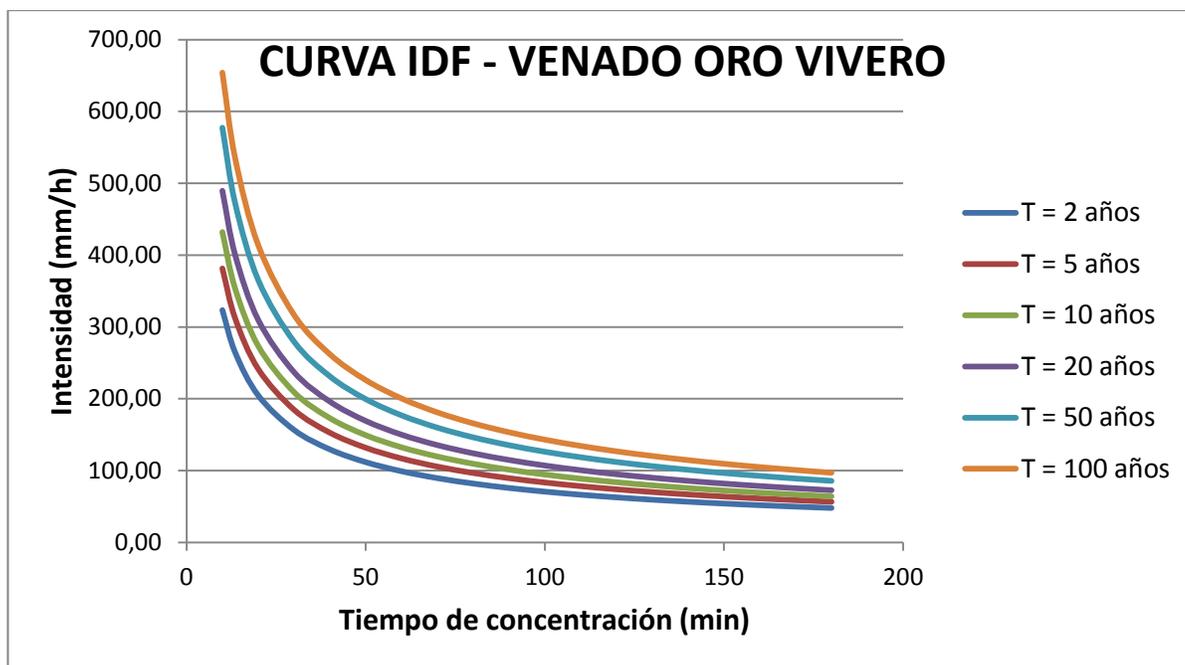
ANEXO 18

Tabla 23. Intensidades máximas asociadas a diferentes tiempos de retorno, con tiempos de 5 a 180 minutos. Estación Venado Oro Vivero.

t	Tiempo de retorno en años					
	2	5	10	20	50	100
10	323,45	381,45	432,14	489,56	577,35	654,07
13,55	264,72	312,19	353,68	400,68	472,52	535,31
20	204,70	241,41	273,49	309,83	365,39	413,94
30	156,64	184,73	209,28	237,09	279,60	316,75
40	129,55	152,78	173,09	196,09	231,25	261,98
50	111,81	131,86	149,38	169,23	199,58	226,10
60	99,14	116,91	132,45	150,05	176,95	200,47
70	89,55	105,60	119,63	135,53	159,84	181,07
80	81,99	96,69	109,54	124,10	146,35	165,80
90	75,86	89,46	101,35	114,82	135,41	153,40
100	70,76	83,45	94,54	107,10	126,31	143,09
110	66,45	78,36	88,78	100,57	118,61	134,37
120	62,74	73,99	83,82	94,96	111,99	126,87
130	59,51	70,18	79,51	90,08	106,23	120,34
140	56,67	66,83	75,71	85,78	101,16	114,60
150	54,15	63,86	72,34	81,96	96,65	109,50
160	51,89	61,20	69,33	78,54	92,62	104,93
170	49,86	58,80	66,61	75,46	88,99	100,82
180	48,01	56,62	64,14	72,67	85,70	97,08

Fuente: Autores.

Gráfica. 9. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia. Estación - Venado Oro Vivero.



Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 23, se observa que para un tiempo de retorno de cinco años y un tiempo de concentración de 13,55 min (Ec. Kirpich) se obtuvo una intensidad de 312.19 mm/h, mientras que la gráfica 9 contiene la curva IDF calculada de acuerdo con la información de las intensidades relacionadas en la tabla 20.

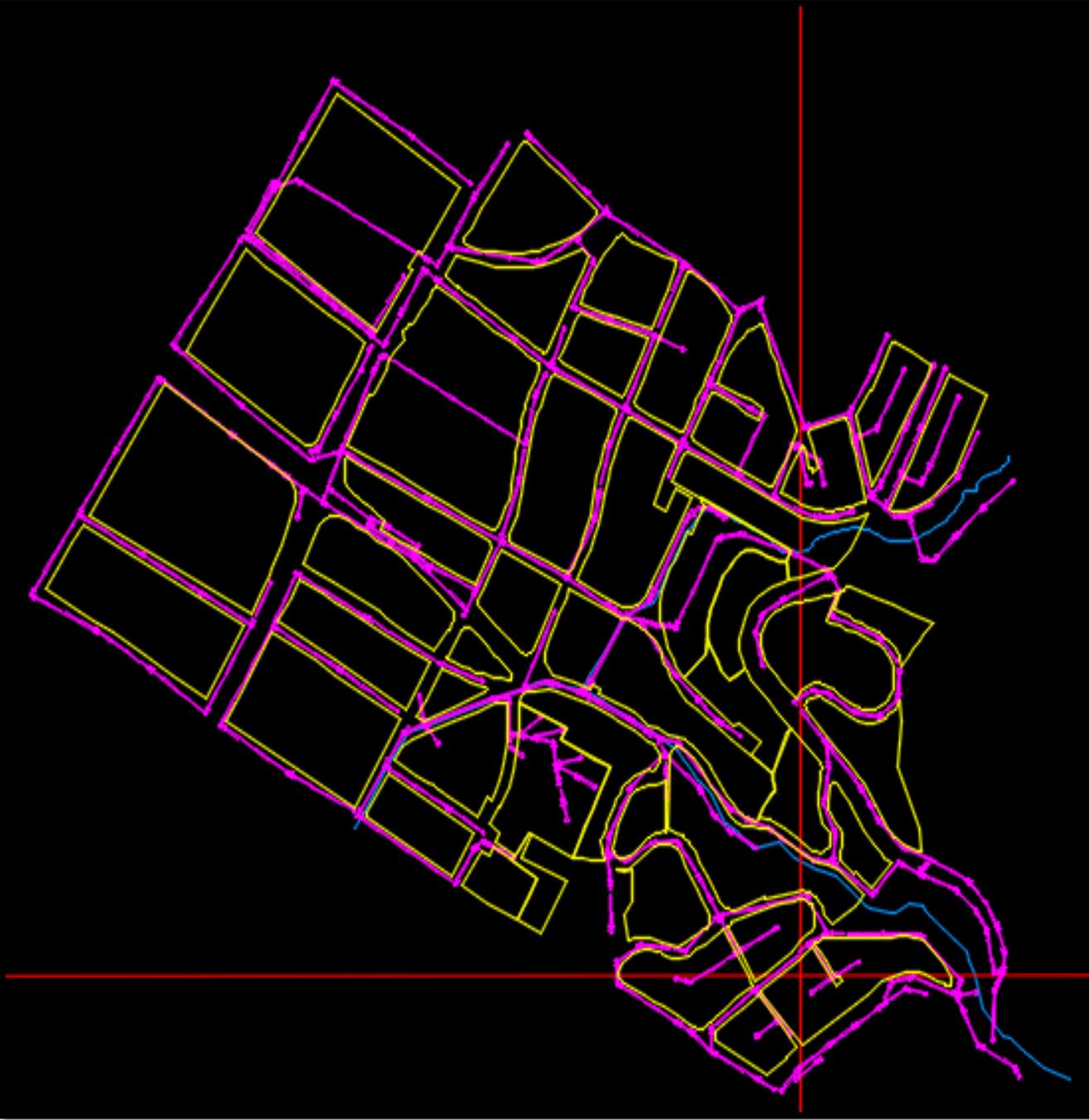
ANEXO 19

Tabla 24. Coeficiente de escorrentía C, según el tipo de área de drenaje.

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS, 2009

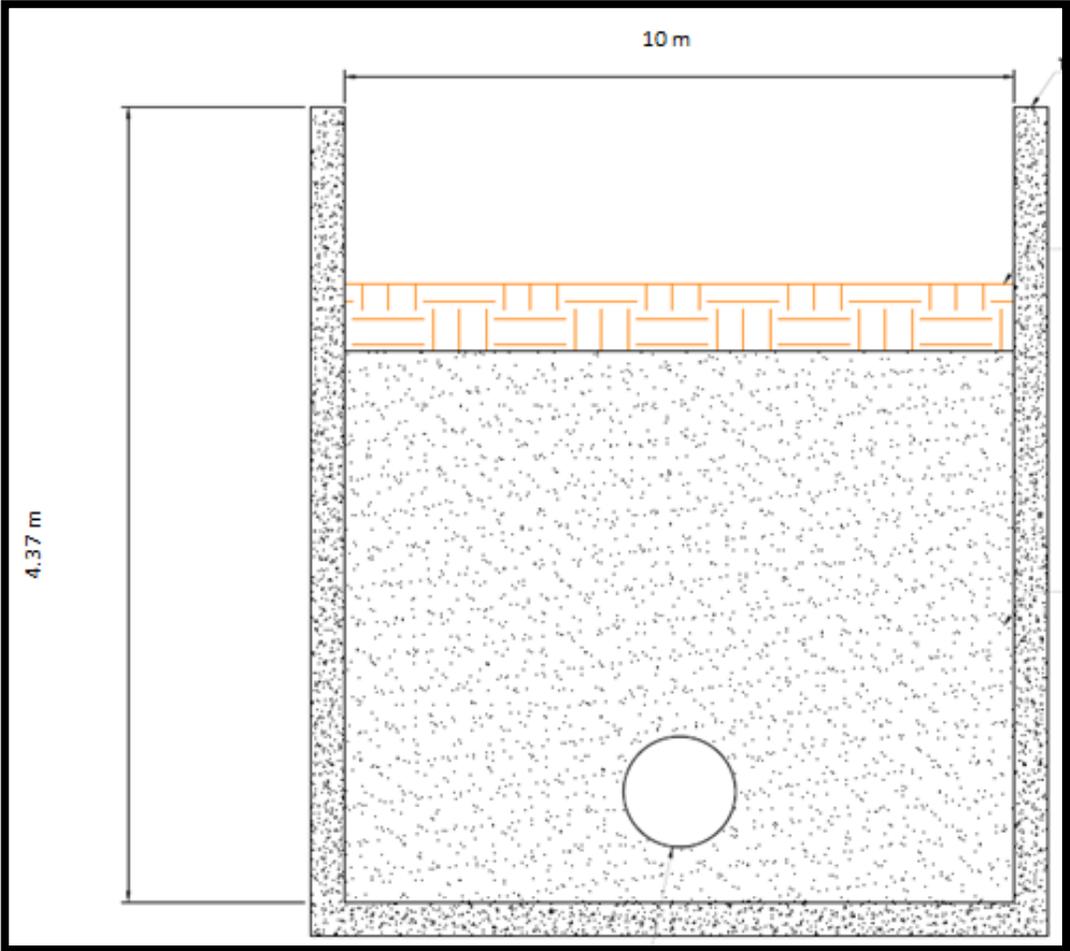
Figura 17. Plano de la zona de estudio.



Fuente: Autores.

ANEXO 21

Figura 18. Vista en corte del tanque para el dren filtrante.



Fuente: Autores.

Firma Estudiante
JUAN SEBASTIÁN MORALES JUYO.

Código 504762.

Firma Estudiante
DAVID FELIPE CAYCEDO
VILLARRAGA.

Código 504668.

Firma Asesor del Trabajo de Grado
HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO

FECHA (10/11/2017)