

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

**Diseño de un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Universidad
Santo Tomás, Campus Floridablanca**

Daniela Paola Gutiérrez Zambrano

Karol Johana Ariza Cañas

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Jherson Mauricio Suarez Santos

Mgs. En Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2020

Dedicatoria

Este trabajo de grado lo dedicó a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional pasando por aquellos momentos de triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres y hermanos, por ser las personas que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, y ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias.

A la familia Martínez Rueda, un hogar lleno de amor que me acogió y espero nunca dejar de pertenecer al él.

A mis seres queridos que ya no están conmigo siempre serán un impulso para seguir adelante, me enseñaron muchas cosas valiosas, me ayudaron a formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, que me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles y les estaré muy agradecida por todo el apoyo y lo que me brindaron hasta en los últimos momentos que compartimos.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a Brayan Martínez por todo el amor de forma incondicional, el apoyo y pilar para salir adelante por un futuro juntos.

A todos mis amigos, compañeros y docentes, por apoyarme a lo largo de todo mi proceso de formación cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles, por compartir sus conocimientos y experiencias y por el cariño brindado cada día, de todo corazón mil gracias, siempre los recordare y llevare en mi corazón. Siempre les estaré muy agradecida.

Daniela Gutiérrez

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a la vida por permitirme vivir, y con esto tener la maravillosa oportunidad de estudiar y de llegar a esta academia tan prestigiosa, de la cual me llevo muchos conocimientos y recuerdos gratos para mi vida.

Agradezco enormemente a mis padres, Marilú Cañas y Jonás Ariza, por todo su apoyo durante este tiempo de carrera profesional; también le doy mis más sinceros agradecimientos a una gran amiga y compañera de estudio, Daniela Gutiérrez, por toda la ayuda y apoyo que me ha brindado durante todo el tiempo en la facultad, y aún en el desarrollo de este proyecto.

No puedo prescindir de mi agradecimiento especial a nuestro director de grado, Jherson Mauricio Suarez, por su colaboración e incidencia, y por haber compartido su conocimiento durante el tiempo que tomó la preparación de este proyecto.

¡A TODOS GRACIAS!

Karol Ariza

Agradecimientos

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Jherson Suarez, por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo, esfuerzo y dedicación, así como, sus conocimientos, su orientación, su motivación y su persistencia has sido fundamentales para sacar adelante este trabajo y que han permitido mejorar mi formación profesional.

También me gustaría agradecer los consejos recibidos a lo largo de los últimos años por otros profesores de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, en especial quienes me impartieron clases y compartieron conmigo su conocimiento y experiencia y que en algún momento me aconsejaron y me dieron sus puntos de vista e ideas, así como aquellos que aportaron un granito de arena para el desarrollo de este trabajo destacando a la Dra. Paolo Andrea Moreno, la D.I. Sandra Marcela Duran. Igualmente, y no menos importante agradecer a mi compañera y gran amiga Karol Ariza por su tiempo, disponibilidad, acompañamiento, apoyo y colaboración en la realización del presente trabajo de grado.

A la familia UTC empresa para la cual trabajo desde hace varios años y que me brindó su apoyo para estudiar.

A todos, muchas gracias.

Daniela Gutiérrez

Contenido

	Pág.
Glosario	16
Abstract	18
Introducción	19
1. Diseño de un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Universidad Santo Tomás, Campus Floridablanca	22
1.1. Objetivos	22
1.1.2 Objetivo General	22
1.1.3 Objetivos Específicos	22
2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.	23
2.1 Sistemas de Drenaje Filtrantes.	23
2.2 Tipos de SUDS con su respectiva ecuación para su diseño.	25
2.2.1. Alcorques inundables	25
2.2.2. Cuenca seca de drenaje extendido	26
2.2.3. Cunetas verdes.	27
2.2.4. Pavimentos permeables.	28
2.2.5. Tanques de almacenamiento.	29
2.2.6. Zanja de infiltración.	30
2.2.7. Zonas de bio-retención.	31
2.2.8. Techos verdes.	32
2.3 Condiciones para tener en cuenta.	33

2.4	Conceptos para entender los SUDS.	35
2.5	Normativa aplicable a SUDS	36
2.5.1	Nivel nacional.....	36
2.5.2	Nivel Departamental.....	37
2.5.3	Resolución 0330, Ministerio de Vivienda.	39
2.5.4	Normativa Ambiental	39
3.	Método.....	41
3.1.	Identificación de las zonas críticas.....	42
3.1.1	Gestión de la Información.	42
3.1.2	Levantamiento Topográfico.....	42
3.1.3.	Registro Fotográfico.	43
3.1.4	Selección tipos de SUDS.....	43
3.2.	Definición de las Tipologías de SUDS.	43
3.2.1.	Definición de criterios de selección.....	45
3.2.2.	Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).....	49
3.3.	Diseño del Tren de SUDS	51
3.3.1	Los alcorques inundables:	51
3.3.2	Zanjas de infiltración.....	53
3.3.3	Los pavimentos permeables:	58
3.3.4	Tanques de almacenamiento.....	60
4.	Resultados.....	64
4.1.	Datos Hidrológicos.....	64
4.2.	Levantamiento topográfico	66

4.3. Registro fotográfico.....	68
4.4. Plano de zonificación	73
4.5. Definición de las mejores alternativas de SUDS con mayor grado de sostenibilidad	75
4.5.1. Definición de las alternativas de SUDS	78
4.6. Diseño del tren de SUDS	91
4.6.1 Alcorques inundables:	91
4.6.2. Zanjas de infiltración:.....	92
4.6.3. Pavimentos permeables	93
4.6.4. Tanque de almacenamiento:	95
4.7. Aspectos constructivos y de mantenimiento	97
4.7.1 Alcorques inundables:	97
4.7.2. Pavimentos permeables:	100
4.7.3. Tanque de almacenamiento:	105
4.7.4 Zanjas de infiltración.....	106
4.8 Planos	108
5. Conclusiones.....	115
Referencias Bibliográficas	117
Apéndices	119

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Criterios para la implementación de los SUDS</i>	33
Tabla 2. <i>Tipos de sistemas urbanos de drenaje sostenible</i>	44
Tabla 3. <i>Calificación tipologías según eficiencia de remoción de contaminantes</i>	45
Tabla 4. <i>Procesos de filtración y sorción</i>	46
Tabla 5. <i>Calificación tipologías según eficiencia de reducción de escorrentía</i>	46
Tabla 6. <i>Calificación tipologías según contribución a la amenidad</i>	47
Tabla 7. <i>Calificación tipologías según frecuencia de mantenimiento</i>	48
Tabla 8 . <i>Clasificación de costos SUDS</i>	48
Tabla 9. <i>Escala para comparaciones pareadas</i>	50
Tabla 10. <i>Valores del índice de consistencia aleatorio</i>	51
Tabla 11. <i>Variables hidrológicas requeridas para el diseño de alcorques inundables</i>	52
Tabla 12. <i>Variables hidrológicas requeridas para el diseño de zanjas de infiltración</i>	55
Tabla 13. <i>Variables hidrológicas requeridas para el diseño de pavimentos permeables</i>	59
Tabla 14. <i>Variables hidrológicas requeridas para el diseño de tanques de almacenamiento</i>	60
Tabla 15. <i>Parámetros asociados al volumen de recolección del tanque de almacenamiento</i>	62
Tabla 16. <i>Actividades de operación y mantenimiento para los alcorques inundables</i>	97
Tabla 17. <i>Composición recomendada para el suelo</i>	99
Tabla 18. <i>Actividades de operación y mantenimiento para los pavimentos permeables</i>	101
Tabla 19. <i>Granulometría concreto hidráulico poroso ASTM C33</i>	102
Tabla 20. <i>Gradación del material de la capa de nivelación</i>	103

Tabla 21. <i>Gradación del material de la sub-base</i>	104
Tabla 22. <i>Gradación del material de la capa filtrante</i>	105
Tabla 23. <i>Actividades de operación y mantenimiento para los tanques de almacenamiento</i>	105
Tabla 24. <i>Actividades de operación y mantenimiento para las zanjas de infiltración</i>	106

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Sección transversal drenajes filtrantes.....	24
<i>Figura 2.</i> Alcorques inundables.....	25
<i>Figura 3.</i> Cuenca seca de drenaje extendido	26
<i>Figura 4.</i> Cunetas verdes	27
<i>Figura 5.</i> Pavimentos permeables.....	28
<i>Figura 6.</i> Tanques de almacenamiento.....	29
<i>Figura 7.</i> Zanja de infiltración.....	30
<i>Figura 8.</i> Zonas de bio-retención.....	31
<i>Figura 9.</i> Techos verdes	32
<i>Figura 10.</i> Marco Normativo SUDS	40
<i>Figura 11.</i> Gráfico de la metodología a emplear.....	41
<i>Figura 12.</i> Estructura jerárquica genérica AHP	49
<i>Figura 13.</i> El índice de consistencia, CI.....	50
<i>Figura 14.</i> La relación de consistencia (RC)	51
<i>Figura 15.</i> Volumen de calidad de agua V_c	52
<i>Figura 16.</i> Estructura alcorques inundables	53
<i>Figura 17.</i> Zanja de infiltración.....	54
<i>Figura 18.</i> Volumen de diseño.	55
<i>Figura 19.</i> Profundidad de almacenamiento.....	56
<i>Figura 20.</i> profundidades.....	56

<i>Figura 21.</i> Área superficial mínima de la zanja	57
<i>Figura 22.</i> Ancho mínimo de la zanja.	57
<i>Figura 23.</i> Planta esquemática de una cuneta verde.....	58
<i>Figura 24.</i> Volumen de calidad de agua.....	59
<i>Figura 25.</i> Perfil esquemático de un pavimento poroso con infiltración.	60
<i>Figura 26</i> Escorrentía mensual.....	61
<i>Figura 27</i> Volumen de agua remanente al final del mes.	62
<i>Figura 28</i> Descarga de excesos.	62
<i>Figura 29.</i> Datos Suministrados	64
<i>Figura 30.</i> Datos organizados por estaciones	65
<i>Figura 31.</i> Datos de la estación utilizada.....	66
<i>Figura 32.</i> Localización Google Earth	67
<i>Figura 33.</i> Nube de puntos curvas de Nivel Civil 3D	67
<i>Figura 34.</i> Zona verde frente a las clínicas odontológicas (1)	68
<i>Figura 35.</i> Zona verde frente a las clínicas odontológicas (2)	68
<i>Figura 36.</i> Anden peatonal Zona verde	69
<i>Figura 37.</i> Entrada Clínica Odontológica.....	69
<i>Figura 38.</i> Pasillo 1 piso Santander.....	70
<i>Figura 39.</i> Entrada Edificio Santander	70
<i>Figura 40.</i> Parqueadero Edificio Santander.....	71
<i>Figura 41.</i> Parqueadero Edificio Santander.....	71
<i>Figura 42.</i> Entrada Edificio Fray Angélico	72
<i>Figura 43.</i> Vía Frente a la cancha Sintética.....	72

<i>Figura 44.</i> Plazoleta Semi Sótano Edificio Fray Angélico.....	73
<i>Figura 45.</i> Box Culvert USTA	73
<i>Figura 46.</i> Mapa de zonificación.....	74
<i>Figura 47.</i> Mapa localización de zonas críticas.....	74
<i>Figura 48.</i> AHP criterios	75
<i>Figura 49.</i> AHP criterios (2).....	76
<i>Figura 50.</i> Relación de consistencia.....	77
<i>Figura 51.</i> AHP mejoramiento de la calidad de agua.....	78
<i>Figura 52.</i> AHP mejoramiento de la calidad de agua. (2).....	79
<i>Figura 53.</i> Relación de consistencia mejoramiento de agua lluvia	80
<i>Figura 54.</i> AHP Control de agua lluvia.....	81
<i>Figura 55.</i> AHP Control de agua lluvia (2)	82
<i>Figura 56.</i> Relación de consistencia en control de volúmenes de lluvia.....	83
<i>Figura 57.</i> AHP Costo	83
<i>Figura 58.</i> AHP Costo (2)	84
<i>Figura 59.</i> Relación de consistencia en costo.....	85
<i>Figura 60.</i> AHP Mantenimiento	86
<i>Figura 61.</i> AHP Mantenimiento (2)	87
<i>Figura 62.</i> Relación de consistencia en mantenimiento	88
<i>Figura 63.</i> AHP Amenidad.....	88
<i>Figura 64.</i> AHP Amenidad (2)	89
<i>Figura 65.</i> Relación de consistencia en amenidad.....	90
<i>Figura 66.</i> Resultados AHP	91

<i>Figura 67. Cálculo diseño Alcorques inundables.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 68. Cálculo diseño Zanjas de infiltración</i>	<i>93</i>
<i>Figura 69. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero motos entrada al campus)</i>	<i>94</i>
<i>Figura 70. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Santander).....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 71. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Fray Angélico).....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 72. Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (1).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 73. Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (2).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 74. Apéndice E. Alcorque inundable</i>	<i>109</i>
<i>Figura 75. Apéndice F. Pavimento permeable</i>	<i>110</i>
<i>Figura 76. Apéndice G. Tanque de almacenamiento</i>	<i>111</i>
<i>Figura 77. Apéndice H. Zanja de infiltración.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 78. Universidad santo tomas con la ubicación de los SUDS</i>	<i>113</i>
<i>Figura 79. Universidad santo tomas con la ubicación de los SUDS</i>	<i>114</i>

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Datos hidrológicos IDEAM.....	119
Apéndice B. Metodología AHP	119
Apéndice C. Plano USTA Floridablanca	119
Apéndice D. Hoja de cálculo SUDS	119
Apéndice E. Plano Alcorque inundable	119
Apéndice F. Plano Pavimento permeable	119
Apéndice G. Plano Tanque de almacenamiento	120
Apéndice H. Plano Zanja de infiltración.....	120

Glosario

Cobertura Vegetal: superficies cubiertas con jardines y césped [1].

Cuerpo de agua: es alguna extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) o en el subsuelo acuíferos, ríos subterráneos[1].

Espacio Verde: son los que están en el espacio público efectivo establecido pueden contener árboles o no dan un sostenimiento ecosistémico a la ciudad y ofrece un espacio vital para la naturaleza dentro de la ciudad permitiendo la permeabilidad y estabilidad del suelo, pero también la producción de oxígeno y regulación de la temperatura de la ciudad entre otros [1].

Inundación: Suceso natural como consecuencia de lluvias potentes y de largos periodos de tiempo que el suelo no puede retener y los cauces se desbordan e inundan algunos sectores aledaños. Las inundaciones se fraccionan con el régimen de los cauces en: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento[2].

Mantenimiento: Acciones preventivas y correctivas efectuadas en una estructura, equipo o instalación para preservar su buen estado y funcionamiento garantizando la vida útil[2].

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS: son sistemas definidos en nuevas áreas a desarrollar o de renovación urbana, con el fin de potenciar el valor ambiental del sistema hídrico y contribuir al manejo de los riesgos ambientales asociados a la escorrentía urbana [3].

Superficie permeable: cuerpo que posee la capacidad de infiltrar, mantener, y manejar las aguas lluvias en un tiempo determinado para que no tenga efectos sobre la estructura[1].

Resumen

El cambio climático es la variación del sistema climático del mundo, por tanto, desencadena fenómenos poco predecibles que han afectado a los seres vivos; este proyecto tiene como finalidad dar solución a una problemática vivida en el campus Floridablanca de la Universidad Santo Tomás centrándose cuando se presentan periodos de lluvias, proponiendo usar cuatro tipos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS, los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta las zonas de alta afectación, la aplicación de una metodología de selección basada en criterios mediante una evaluación con el método de Análisis Jerárquico (AHP) donde se seleccionaron una serie de criterios como lo son: Mejoramiento de la calidad del agua, Control de volúmenes de agua lluvia, Amenidad, Mantenimiento y costo; del que se obtuvo como resultado 4 tipologías, Zanjas de infiltración, alcorques inundables, tanques de almacenamiento y pavimentos permeables, las cuales se ajustaban a la necesidad y las propiedades teóricas del terreno encontradas.

Palabras claves: Cambio climático, SUDS, fenómenos, criterios de selección, zona de estudio.

Abstract

Climate change is the variation of the world's climate system, therefore, it triggers unpredictable phenomena that have affected living beings; The purpose of this project is to solve a problem experienced in the Floridablanca campus of the Santo Tomás University, focusing when rainy periods occur, proposing the use of four types of Urban SUDS Sustainable Drainage Systems, which were selected taking into account the areas of high impact, the application of a selection methodology based on criteria through an evaluation with the Hierarchical Analysis method (AHP) where a series of criteria were selected such as: Improvement of water quality, Control of rainwater volumes, Amenity, Maintenance and cost; From which 4 typologies were obtained, infiltration ditches, floodplains, storage tanks and permeable pavements, which were adjusted to the need and the theoretical properties of the terrain found.

Key Word: Climate change, SUDS, phenomena, selection criteria, study area.

Introducción

El cambio climático se presenta con prolongadas épocas de precipitaciones, aumentos de temperatura, tormentas, esto trae consigo unas consecuencias que pueden ser irreversibles si no se toman medidas sostenibles[4]. En el Departamento de Santander ha incrementado el proceso de deterioro de las cuencas debido a la continua deforestación y ampliación de zonas de ganadería y agricultura; a ello se une la creciente contaminación por las descargas con bajo control de los residuos sólidos y líquidos [5]. Factores influyentes como su localización en la zona de confluencia intertropical que la atraviesa dos veces al año, han permitido una variación en el comportamiento de las lluvias, y un cambio climático que ha sido estudiado y quizá responsabilizado por el aumento de lluvias no solamente en la ciudad, sino en varias partes del mundo. Según el equipo de la Tercera Comunicación Nacional de cambio Climático del IDEAM para el Departamento se pronostica que en el período 2011 - 2040 habrá un aumento de la temperatura promedio de hasta 0,9 °C y un incremento en la precipitación hasta de un 0,54%[6].

Argumentos como los anteriores, son los que evidencian la problemática que se presenta en la ciudad, donde frecuentemente los sistemas de drenajes convencionales se desbordan en épocas de lluvias, ya que quizá, son insuficientes para manejar los grandes volúmenes de agua pluvial, es por esta razón que el diseño e implementación de los SUDS ha sido tomado como una alternativa viable y sostenible para lograr disminuir en gran parte los problemas de inundaciones que afecta a comunidades cercanas como lo es la zona de estudio la Universidad Santo Tomás campus Floridablanca; donde se presentan debido a la falta de capacidad hidráulica de la estructura existente para drenar los caudales de escorrentía de los eventos de lluvia, situación que empeora cuando se presentan eventos de alta precipitación simultáneos, se puede ver que tanto en la zona

verdes como en la zona de tránsito se provoca un aumento súbito de los caudales de escorrentía que deben ser evacuados, viéndose perjudicada tanto la población estudiantil como los empleados y planta física. Los empozamientos a las entradas y salidas de los edificios generan riesgo, afectando directamente la estructura de las edificaciones causando su deterioro prematuro, también otros efectos menores como la llegada de insectos e incomodidad en las clases al presentar encharcamientos en las aulas.

Con la problemática plateada, a través de la información recopilada y suministrada por el IDEAM y la USTA, quienes nos facilitaron datos históricos de lluvias, planos y acompañamiento, por otra parte, la dependencia gestión ambiental de la USTA, quien permitió contactar a funcionario de la Universidad que facilitaran información para permitir un mejor desarrollo del trabajo.

El presente trabajo de grado se centrará en puntos neurálgicos de la USTA campus Floridablanca, más exactamente en las entradas de los edificios, pasillos, parqueaderos y algunas zonas verdes, focalizando solucionar necesidad de cada zona afectada, de tal forma que el impacto positivo de implementación de este proyecto sea aún mayor, más adelante se explicará la selección del lugar y del sistema Tren de SUDS mediante el proceso de análisis jerárquico AHP, ya que se manejan dentro de estos, varias tipologías. Cabe resaltar que los SUDS también serán diseñados para otros objetivos como la restauración del ciclo natural del agua, la disminución de los encharcamientos, y la reducción de los contaminantes que el agua lluvia adquiere durante su recorrido, con el objetivo de evitar que esta contaminación llegue a un cuerpo de agua como lo es la Quebrada Aguablanca.

Es importante reseñar que esta alternativa, será respaldada con la transferencia de conocimiento, la bibliografía, el análisis de los antecedentes, y los diseños que contendrán memorias de cálculos, planos de diseño que evalúen esta solución sostenible para el medio ambiente.

1. Diseño de un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para la Universidad Santo Tomás, Campus Floridablanca

1.1. Objetivos

1.1.2 Objetivo General

Diseñar un tren de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en el campus de la Universidad Santo Tomas campus Floridablanca.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Identificar las zonas críticas que requieran la implementación de SUDS en el campus de la Universidad Santo Tomas campus Floridablanca.
- Seleccionar los tipos de SUDS que se ajusten a las especificaciones de diseño y las condiciones de las zonas identificadas.
- Diseñar el tren de SUDS como alternativa de solución sostenible.

2. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

2.1 Sistemas de Drenaje Filtrantes.

Los sistemas de drenajes filtrantes pueden ser largas zanjas de infiltración o sumideros (o soakaways) compuestos por tuberías perforadas de pendiente leve y capas de roca granular, puede tener un recubrimiento de fibra geotextil permitiendo que el agua se infiltre por la capa de grava y el suelo. El agua también puede conducirse a otros drenajes urbanos, o ser descargadas a un cuerpo receptor cercano [3].

Los drenajes filtrantes se pueden situar a lo largo de las pendientes laterales de vías u otras depresiones lineales. Estos sistemas son apropiados para el tratamiento de la escorrentía de techos, andenes, estacionamientos y vías de tráfico medio con un adecuado tratamiento.

Los drenajes filtrantes pueden implantarse para sustituir tuberías de drenaje pluvial convencional donde las condiciones de topografía y la índole de escorrentía sean los idóneos. Es necesario que el nivel freático del lugar no se encuentre muy superficial ya que se debe garantizar que la tubería a instalar se encuentre por encima del nivel freático [8].

El drenaje filtrante puede dejar ver la capa de grava o tener un recubrimiento vegetal. La vegetación superior ayuda al tratamiento del agua lluvia por que posibilita la sedimentación de contaminantes a continuación se muestra una imagen de un drenaje filtrante[9].

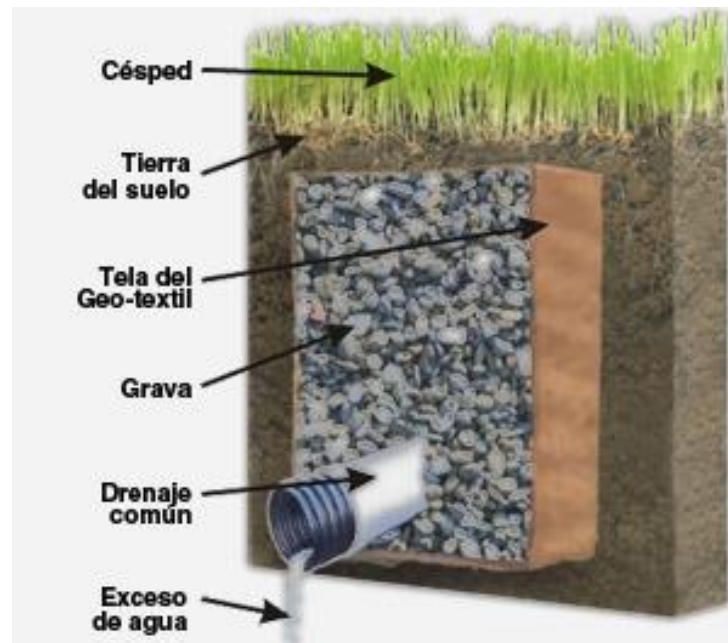


Figura 1. Sección transversal drenajes filtrantes.
Fuente: Drenes filtrantes o franceses, SuDS sostenible

2.2 Tipos de SUDS con su respectiva ecuación para su diseño.

Gráficos. Descripción de los tipos de SUDS más implementados.

2.2.1. Alcorques inundables

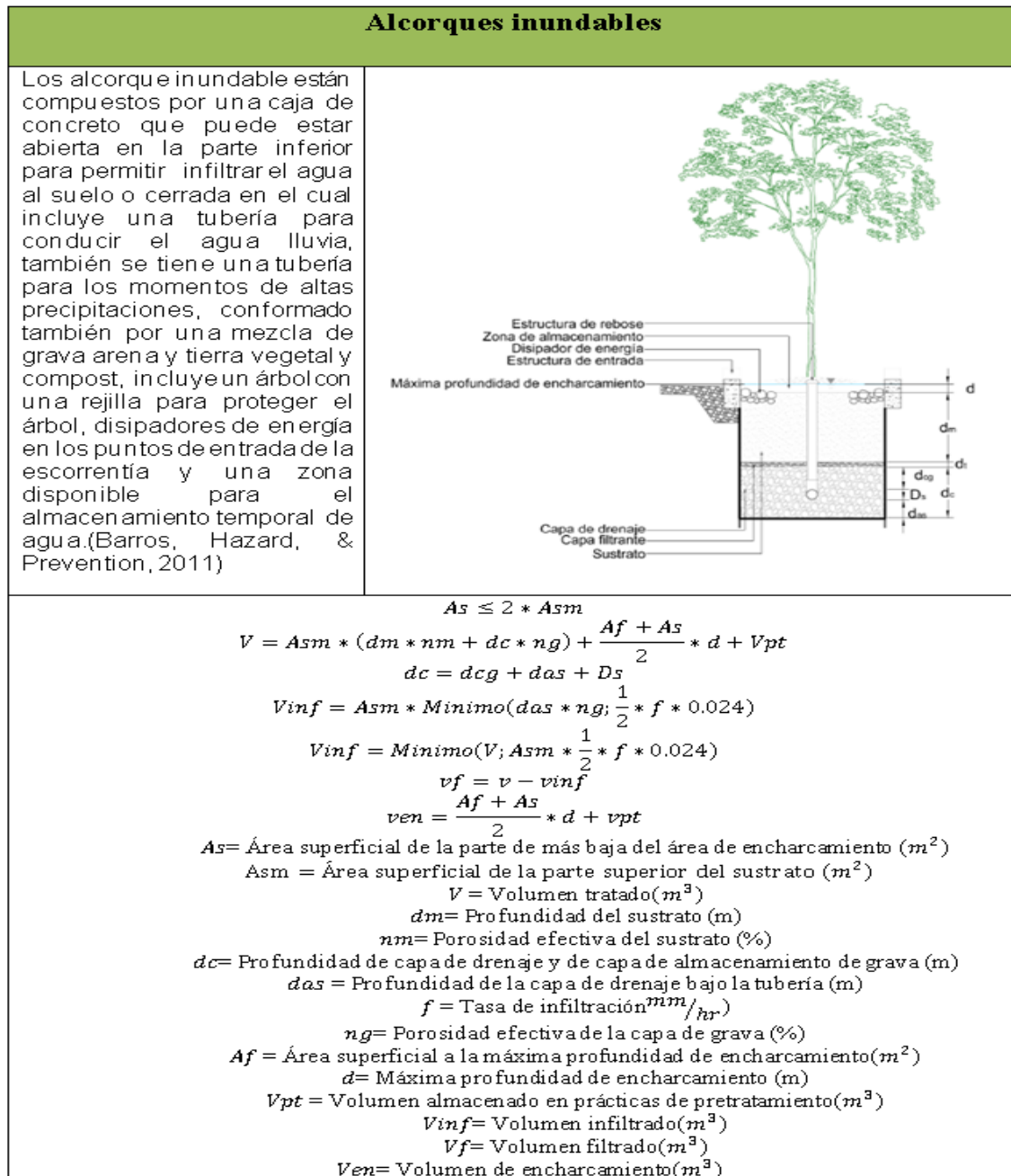


Figura 2. Alcorques inundables

Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.2. Cuenca seca de drenaje extendido

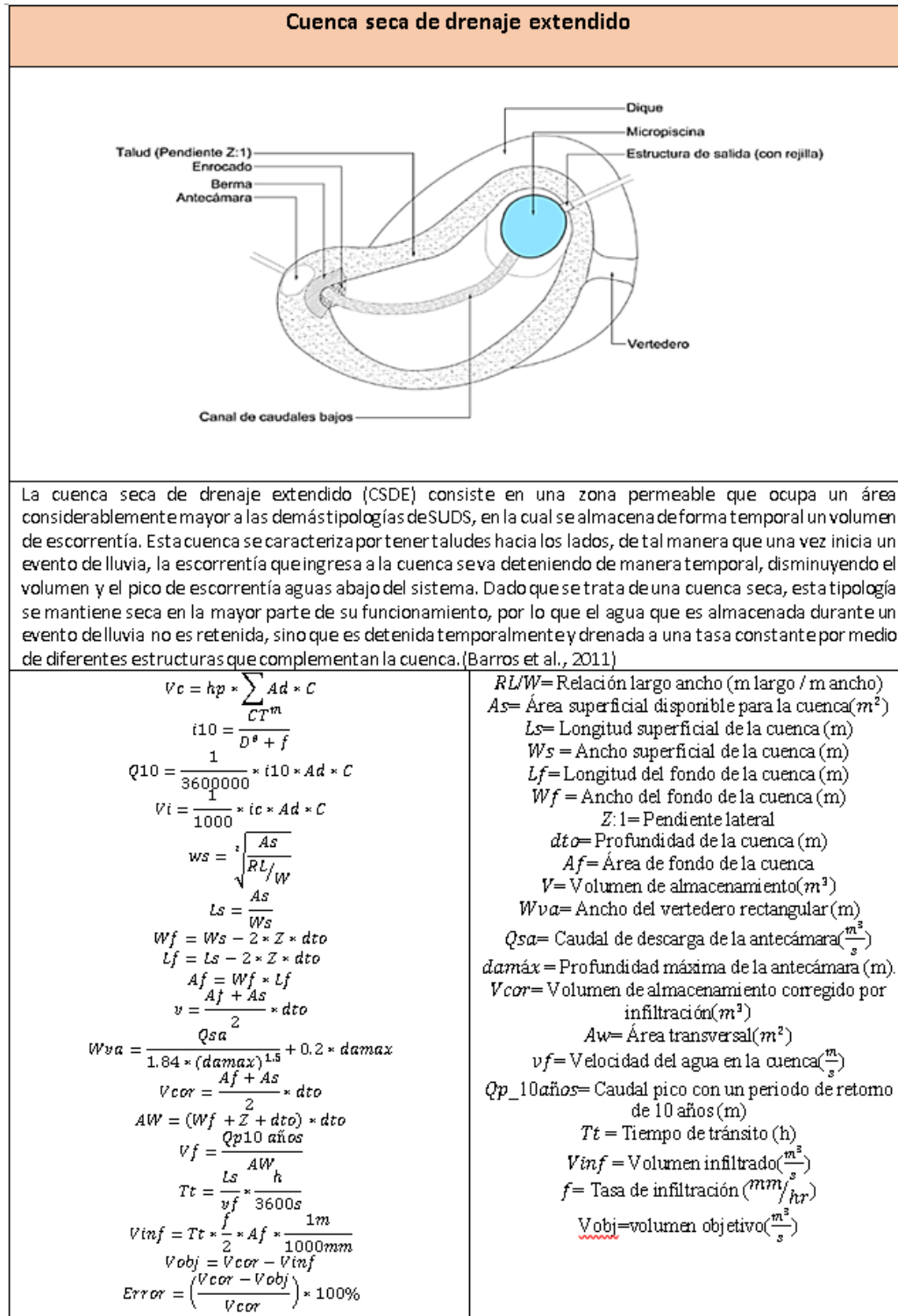


Figura 3. Cuenca seca de drenaje extendido
Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.3. Cunetas verdes.

Cunetas verdes	
Las cunetas verdes corresponden a una de las tipologías de SUDS más implementadas para transportar y dirigir el flujo de escorrentía. Consisten en depresiones del terreno con un rango de pendientes longitudinales que permiten la circulación del agua. Por ejemplo, en la Figura 70 se observa una cuneta verde funcionando durante un evento de precipitación. Usualmente, esta tipología se caracteriza por tener franjas de césped como estructura anexa a ambos lados; éstas direccionan la escorrentía superficial que fluye por los lados de la cuneta, de tal forma que el agua entre al sistema y sea transportado por la cuneta. (Barros et al., 2011)	
$i2 - 5,10 = \frac{CT^m}{D^{0.1f}}$ $Q2 - 5 = \frac{1}{3600000} * i2 - 5 * Ad * C$ $Q10 = \frac{1}{3600000} * i10 * Ad * C$ $Tr = \frac{L}{vf}$ $vf = \frac{Q2 - 5}{Aw}$ $Aw = (d * Wf) + (Z * d^2)$ $Wsd = Wf + (2 * d * Z)$ $F = \frac{v}{\sqrt{g * \left(\frac{AW}{Wsd}\right)}}$ $RH = \frac{Wf + 2d * \sqrt{1 + Z^2}}{dto}$ $dto = dL + d$ $Htsb \leq dtor$ $Htsb \geq d$ $Lbd = \frac{Htsb}{Sp - S}$ $Nbd = \frac{L}{Lbd}$ $Hd = (Sp - S) * L$	$Q2-5 = \text{Caudal de diseño } \frac{m^3}{s}$ $i = \text{Intensidad de lluvia } \left(\frac{mm}{hr}\right)$ $D = \text{Duración del evento de lluvia (min)}$ $Tr = \text{Periodo de retorno del evento de lluvia (año)}$ $c, m, e, f = \text{Coeficientes calibrados para la curva IDF}$ $Ad = \text{Área tributaria de la cuenca (m}^2\text{)}$ $C = \text{Coeficiente de escorrentía}$ $Trs = \text{Tiempo de residencia hidráulico (h)}$ $L = \text{Longitud de la cuneta (m)}$ $vf = \text{Velocidad de diseño } \left(\frac{m}{s}\right)$ $AW = \text{Área de flujo (m}^2\text{)}$ $Wf = \text{Ancho del fondo de la cuneta (m)}$ $Z = \text{Pendiente lateral del canal (Z:1)}$ $d = \text{Profundidad de flujo (m)}$ $Wsd = \text{Ancho de la cuneta a la altura del flujo (m)}$ $F = \text{Número de Froude}$ $RH = \text{Radio hidráulico (m)}$ $Q10 = \text{Caudal de verificación } \frac{m^3}{s}$ $dto = \text{Profundidad mínima de la cuneta (m)}$ $dL = \text{Borde libre recomendado (m)}$ $Htsb = \text{Altura total superficial de las barreras (m)}$ $dtor = \text{profundidad real de la cuneta (m)}$ $Lbd = \text{Distancia entre barreras (m)}$ $Hmaxb = \text{Altura máxima (m)}$ $Sp = \text{Pendiente disponible } \frac{m}{m}$ $S = \text{Pendiente de diseño } \frac{m}{m}$ $Nbd = \text{Número de barreras requeridas}$ $Hd = \text{Altura acumulada requerida (m)}$

Figura 4. Cunetas verdes

Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.4. Pavimentos permeables.

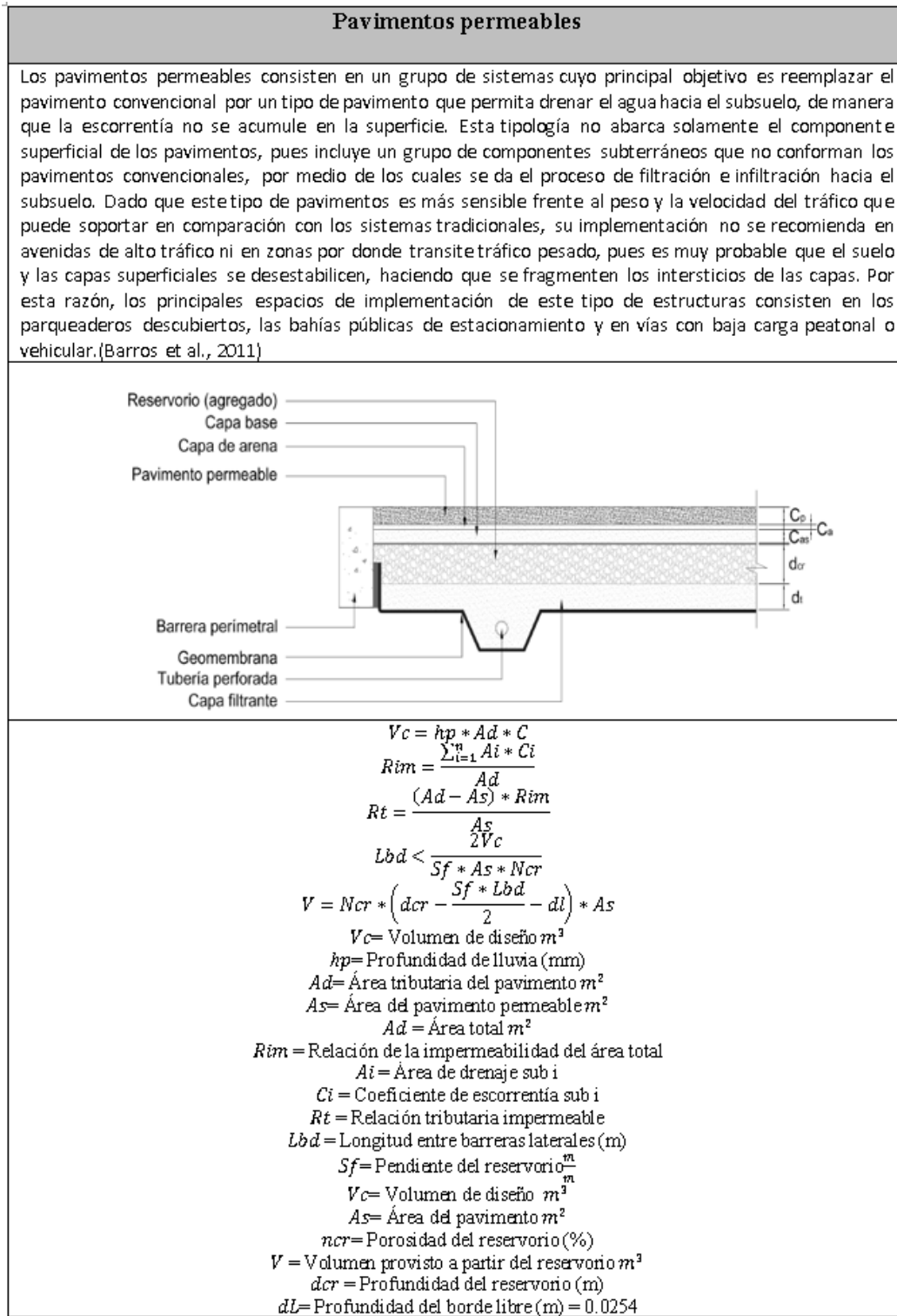


Figura 5. Pavimentos permeables

Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.5. Tanques de almacenamiento.

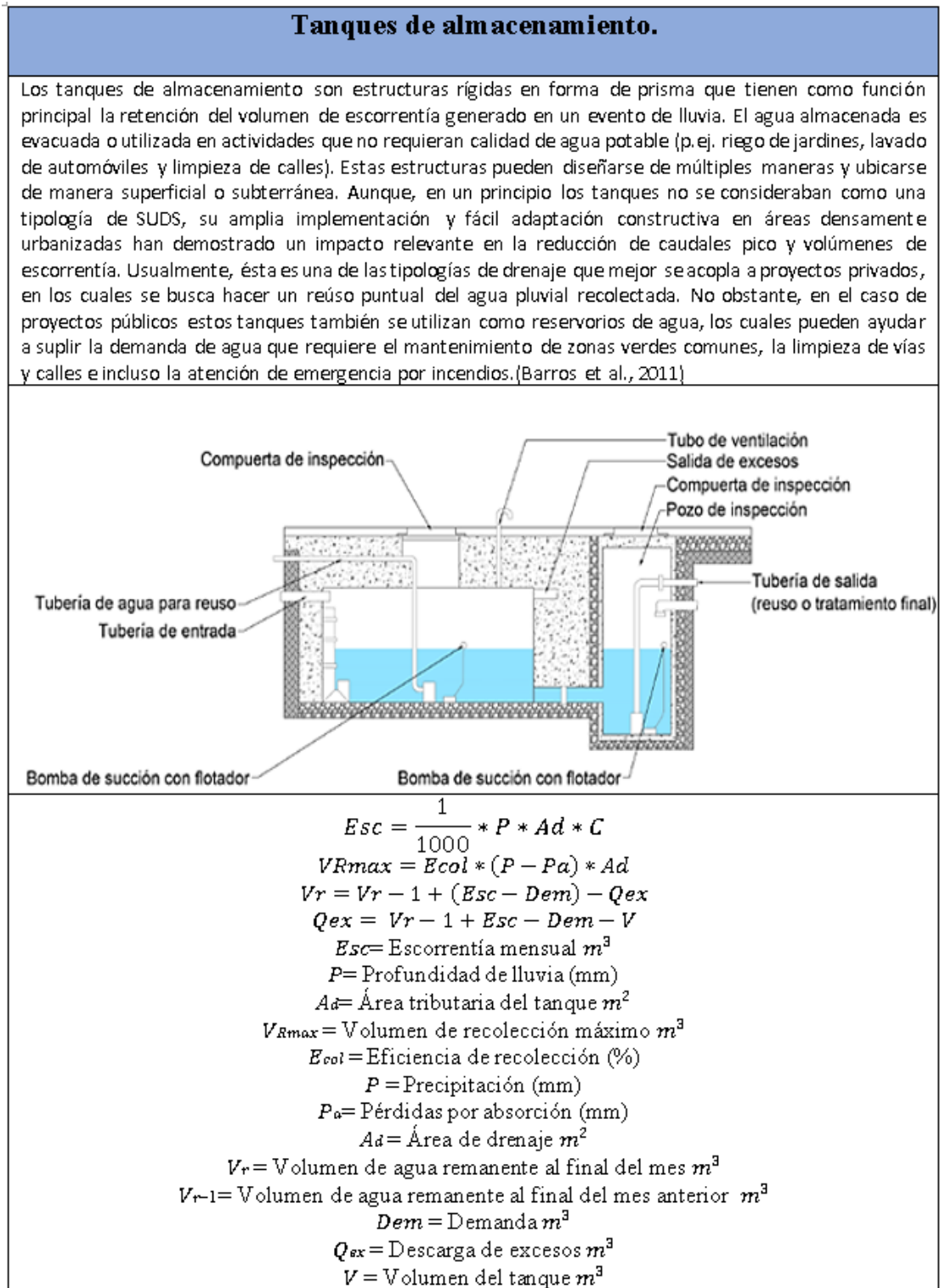


Figura 6. Tanques de almacenamiento
Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.6. Zanja de infiltración.

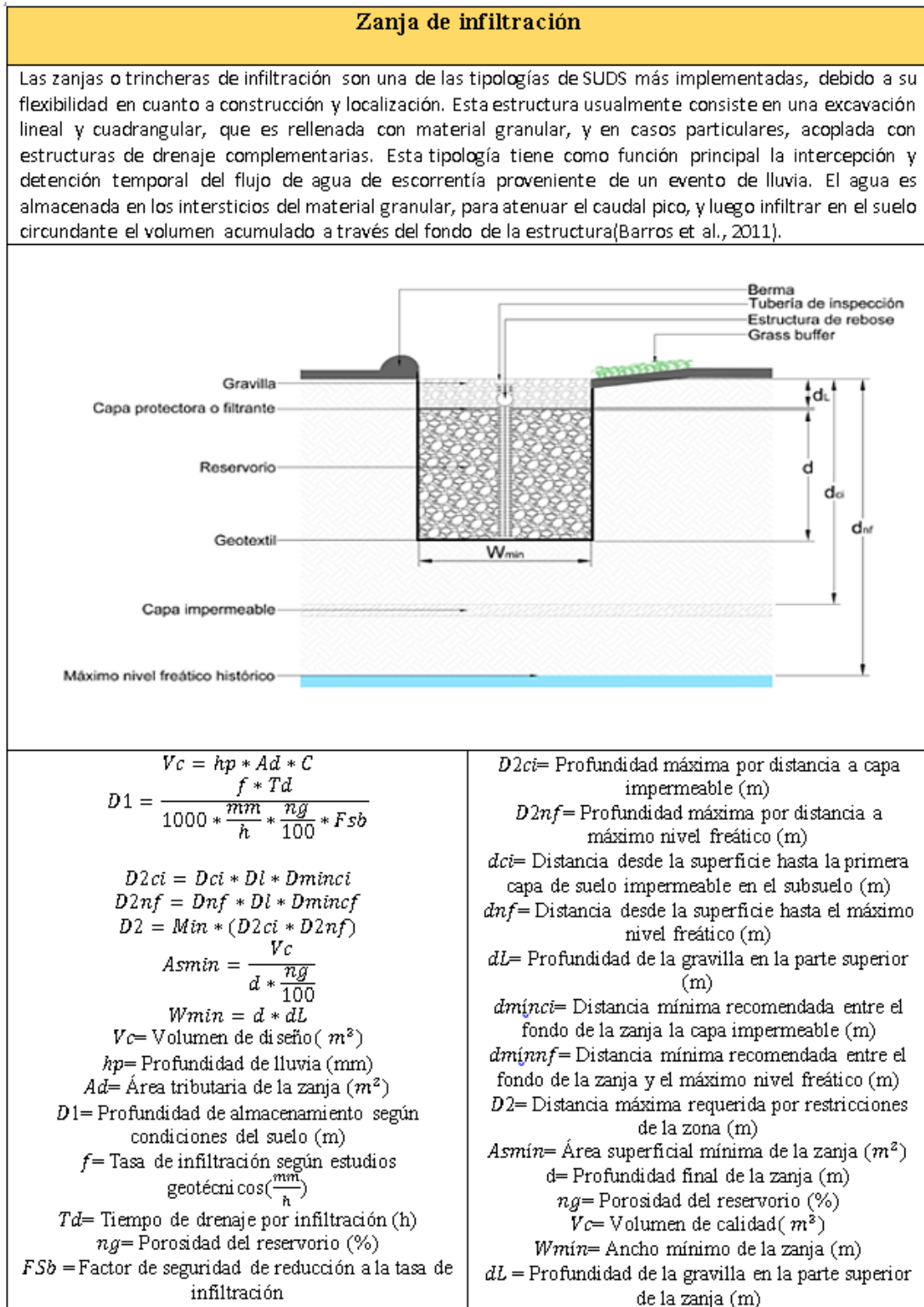


Figura 7. Zanja de infiltración

Fuente: Adaptado de Barros, Hazard, & Prevention, 2011.

2.2.7. Zonas de bio-retención.

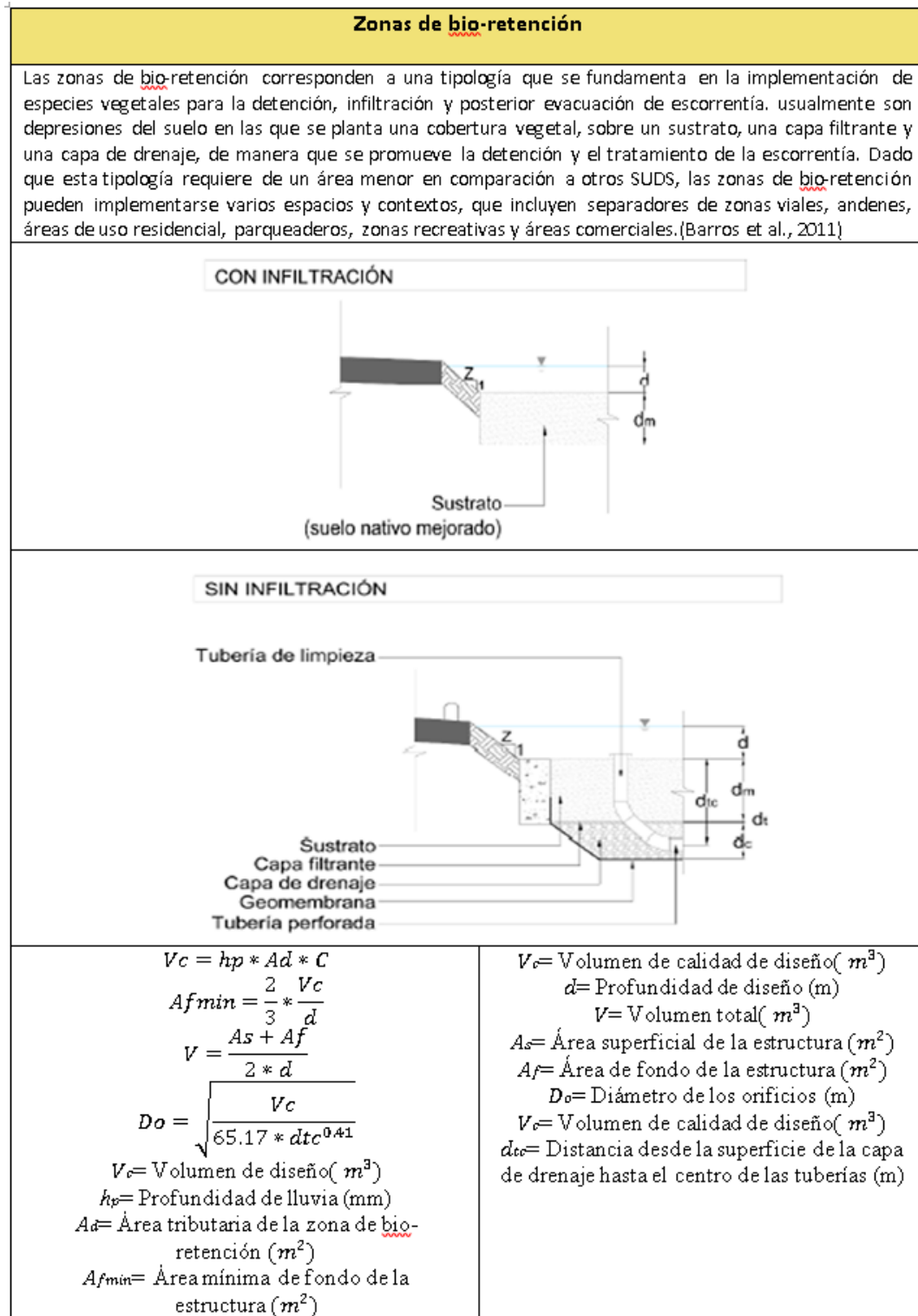


Figura 8. Zonas de bio-retención

Fuente: Adaptado de Barros, Hazard,& Prevention, 2011.

2.2.8. Techos verdes.

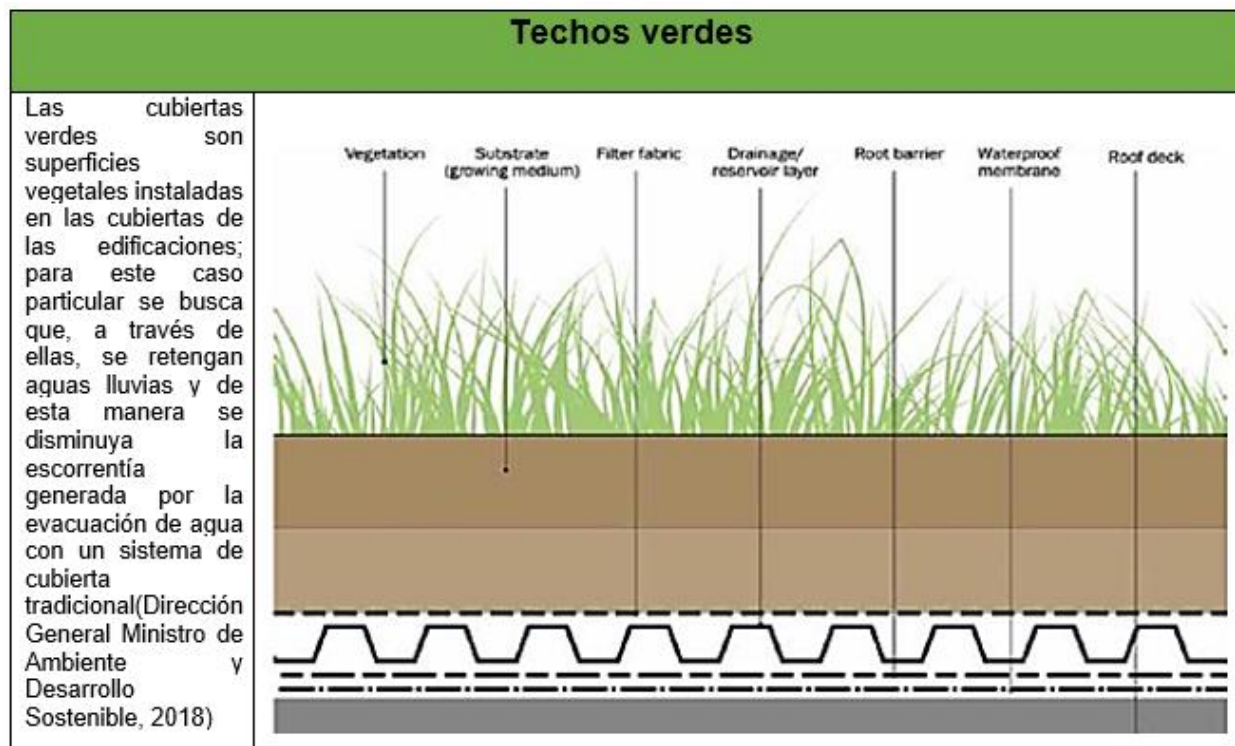


Figura 9. Techos verdes

Fuente: Adaptado de Dir, general ministro de ambiente y desarrollo sostenible, 2018.

Frente a la problemática que presentan las ciudades, se tienen que definir ciertos aspectos importantes en el cual las tecnologías de los SUDS brindaran beneficios tales como:

- Prevención de la contaminación del agua lluvia.
- Control de inundaciones.
- Recarga del agua subterránea.
- Mejoramiento del medio ambiente.
- Tratar la escorrentía cerca de donde cae la lluvia.
- Manejar la contaminación en su fuente de producción.

- Proteger los medios receptores de agua.
- Reduce los picos de escorrentía facilitando el manejo de la cantidad y calidad del agua lluvia, especialmente aguas abajo.
- Reducen el efecto de isla de calor en grandes ciudades.
- Reducen hasta 5 grados la temperatura interior de un edificio.
- Habilitan espacios urbanos no usados.
- Crea un espacio paisajístico agradable dentro del entorno urbano.
- Crean un ecosistema en la ciudad que permite la integración de especies autóctonas aumentando la biodiversidad en la ciudad.

2.3 Condiciones para tener en cuenta.

Para llevar a cabo este proyecto se debe tener en cuenta algunos parámetros que se describirán en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Criterios para la implementación de los SUDS*

Aspectos	Descripción	Requisito
Estación (Lote)	Pendiente Máxima	10%
	Área Mínima	Variable dependiendo de la Solución
	Dimensiones Mínimas	Variable dependiendo de la solución

Fuente: CIIA (2015)[10]

Tabla 1. (continuación)

Servicios Públicos	Servicios	Alcantarillado y energía según el caso.
Condiciones Geográficas	clima	Frio templado y cálido
Tipo De Sistemas	Urbanos/individuales	1. Alcorques inundables(urbano). 2. Cuneta verde(urbano). 3. Jardines de bioretencion(urbano). 4. Tanques(urbano). 5. Cubiertas verdes(individual).
Suelo	Perfil del suelo	Entre A y D
	Nivel de pluviosidad	500 mm3
	Zona de amenaza sísmica	intermedia
Ubicación	Tipo de zona	Urbana
	Zona de riesgo	baja o intermedia mitigable
	Uso del suelo	Uso permitido según el POT, PBOT O EOT.

Fuente: CIHA (2015)[10]

2.4 Conceptos para entender los SUDS.

El diseño del SUDS busca brindar un remedio a los volúmenes de agua de lluvia que llevan contaminantes que contienen las vías también las aguas lluvias tienen contaminantes generados por la combustión y la polución ambiental [11].

La necesidad de poner en marcha un sistema urbano de drenaje sostenible es provocada por el crecimiento poblacional de las ciudades, es el factor pionero al que se le adjudica el cambio del ciclo hidrológico, pero para esto se debe tener en cuenta los siguientes conceptos.

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 subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial.” [12].

El análisis hidrológico debe resolver 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. los parámetros del análisis hidrológico son importantes ya que existe una correlación entre la precipitación y la tasa de infiltración, porque mientras que la precipitación nos posibilita determinar la intensidad y la altura de caída de la lluvia sobre superficies, la tasa de infiltración nos permite determina la capacidad del suelo para absorber un líquido [12].

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:

- 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.

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 [12].

2.5 Normativa aplicable a SUDS

El marco legal es importante ya que nos ayuda a tener claridad con las leyes que el presente proyecto deberá tener en cuenta y las normas que tomara como base para la realización del diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

2.5.1 Nivel nacional. Al avanzar el tiempo y al aumento de la población las zonas verdes se van cambiando por estructuras como edificios, estadios, viviendas lo que dificulta el paso de las aguas lluvias por tal razón a nivel nacional las instituciones gubernamentales toman partido para mitigar riesgos. La constitución nacional en el capítulo 3 derechos colectivos y del ambiente en los artículos 79 y 80 nos habla sobre esto.

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.

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 [13].

2.5.2 Nivel Departamental. A nivel departamental nos habla sobre este tema el Plan de Gestión Ambiental Regional Para el Municipio de Bucaramanga la sostenibilidad ambiental es un punto fundamental en los Objetivos del Desarrollo del Milenio; por esta razón se debe promover el uso responsable de los bienes y servicios ambientales. Considera de gran importancia el manejo integral del agua, los parques lineales asociados al ecoturismo, la protección y preservación de microcuencas, los sistemas agroforestales, la educación y sensibilización para la conservación y el fortalecimiento del Sistema de Gestión Ambiental Municipal. Desde el modelo prospectivo se consolida para Bucaramanga un escenario viable de Ciudad Sostenible en cuatro dimensiones: Sostenibilidad Social y Económica, Sostenibilidad Ambiental, Cambio Climático y Ordenamiento Territorial, Sostenibilidad Urbana y Sostenibilidad Fiscal y Gobernanza. En este escenario Bucaramanga se constituye en una de las ciudades piloto para Colombia en la aplicación del modelo “Ciudades Emergentes y Sostenibles” orientado por el BID y apoyado en el país por FINDETER. Bajo esta premisa, partiendo de la condición natural y conocedores de la prioridad que implica generar acciones que contribuyan a reducir la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo; así

como mejorar la calidad de vida de los habitantes que integran el territorio, se plantea desarrollar acciones gubernamentales complementarias que le aporten a la sostenibilidad; entre ellas:

- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero que están afectando la estabilidad ecológica del planeta.
- Garantizar la disposición adecuada de residuos sólidos y líquidos urbanos.
- Mejorar el paisaje urbano considerando el proceso de ordenamiento y resaltando su atractivo.
- Promover una nueva cultura ambiental en los ciudadanos que involucre la educación y sensibilización para la conservación.
- Proteger el área rural que rodea la meseta, teniendo en cuenta que se constituye en despensa de bienes y servicios ambientales para suplir las necesidades de la población urbana (seguridad alimentaria y extensión rural; 54 así como la conservación de microcuencas – sistemas agroforestales – áreas protegidas).
- El manejo integral del agua.
- Parques lineales asociados al ecoturismo.
- Fortalecimiento del Sistema de Gestión Ambiental Municipal – SIGAM

El Departamento de Santander en su visión prospectiva de desarrollo económico sustentable, propuso alcanzar en el cuatrienio administrativo, un mayor equilibrio entre lo social y lo ambiental para lo cual la inversión económica deberá afianzar un desarrollo regional con ciudades amables, verdes y sustentables, que afronte el cambio climático, el calentamiento global, la crisis ambiental, la reducción de la pobreza y la desigualdad social. Esos postulados harán de Santander un Departamento reconocido en el contexto nacional, como un destino turístico. Para la consolidación de tal objetivo, las provincias fueron ampliadas a núcleos de desarrollo que integren y complementen la dinámica económica del área metropolitana de Bucaramanga con los demás

municipios, y con ello en el mediano plazo, conforme la anhelada ciudad región que innove la dinámica social de los santandereanos. Así mismo, se estableció como metas de interés regional la implementación de la cátedra de educación ambiental, el fortalecimiento de las veedurías ambientales, el fortalecimiento de los CLOPAD y la inversión económica en la red vial secundaria y terciaria de la región [14].

2.5.3 Resolución 0330, Ministerio de Vivienda.

ARTÍCULO 153. Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles

Para nuevos desarrollos Urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas en el aumento de los caudales de escorrentía. Se requieren diseñar sistemas urbanos de drenajes sostenible, con el objeto de reducir mínimo en un 25% el caudal pico del hidrograma de crecienta de diseño, a fin de evitar sobre cargas de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones, para ello, adicionalmente, se debe hacer un análisis de las condiciones de escorrentía antes y después del proyecto versus la capacidad de flujo de los cuerpos receptores ya sea el sistema de alcantarillado de drenaje o cuerpos naturales [15].

2.5.4 Normativa Ambiental

- Decreto 1090 de 2018, art. 1.

Reglamenta la Ley 373 de 1997 relacionada con el uso eficiente y ahorro del agua y lo describe como toda acción que minimice reduzca u optimice el consumo de agua a utilizar en un proyecto obra o actividad con ayuda de la implementación del reúso del agua, utilización del agua lluvia o cualquier práctica que implique la sostenibilidad del agua [16].

- Resolución 631 de 2015.

Esta resolución constituye los valores máximos permisibles que se deben cumplir para realizar vertimientos a los cuerpos de agua superficiales y a los alcantarillados públicos [17].



Figura 10. Marco Normativo SUDS
Fuente: Autores

3. Método

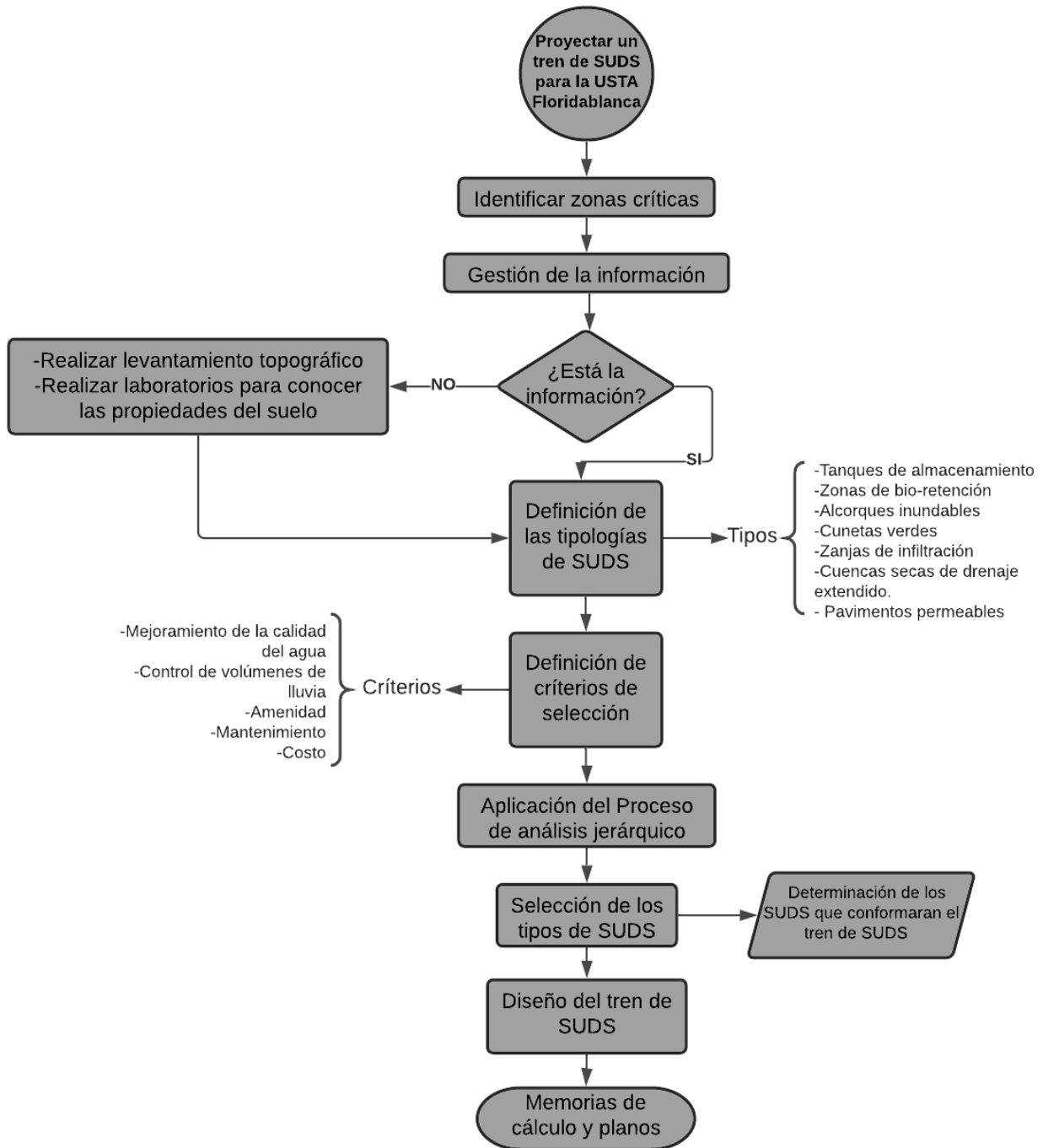


Figura 11. Gráfico de la metodología a emplear

Fuente: Autores

En este capítulo se describe y presenta la metodología que se implementó para llevar a cabo el diseño del tren de SUDS para la Universidad Santo Tomas Campus Floridablanca. Con relación a la identificación de la zonas mayormente afectadas y evaluación con criterios de uso, sostenibilidad y costos para su diseño.

3.1. Identificación de las zonas críticas.

Para la identificación de las zonas críticas del campus de la USTA a las que se le implementara los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, se debe tener toda la información necesaria como registro de imágenes, datos hidrológicos, curvas de nivel, localización, cotas; para los establecer los lugares en los que se ubicaran.

3.1.1 Gestión de la Información. Se realizó la recopilación, clasificación, análisis e interpretación de la información y literatura disponible en las siguientes entidades:

- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales): Se obtuvo la información hidrometeorológica de las estaciones La Granja y La Floresta. Con esto se encontró el volumen de precipitación promedio.
- USTA: Se adquirieron los planos arquitectónicos para la ubicación espacial del Campus Floridablanca.

3.1.2 Levantamiento Topográfico. Se realizó el levantamiento topográfico donde se usó curvas de nivel de un plano de levantamiento del municipio de Floridablanca y con el Software

Civil3D se completó generaron las curvas de nivel a partir de una nube de puntos extraída de Google Earth.

3.1.3. Registro Fotográfico. Se tomó evidencia fotográfica de los lugares afectados por los episodios de altas precipitaciones en el Campus universitario.

3.1.4 Selección tipos de SUDS: La metodología para la selección de tipos de SUDS usó cinco criterios:

1. Mejoramiento de la calidad del agua
2. Control de volúmenes de agua lluvia
3. Amenidad
4. Mantenimiento
5. Costos

Se definieron las tipologías que más se acomodaron con los requerimientos de las zonas afectadas y los intereses. A su vez, se establecieron consejos para la realización del trenes de SUDS en concordancia con la cantidad de tipologías del tren y los procesos más convenientes en la zona crítica como: transporte, almacenamiento, infiltración y aprovechamiento de escorrentía para riego o para otras actividades [18].

3.2. Definición de las Tipologías de SUDS.

En la primera etapa de la metodología se definió los diferentes tipos de SUDS descritos en la Guía Técnica de Diseño y Construcción de SUDS, esto permitió saber los aspectos más relevantes

a considerar en el diseño de cada tipología. A continuación, se explica brevemente la función de cada tipo de SUDS [19].

Tabla 2. *Tipos de sistemas urbanos de drenaje sostenible.*

Tanques de almacenamiento	Son estructuras rígidas las cuales tienen la ocupación de retener los volúmenes de agua de escorrentía que son generados por las lluvias[18].
Zonas de bio-retención	Se fundamenta en la implementación de especies vegetales para la detención, infiltración y posterior evacuación de escorrentía[18].
Alcorques inundables	Son estructuras parecidas a los árboles que vemos en un andén, pero con un adicional que lo hace mejorar y dar un manejo a la escorrentía[18].
Cunetas verdes	Estas son realizadas para mover y llevar de un lugar a otro el flujo de escorrentía[18].
Zanjas de infiltración	Consiste en una perforación línea y cuadrangular del suelo, la cual se introduce material granular, y en algunos casos se utilizan estructuras de drenaje complementarias[18].
Cuenca seca de drenaje extendido	La cuenca seca de drenaje extendido (CSDE) retiene de manera temporal cierta cantidad de escorrentía[18].
Pavimentos permeables	Pavimento el cual ayuda a infiltrar el agua hacia el subsuelo, de tal manera que esta no se empoce en la parte superficial del suelo[18].

Fuente: Autores [18]

3.2.1. Definición de criterios de selección.

Se analizó las diferentes pautas para dar una puntuación que ayudara a determinar las más adecuadas tipologías tomando como referencia opiniones de diferentes actores involucrados y las necesidades de la zona críticas. De esta manera, se establecieron los siguientes cinco aspectos para la puntuación de tipologías de SUDS, mejoramiento de la calidad del agua, control de volúmenes de agua lluvia, amenidad y conflictos de uso, mantenimiento y costos de implementación.[18]

- *Mejoramiento de la calidad de agua*

Se realiza el mejoramiento del agua como se muestra en la siguientes tablas mediante dispositivos tales como la filtración, adsorción, sedimentación, transformación biológica y degradación, actuando como eliminador de contaminantes como: Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), Metales, Patógenos, Aceites y grasas, Basura y Escombros[18].

Tabla 3. *Calificación tipologías según eficiencia de remoción de contaminantes*

Contaminante	Nutrientes	Metales	Patógenos	Sedimentos	Aceites y grasas	Basura y escombros
Tipología						
Cunetas verdes	M	B	B	M	M	M
Tanques de almacenamiento	Diseñados específicamente para reducción del volumen de escorrentía y retención, no para remoción de contaminantes.					
Zonas de bio-retención	M	B	M	M	A	A
Alcorques inundables	M	B	M	M	A	A
Cuenca seca de drenaje	B	M	A	M	M	A
Zanjas de infiltración	M	A	A	A	M	A
Pavimentos permeables	B	M	M	A	A	M

A: Alta: 3 M: Media: 2 B: Baja: 1

Fuente: CIIA [10]

Tabla 4. *Procesos de filtración y sorción*

Tipología	Criterio de volumen	Filtración y sorción
Cunetas verdes		B
Tanques de almacenamiento		N
Zonas de bio-retención		A
Alcorques inundables		M
Cuenca seca de drenaje		B
Zanjas de infiltración		A
Pavimentos permeables		M

A: Alta: 3 M: Media: 2 B: Baja: 1

Fuente: CIIA [10]

- Control de volúmenes de agua lluvia

Se identificó las categorías más elevados de decrecimiento de volúmenes de escorrentía y perdida del pico de descarga de cada tipología de SUDS, clasificándolos como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 5. *Calificación tipologías según eficiencia de reducción de escorrentía*

Tipología	Criterio de volumen	Reducción volumen	Reducción descarga máxima
Cunetas verdes		B	B
Tanques de almacenamiento		M	M
Zonas de bio-retención		M	B
Alcorques inundables		B	B
Cuenca seca de drenaje		B	M
Zanjas de infiltración		A	A
Pavimentos permeables		A	M

A: Alta: 3 M: Media: 2 B: Baja: 1

Fuente: CIIA [10]

- **Amenidad**

Se tuvo en cuenta la percepción de las personas con el lugar que habitan, teniendo en cuenta los elementos relacionados con paisaje, seguridad, recreación, etc. Con el fin de implementar un tipo de SUDS que contribuya a la generación de amenidad. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6. *Calificación tipologías según contribución a la amenidad*

Tipología	Cunetas verdes	Tanques de almacenamiento	Zonas de hincio	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Zanjas de infiltración	Pavimentos impermeables
Amenidad	M	N	A	M	A	N	N

A: Alta: 3 M: Media: 2 N: Nula: 0

Fuente: CIHA [10]

- **Mantenimiento**

Se consideró el mantenimiento para garantizar el funcionamiento de los SUDS, comparándolos según su tipo y complejidad, así como se muestra en la Tabla 7 se muestra una relación con las entre las tipologías con relación a la frecuencia y actividad (mensual, semestral y anual) con la que se deben realizar. Se analiza el peligro de llenado y colmatación del medio filtrante o el reservorio y las capas superiores, porque esto interviene totalmente en la necesidad de llevar a cabo algunas acciones de mantenimiento correctivo.

Tabla 7. Calificación tipologías según frecuencia de mantenimiento.

Tipología	Cunetas verdes			Tanques de almacenamiento			Zonas de bio-retención			Alcorques inundables			Cuenca seca de drenaje			Zanjas de infiltración			Pavimentos permeables		
Frecuencia Tipo	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A	M	S	A
Regular	5	3	0	3	0	0	4	2	0	4	3	0	5	2	0	4	3	0	3	0	0
Ocasional	0	4	2	0	3	1	0	5	5	0	3	4	0	4	0	0	2	1	1	0	1
Correctivo	0	2	8	0	1	5	0	1	8	0	1	8	0	1	6	0	0	8	0	2	6
Riesgo de colmatación	BAJO			BAJO			MEDIO			MEDIO			BAJO			ALTO			ALTO		
Total (Requerimientos)	BAJO			BAJO			ALTO			MEDIO			MEDIO			ALTO			ALTO		

M: Mensual S: Semestral A: Anual

Fuente: CIHA [10]

- Costo

Se realizó un comparativo de los diferentes tipos de SUDS como se muestra en la tabla 8 donde se evalúan su costo de construcción y mantenimiento, los cuales varían según las condiciones de la zona crítica, área, topografía, costos de material y obras que se requieran para el buen funcionamiento del sistema.

Tabla 8 . Clasificación de costos SUDS

Tipologías	Cunetas verdes	Tanques de almacenamiento	Zonas de bio-	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Zanjas de infiltración	Pavimentos permeables
Costos							
Costos de capital	B	M	M	M	M	M	A
Costos de mantenimiento	B	M	M	M	M	M	M

A: Alto: 1 M: Medio: 2 B: Bajo: 3

Fuente: CIHA [10]

3.2.2. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Se utilizó porque es una técnica estructurada para organizar y analizar las decisiones complejas basado en cálculos matemáticos y el conocimiento de expertos [20]. AHP fue desarrollado por Thomas Saaty en la década de 1970 [21] y desde entonces se ha aplicado ampliamente en diversas disciplinas. El principio esencial de AHP es representar los elementos de cualquier problema de forma jerárquica para organizar las relaciones entre cada nivel [22].

1. *Estructuración del problema como una jerarquía:* Se representó como una estructura de árbol invertido, donde todos los elementos están relacionados entre sí, al menos de manera indirecta. La figura 1 muestra una estructura jerárquica genérica. En la raíz está la meta u objeto del problema estudiado y analizado, y en los nodos foliares son las alternativas a comparar. Entre estos dos niveles hay varios criterios y sub-criterios.

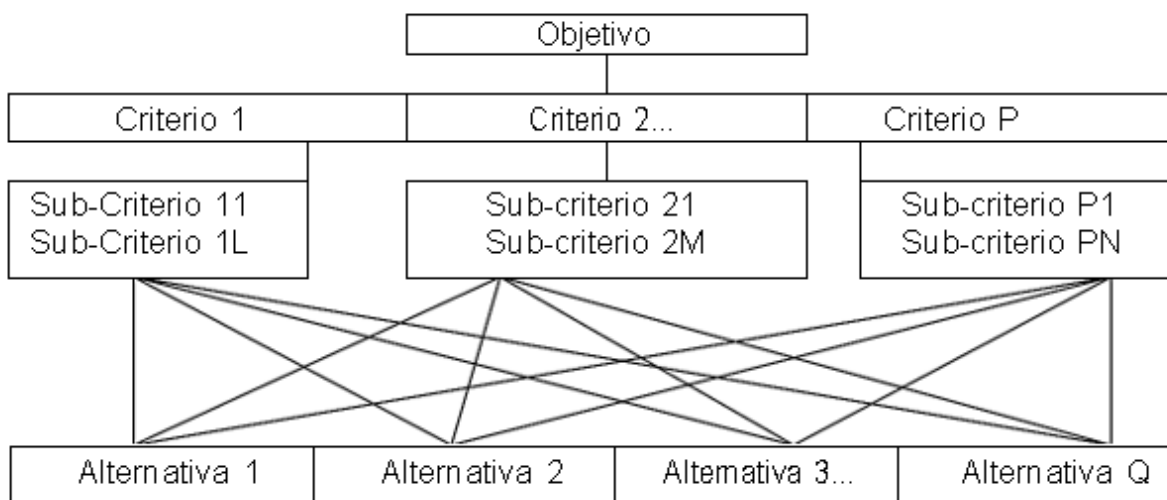


Figura 12. Estructura jerárquica genérica AHP
Fuente: [23]

2. *Obtención de juicios comparativos entre parejas:* las comparaciones se hacen para cada criterio y se convierten en números cuantitativos según la Tabla 9.

Tabla 9. *Escala para comparaciones pareadas*

Opción	Valor numérico
Igual importancia	1
Importancia moderada	3
Fuerte o esencial	5
Muy fuerte o demostrable	7
Extrema importancia	9
Valores intermedios o de compromiso	2, 4, 6, 8

Fuente: [21]

3. Se obtuvo el vector de pesos de los criterios que mejor se ajuste a los juicios de la matriz de comparación por pares.

4. *Evalúo la consistencia de la matriz de orden n*: Las comparaciones realizadas por este método son subjetivas y la AHP tolera inconsistencia a través de la cantidad de redundancia en el enfoque. Si este índice de consistencia no alcanza un nivel requerido, las respuestas a comparaciones pueden ser reexaminadas. El índice de consistencia, CI, se calcula como:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Figura 13. El índice de consistencia, CI

Fuente: [9]

Donde λ_{max} es el promedio de la matriz de comparación y n es el número de indicadores. La relación de consistencia (RC) se calcula para estimar la consistencia de comparaciones por pares:

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

Figura 14. La relación de consistencia (RC)

Fuente: [9]

Donde la determinación de RI (índice de consistencia aleatorio) se basa en la Tabla 10 [9].

Tabla 10. Valores del índice de consistencia aleatorio

<i>N Alternativas</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>RI</i>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Fuente: [9]

Nota: Saaty sugiere que el valor de CR debe ser menor que 0.1

5. Se estableció las prioridades globales o compuestas. El AHP produce valores de peso para cada alternativa basándose en la importancia juzgada de una alternativa sobre otra con respecto a un criterio común.
6. Realizo el análisis de sensibilidad y elegir la alternativa con la puntuación más alta

3.3.Diseño del Tren de SUDS

En esta etapa del proyecto después de haber establecido los tipos de SUDS a usar para conformar el tren de SUDS, se procedió a hacer el diseño de cada uno de ellos de acuerdo con la información obtenida.

3.3.1 Los alcorques inundables: Se diseñan partiendo del volumen de calidad de agua V_c , el cual es obtenido según la Tabla 11. primeramente, se va a calcular la profundidad de lluvia de la

zona de intervención y el área de drenaje de la tipología. La profundidad de lluvia (h_p) es lo obtenido de un análisis hidrológico de múltiples series de precipitación. [18].

Tabla 11. *Variables hidrológicas requeridas para el diseño de alcorques inundables*

Variable	Definición
Área tributaria (A_d)	Área que aporta escorrentía a los alcorques Inundables
Coeficiente de escorrentía (C)	Coeficiente (de 0 a 1) que representa la permeabilidad de la superficie
Profundidad de lluvia (h_p)	Profundidad de precipitación de diseño específica para el sitio de implementación

Fuente: CIHA (2015)[10]

Seguido, se debe fijar el área de drenaje del alcorque inundable. Esta deberá ser delimitada según aspectos topográficos y elementos del sistema de drenaje superficial como sumideros, cunetas, redes de alcantarillado y demás componentes que determinen el flujo del agua. Después, el coeficiente de escorrentía estará dado según el tipo de cobertura dado por el área de drenaje. De esta forma, se diferenciarán superficies (p. ej. vías, zonas verdes, techos, andenes y parques) que tienen distintas restricciones de permeabilidad, dado el propósito de establecer la escorrentía real que es producida. Así determinar los coeficientes de escorrentía, se invita a tener en cuenta la Norma NS-085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, esta propone unos coeficientes según el tipo de cobertura. Por último, el volumen de calidad se define mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = h_p * A_d * C.$$

Figura 15. Volumen de calidad de agua V_c

Fuente: Norma NS-085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo

Donde V_c = Volumen de calidad (m^3), hp = Profundidad de lluvia (mm) y Ad = Área tributaria del alcorque inundable (m^2).[18].

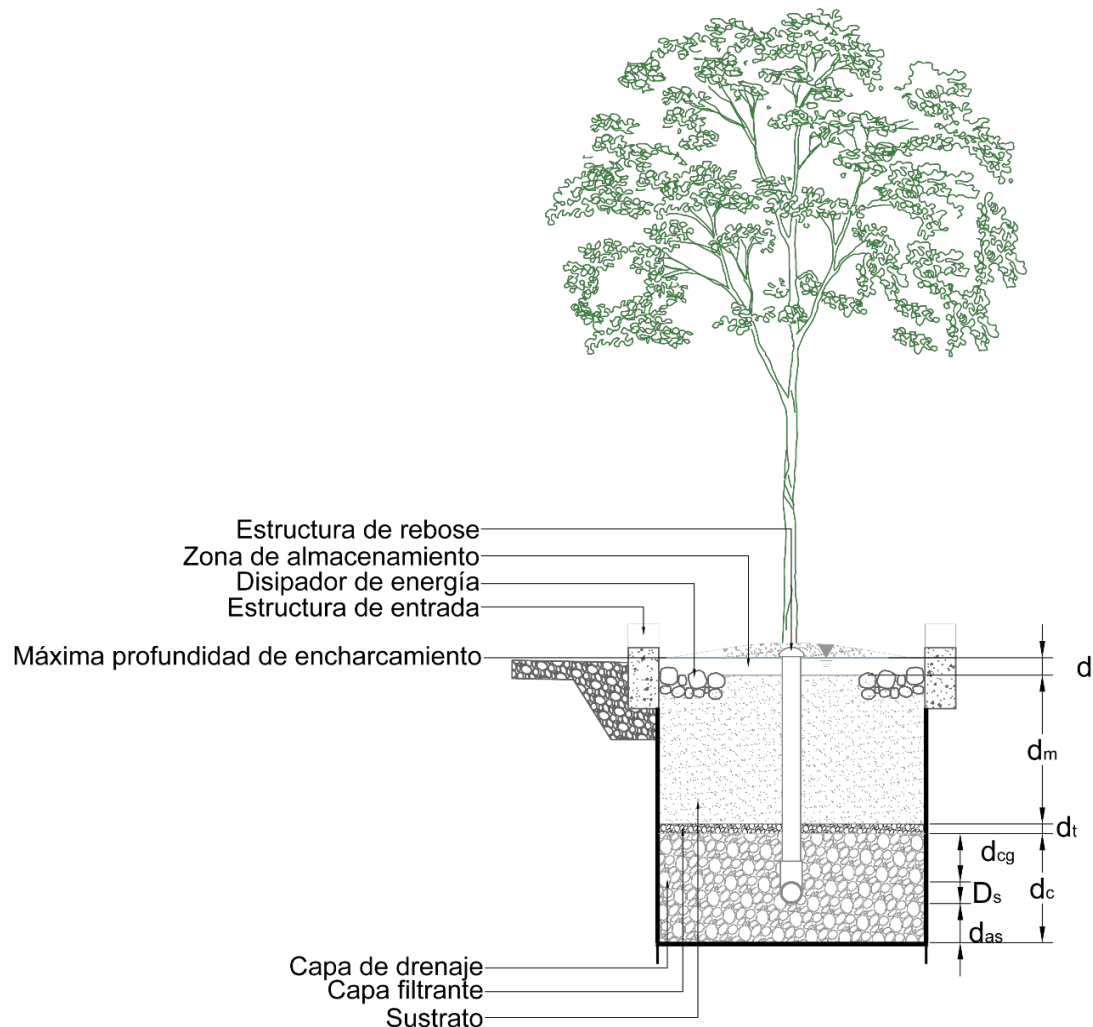


Figura 16. Estructura alcorques inundables
Fuente: CIIA (2015)[10]

3.3.2 Zanjas de infiltración: Las zanjas de infiltración comprenden una de las tipologías de SUDS más dadas a diseñarse para interferir y detener momentáneamente el flujo de escorrentía. Las cuales constan de depresiones del terreno rellenas de material granular en el cual se almacena el agua para menguar el caudal pico, luego el agua que está detenida va pasando al suelo por medio de la infiltración. un ejemplo, en la Figura 17 se puede visualizar una zanja de infiltración durante

un evento de precipitación. esta tipología es distinguida por recubrir con geotextil los laterales de la excavación, y así poder asegurar la verticalidad de la escorrentía y disminuir la inestabilidad del suelo adyacente. En ocasiones la parte inferior de la zanja se cubre con geotextil, porque la calidad de la escorrentía interferida perjudica notoriamente los acuíferos localizados en el sitio que se intervino o también por que el suelo no cuenta con una buena tasa de infiltración haciendo necesario que se agreguen tuberías para desocupar el agua de escorrentía que se pueda almacenar y su tipo de estructura de drenaje le dan un rumbo a la escorrentía superficial la cual va desplazarse por los lados de la cuneta, de tal manera que se introduzca al sistema y sea desplazado a lo largo de toda la cuneta. Esta tipología tiende a necesitarse un área longitudinal grande para que se pueda transportar, así como se puede ver cómo se puede ver en la siguiente figura [18]



Figura 17. Zanja de infiltración.
Fuente: Drenes filtrantes o franceses, SuDS sostenible

Las zanjás de infiltración se realizaron por medio de volumen de calidad de agua. Lo primero que se llevó a cabo fue el cálculo de la profundidad de lluvia en el lugar que se requirió intervenir también se calculó para esto se necesitó los datos de esta forma, para el cálculo de la profundidad de lluvia es necesario saber las siguientes variables resumidas en la Tabla 12.

Tabla 12. Variables hidrológicas requeridas para el diseño de zanjas de infiltración.

Variable	Definición
Área tributaria (A_d)	Área que aporta escorrentía a la cuneta verde
Coeficiente de escorrentía (C)	Coeficiente (de 0 a 1) que representa la permeabilidad de la superficie
Variable	Definición
Profundidad de lluvia (hp)	Profundidad de precipitación de diseño específica para el sitio de implementación.

Fuente: CIHA (2015)[10]

En consiguiente se delimito el área de drenaje que va a utilizar la zanja de infiltración para ello se tuvo en cuenta lo que fue cunetas redes de saneamiento básico que pudieran conducir el flujo de agua. Se necesitó el coeficiente de escorrentía, Para los coeficientes de escorrentía se aconsejó la norma NS-085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, la cual establece los coeficientes según los tipos de coberturas. Se finalizó definiendo el volumen de calidad de agua por la siguiente Ecuación

$$V_c = h_p * A_d * C$$

Figura 18. Volumen de diseño.

Fuente: CIHA (2015)[10]

Donde V_c = Volumen de diseño (m^3), h_p = Profundidad de lluvia (mm) y A_d = Área tributaria de la zanja (m^2).[18]

Después, se encuadro la profundidad máxima de almacenamiento (d_{max}) siendo el mínimo valor de las dos distancias calculadas ($D1$ y $D2$), pero el valor no excedió los 2.4 m de profundidad. Las distancias se conectan ya que tienen limitaciones de la estructura y de su ubicación: ($D1$), se enlazo con la tasa de infiltración máxima que tuvo diferentes condiciones de permeabilidad, con la finalidad de establecer la escorrentía real producida por el área [18].

$$D_1 = \frac{f * T_d}{1000 \left[\frac{mm}{h} \right] * \frac{n_g}{100} * FS_b}$$

Figura 19. Profundidad de almacenamiento.
Fuente: CIIA (2015)[10]

Donde D_1 = Profundidad de almacenamiento según condiciones del suelo (m), f = Tasa de infiltración según estudios geotécnicos (mm/h), T_d = Tiempo de drenaje por infiltración (h), n_g = Porosidad del reservorio (%) y FS_b = Factor de seguridad de reducción a la tasa de infiltración[18].

D_2 fue la mínima distancia contando con las restricciones de profundidad mínima entre el fondo de la zanja y la capa impermeable (el valor que se recomendó fue mínimo de 1.5 m más el borde libre menor profundidad desde el fondo de la zanja hasta el máximo nivel freático el valor que se recomendó fue mínimo de 3 m más el borde libre)

$$D_{2ci} = d_{ci} - d_L - d_{mín_{ci}}$$

$$D_{2nf} = d_{nf} - d_L - d_{mín_{nf}}$$

$$D_2 = \text{mín}(D_{2ci}, D_{2nf})$$

Figura 20. profundidades.

Fuente: CIIA (2015)[10]

Donde D_{2ci} = Profundidad máxima por distancia a capa impermeable (m), D_{2nf} = Profundidad máxima por distancia a máximo nivel freático (m), d_{ci} = Distancia desde la superficie hasta la primera capa de suelo impermeable en el subsuelo (m), d_{nf} = Distancia desde la superficie hasta el máximo nivel freático (m), d_L = Profundidad de la gravilla en la

parte superior (m), dm_{inci} = Distancia mínima recomendada entre el fondo de la zanja la capa impermeable (m), dm_{innf} = Distancia mínima recomendada entre el fondo de la zanja y el máximo nivel freático (m) y $D2$ = Distancia máxima requerida por restricciones de la zona (m)[18].

Seguidamente, se calculó la profundidad máxima del reservorio siendo el menor valor entre $D1$ y $D2$. La profundidad de gravilla en la parte superior de la zanja (dL) tendrá como profundidad mínima un valor determinado de 30 cm. Esto se empleó para la colocación de tubería perforada de desbordamiento (10 a 15 cm) la cual permitía el flujo de volúmenes mayores al de diseño o volúmenes no tratados por si se llega a presentar rebose en la tubería de drenaje convencional[18].

$$A_{smín} = \frac{V_c}{d * \frac{n_g}{100}}$$

Figura 21. Área superficial mínima de la zanja
Fuente: CIHA (2015)[10]

Donde $Asmín$ = Área superficial mínima de la zanja (m^2), d = Profundidad final de la zanja (m), ng = Porosidad del reservorio (%) y Vc = Volumen de calidad (m^3)[18].

Por último, el ancho de la zanja debió ser mayor o igual a la profundidad de la zanja encajando la parte superior en la cual van las tuberías de desbordamiento, esto como finalidad de mejora para la distribución de la escorrentía en la estructura ubicada debajo de la parte superior,

$$W_{mín} = d + d_L$$

Figura 22. Ancho mínimo de la zanja.

Fuente: CIHA (2015)[10]

Donde $W_{\min}$ = Ancho mínimo de la zanja (m), d = Profundidad final de la zanja (m) y d_L = Profundidad de la gravilla en la parte superior de la zanja (m)[18].

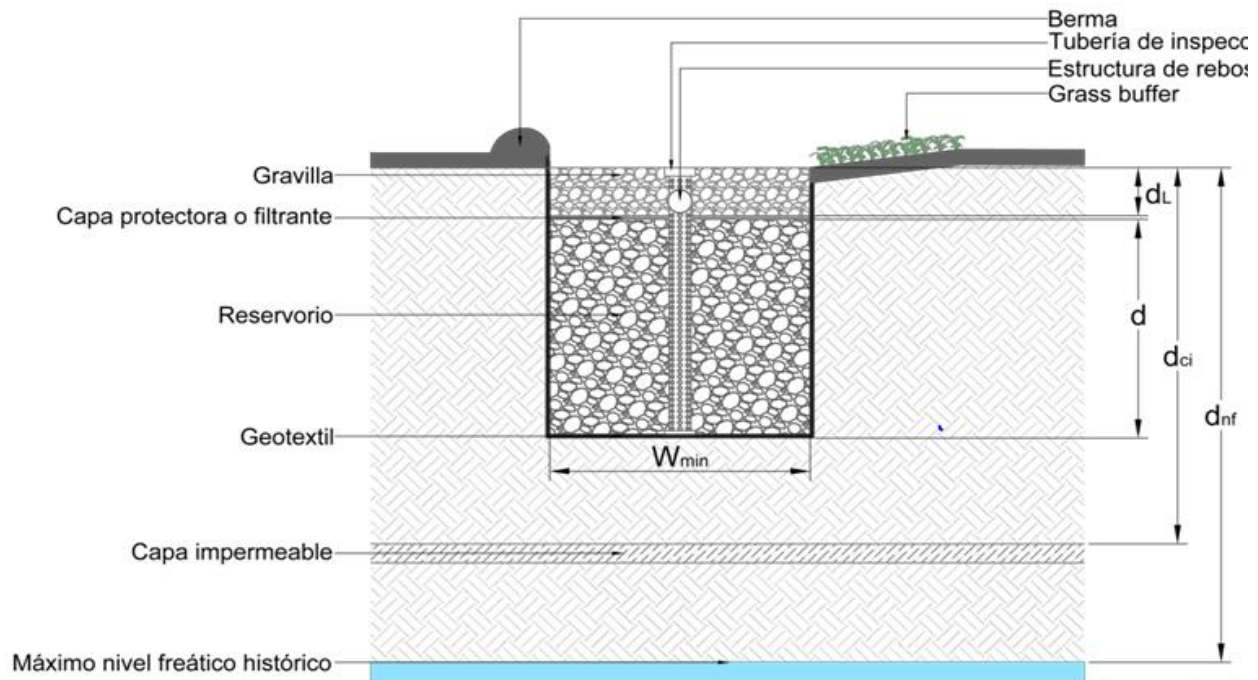


Figura 23. Planta esquemática de una cuneta verde
Fuente: CIIA (2015) [10]

3.3.3 Los pavimentos permeables: Se diseñan según el volumen de calidad de agua (V_c) el cual puede ser adquirido según las variables en la tabla siguiente. Luego se calcula la profundidad de lluvia de la zona crítica y el área de drenaje de la tipología. La profundidad de lluvia (h_p) es el resultado de un análisis hidrológico de múltiples series de precipitación [18].

Tabla 13. Variables hidrológicas requeridas para el diseño de pavimentos permeables

Variable	Definición
Área tributaria (A_d)	Área que aporta escorrentía a los pavimentos Permeables
Coeficiente de escorrentía (C)	Coeficiente (de 0 a 1) que representa la permeabilidad de la superficie
Profundidad de lluvia (h_p)	Profundidad de precipitación de diseño específica para el sitio de implementación

Fuente: CIHA (2015) [10]

Luego se procede a determinar el área de drenaje del pavimento. Esta área puede ser delimitada por su topografía y elementos del sistema de drenaje superficial como sumideros, cunetas, redes de alcantarillado y demás elementos que puedan definir el flujo del agua. Lo siguiente es el coeficiente de escorrentía estará dado por la cobertura de la zona a implementar. Así se difieren superficies (p. ej. vías, zonas verdes, techos, andenes y parques) con respecto a la permeabilidad, y de tal manera conocer la escorrentía producida. se invita a tener en cuenta la Norma NS-085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, esta propone unos coeficientes según el tipo de cobertura. Por último, el volumen de calidad se define mediante la siguiente imagen:

$$V_c = h_p * A_d * C$$

Figura 24. Volumen de calidad de agua

Fuente: NS- 085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá [3]

Donde V_c = Volumen de diseño (m^3), h_p = Profundidad de lluvia (mm) y A_d = Área tributaria del pavimento (m^2).[18]

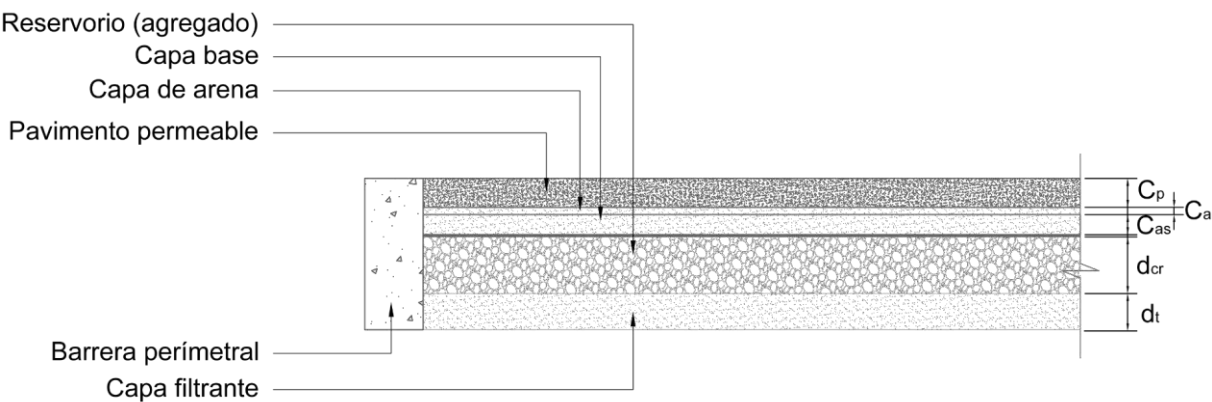


Figura 25. Perfil esquemático de un pavimento poroso con infiltración.
Fuente: CIIA (2015) [10]

3.3.4 Tanques de almacenamiento. Se diseñarán con las bases de un balance hidrológico de escorrentía mensual (E_{sc}), lo primero que se realizo fue el cálculo de la profundidad de lluvia ponderado en la ubicación dispuesta y el área de drenaje de la tipología. Esto se obtuvo con datos históricos de precipitaciones las cuales fueron proporcionadas por estaciones de medición aledañas a la universidad proporcionadas el IDEAM. Se incluyó la hoja de cálculo con las precipitaciones mensuales porque con estos datos se dedujo la escorrentía mensual. A continuación de establecen los valores de las variables en la siguiente tabla [18].

Tabla 14. Variables hidrológicas requeridas para el diseño de tanques de almacenamiento

Variable	Definición
Área tributaria (A_d)	Area que aporta escorrentía a los pavimentos Permeables
Coficiente de escorrentía (C)	Coficiente (de 0 a 1) que representa la permeabilidad de la superficie
Precipitación (P)	Profundidad de precipitación de diseño específica para el sitio de implementación

Fuente: CIIA (2015) [10]

Se realizó la definición del área de drenaje del tanque la cual será delimitada según la topografía del terreno estudiado y también del sistema de drenaje superficial como techos, canaletas, sumideros y demás elementos que puedan interferir en el normal correr de las precipitaciones. Se necesitó el coeficiente de escorrentía, Para los coeficientes de escorrentía se aconsejó la norma NS-085 de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, esta propone unos coeficientes según el tipo de cobertura. Para el cálculo del volumen de escorrentía se utilizó la siguiente ecuación:

$$Esc = \frac{1}{1000} P * Ad * C$$

Figura 26 Escorrentía mensual.
Fuente: CIHA (2015) [10]

Donde Esc = Escorrentía mensual (m3), P = Profundidad de lluvia (mm) y Ad = Área tributaria del tanque (m2).[18]

Se procede a la parte de diseño de los tanques de almacenamiento estos pueden estar amarrados a los usos del agua y su calidad se tuvieron en cuenta algunos factores que disminuyen la calidad como lo el suelo que se mezcla con la escorrentía los materiales que puede tener los techos y son lavados por la escorrentía ya que no se realizó el dimensionado de estructuras complementarias para el tratamiento de agua antes de ser recolectada y almacenada, podemos ver más adelante el dimensionado básico del tanque que se basa en la recolección y el volumen del tanque como tal [18].

Se diseñó el tanque con el máximo volumen de recolección basado en los datos hidrológicos teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 15. *Parámetros asociados al volumen de recolección del tanque de almacenamiento.*

<i>Variable</i>	<i>Definición</i>
Eficiencia de recolección	Porcentaje de agua de escorrentía que procede a almacenarse efectivamente se recomienda un valor entre 80-85%
Pérdidas por absorción (mm)	Determinada escorrentía la cual no se almacena en el tanque. Es recomendable un valor cercano a 2 mm
Precipitación (p)	Profundidad de precipitación de diseño específica para el sitio de implementación

Fuente: CIHA (2015) [10]

Lo seguido fue calcular el volumen de recolección máximo. A través de este procedimiento se estimará dicho volumen, con esto se estimó si es adecuado la construcción del tanque de almacenamiento de agua a partir de estos resultados se analiza si el volumen es muy bajo la recolección de las precipitaciones no fueron suficientes para la relación costo/efectividad.

$$V_r = V_{r-1} + (Esc - Dem) - Q_{ex}$$

Figura 27 Volumen de agua remanente al final del mes.

Fuente: CIHA (2015) [10]

Donde V_r = Volumen de agua remanente al final del mes (m^3), V_{r-1} = Volumen de agua remanente al final del mes anterior (m^3), Esc = Escorrentía (m^3), Dem = Demanda (m^3), y Q_{ex} = Descarga de excesos (m^3) [18].

$$Q_{ex} = V_{r-1} + Esc - Dem - V$$

Figura 28 Descarga de excesos.

Fuente: CIHA (2015) [10]

En las figuras anteriores se puede notar la vinculación del volumen propuesto para el tanque con una demanda mensual que es necesario abastecer. Los valores calculados de volúmenes del tanque no deben ser 0 de ser así se calcularan nuevamente, pero si este suceso es por una demanda de agua demasiado baja lo que se debe hacer es igualar el volumen del tanque a la demanda, también es necesario ver la oferta y demanda, donde se debe cumplir que la oferta será siempre superior (o igual) a la demanda, con tal de suplir siempre la necesidad de abastecimiento de agua [18].

4. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados del proyecto. Se exponen la información recolectada y los resultados de la evaluación técnica con criterios de selección de los tipos e SUDS. El análisis de selección del Tren que sea más sostenible.

4.1. Datos Hidrológicos

Por medio del El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM se obtuvieron los datos de las dos estaciones más cercanas al Campus, la estación la Granja y la Floresta. Los datos nos fueron entregados como se puede ver en la figura 29 luego se procede a organizálos como se muestra en la figura 30.

Los datos completos y organizados se encuentran en el apéndice A.

CodigoEstacion	NombreEstacion	Latitud	Longitud	Altitud	IdParametro	Etiqueta	DescripcionSerie	Frecuencia	Fecha	Valor	Grado	Calificador	NivelAprobacion
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-04-01 00:00	57.5	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-05-01 00:00	58.6	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-06-01 00:00	70.3	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-07-01 00:00	48.9	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-08-01 00:00	12	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-09-01 00:00	31	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-10-01 00:00	38.2	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-11-01 00:00	59.2	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1962-12-01 00:00	71.9	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1963-01-01 00:00	55.9	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1964-02-01 00:00	59.4	,,	900	
23190590	FLORESTA LA [23190590]	7.090277778	-73.12388889	925	PRECIPITACION	PTPM_MX_TT_M	Precipitación máxima mensual en un día	Mensual	1964-03-01 00:00	39.5	,,	900	

Figura 29. Datos Suministrados
Fuente: IDEAM

Se tomaron los datos para clasificarlos en Nombre Estación, Fecha, Valor, esto con el fin de obtener la información hidrológica para las mediciones y proyecciones de precipitación, estos datos están desde el 01 de enero del 2009 hasta el 12 de diciembre del 2019.

LA FLORA			PIEDECUESTA LA GRANJA	
fecha	mm/h		fecha	mm/h
1/01/2009	20,7		1/01/2009	16,2
1/02/2009	1128,8		1/02/2009	30,8
1/03/2009	93,4		1/03/2009	47,0
1/04/2009	149,6		1/04/2009	57,3
1/05/2009	111,1		1/05/2009	46,4
1/06/2009	54,2		1/06/2009	55,2
1/07/2009	105,6		1/07/2009	46,0
1/08/2009	79,7		1/08/2009	35,2
1/09/2009	152,7		1/09/2009	72,8
1/10/2009	22,8		1/10/2009	6,7
1/11/2009	212,1		1/11/2009	71,3
1/12/2009	135,2		1/12/2009	66,0
1/01/2010	17,4		1/01/2010	28,7
1/02/2010	17,2		1/02/2010	2,3
1/03/2010	59,7		1/03/2010	25,0
1/04/2010	48,5		1/04/2010	5,2
1/05/2010	80,7		1/05/2010	42,6
1/06/2010	292,3		1/06/2010	95,0
1/07/2010	126,8		1/07/2010	53,5
1/08/2010	113,0		1/08/2010	35,4

Figura 30. Datos organizados por estaciones
Fuente: IDEAM

Se decidió tomar los datos de la estación la Flora ubicada en Cra. 21a #108-49 a 108-1, Bucaramanga, Santander, utilizando las precipitaciones más cercanas a la fecha actual que son desde el 01 de enero del 2019 hasta el 01 de diciembre del 2019.

Se tomaron los datos de precipitaciones del año 2019 en (mm/h) ya que, para realizar los cálculos respectivos, lo necesario eran las precipitaciones del año anterior con esto se debía calcular escorrentía y así completar los datos necesarios para continuar con los cálculos del tanque de almacenamiento.

La Flora	
mes	precipitacion (mm)/h
1/01/2019	6,5
1/02/2019	124,6
1/03/2019	71,8
1/04/2019	114,0
1/05/2019	155,3
1/06/2019	80,5
1/07/2019	27,1
1/08/2019	113,2
1/09/2019	148,5
1/10/2019	79,4
1/11/2019	121,3
1/12/2019	69,8

Figura 31. Datos de la estación utilizada.

Fuente: IDEAM

4.2. Levantamiento topográfico

Por medio de Google Earth se ubicó el área de estudio y se ubicaron una serie de puntos para hacer la ruta de puntos (como se muestra en la figura 32) para exportarlas en archivo kmz para así obtener la una nube de puntos con la ayuda de esta herramienta para introducirlos a Civil3D (como se muestra en la figura 33) y generar las curvas de nivel del terreno.



Figura 32. Localización Google Earth
Fuente: Google Earth

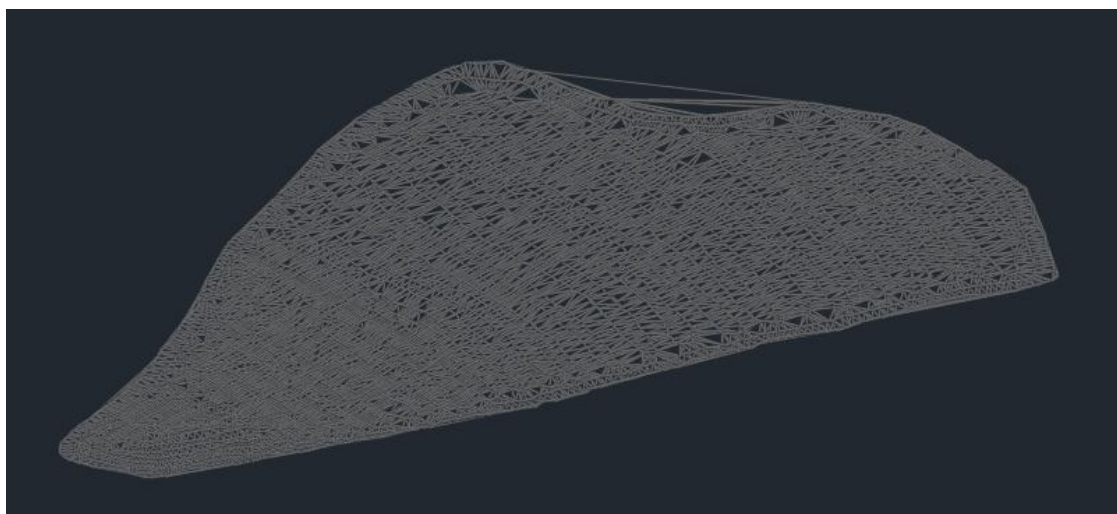


Figura 33. Nube de puntos curvas de Nivel Civil 3D
Fuente: Autores

4.3. Registro fotográfico

Desde el periodo Marzo a Octubre de 2019, se realizó tomas fotográficas de las zonas afectadas por los episodios de lluvia.



Figura 34. Zona verde frente a las clínicas odontológicas (1)



Figura 35. Zona verde frente a las clínicas odontológicas (2)



Figura 36. Anden peatonal Zona verde



Figura 37. Entrada Clínica Odontológica



Figura 38. Pasillo 1 piso Santander



Figura 39. Entrada Edificio Santander



Figura 40. Parqueadero Edificio Santander



Figura 41. Parqueadero Edificio Santander



Figura 42. Entrada Edificio Fray Angélico



Figura 43. Vía Frente a la cancha Sintética



Figura 44. Plazoleta Semi Sótano Edificio Fray Angélico



Figura 45. Box Culvert USTA

4.4. Plano de zonificación

Se realizó un plano básico del terreno de la USTA el en software SketchUp con el fin de identificar las zonas mayormente afectadas en periodos de lluvia. A continuación, se muestra la imagen del plano elaborado donde se resalta las zonas críticas usando la escala de colores cálidos, siendo rojo el más crucial.

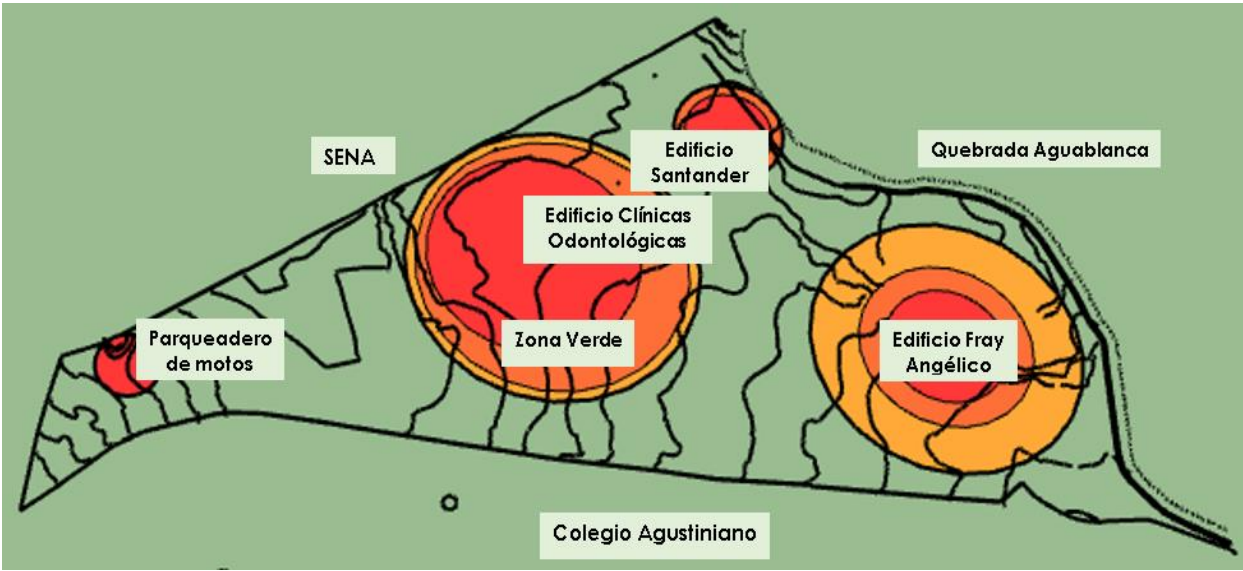


Figura 46. Mapa de zonificación
Fuente: Autores

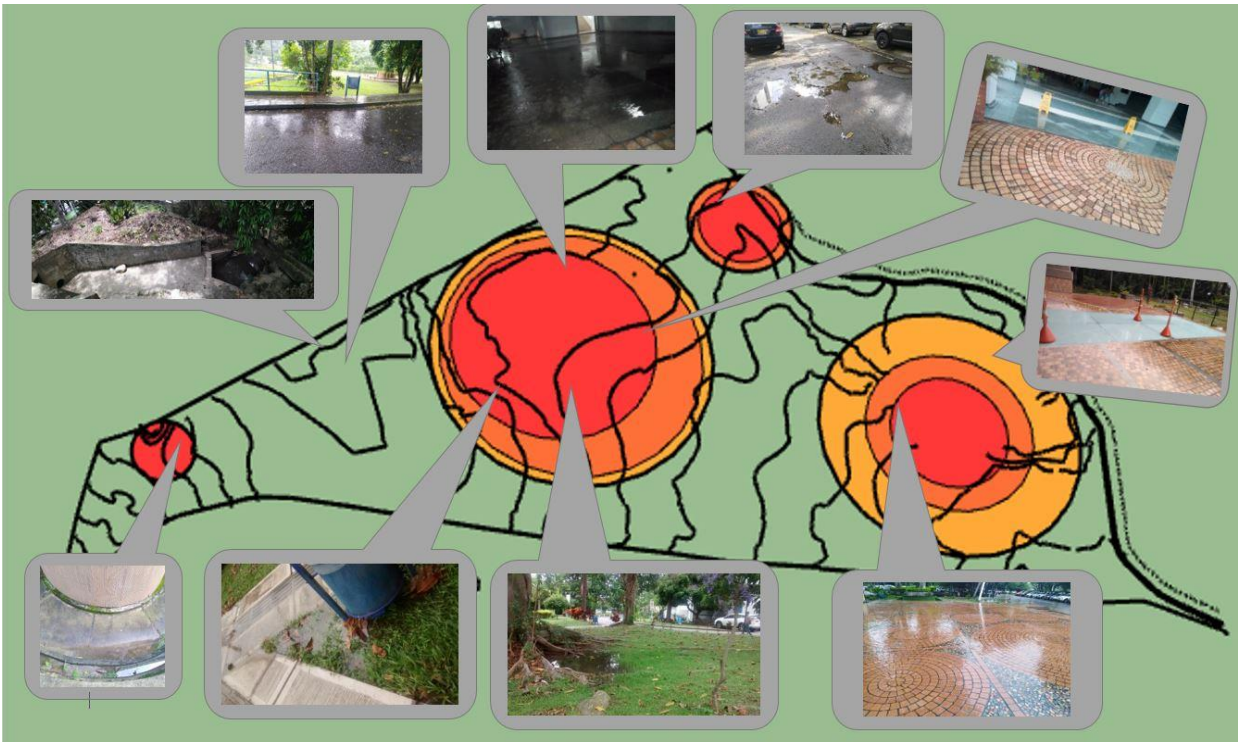


Figura 47. Mapa localización de zonas críticas
Fuente: Autores

Se tuvo cuenta lo identificado en el registro fotográfico se definieron las zonas críticas que se demarcaron en los mapas de zonificación de la siguiente manera; se usó la gama de colores cálidos siendo rojo la zona mayormente afectada, naranja la medianamente afectada y amarilla la zona con menor afectación. A su vez en la Figura 47 se pudo observar las zonas a las que pertenecía el registro fotográfico esto se realizó con la finalidad de facilitar la interpretación de la información recolectada.

4.5. Definición de las mejores alternativas de SUDS con mayor grado de sostenibilidad

En este apartado se empleó la metodología de selección AHP (Proceso de análisis jerárquico) descrita en la sección 3.2.3 con la cual se definió el juicio comparativo según la Tabla 9 la importancia de los criterios seleccionados, así como se muestra en la siguiente figura, para hallar estos resultados se tuvo en cuenta las necesidades del proyecto para así establecer el nivel de importancia de cada criterio versus ellos mismos:

		A	B	C	D	E
	CRITERIOS	Mejoramiento de la calidad de agua	Control de volumen de agua lluvia	Amenidad	Mantenimiento	Costo
1	Mejoramiento de la calidad de agua	1	3	5	3	1
2	Control de volumen de agua lluvia	0.33	1	3	2	1
3	Amenidad	0.20	0.33	1	1	1
4	Mantenimiento	0.33	0.50	1.00	1	1
5	Costo	1	1	1	1	1
	SUMA	2.87	5.83	11.00	8.00	5.00

Figura 48. AHP criterios

Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 46 los criterios se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos criterios sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la teoría plasmada en el marco referencial, datos y criterio propio. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4 y A5; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	
1	0.35	0.51	0.45	0.38	0.20	0.38
2	0.12	0.17	0.27	0.25	0.20	0.20
3	0.07	0.06	0.09	0.13	0.20	0.11
4	0.12	0.09	0.09	0.13	0.20	0.12
5	0.35	0.17	0.09	0.13	0.20	0.19

Figura 49. AHP criterios (2)
Fuente: Autores

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 49; en consecuencia se analizó el orden de importancia de los criterios dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar el mejoramiento de la calidad de agua, en segundo lugar el control de volumen de agua lluvia, en tercer lugar el costo, en cuanto lugar el mantenimiento y por último la amenidad.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 48 por los datos de la última columna de la Figura 49 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

AxP		
2.09	CI=	0.10
1.09	RI=	1.19
0.56	CR=	0.08
0.65		
1.00		
5.38		

Figura 50. Relación de consistencia.
Fuente: Autores

Se evidenció que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

4.5.1. Definición de las alternativas de SUDS

En este apartado se tuvo en cuenta la metodología AHP descrita anteriormente realizándose para los tipos de SUDS según cada criterio, respetando el resultado obtenido del nivel de importancia obtenido en el apartado anterior.

- *Mejoramiento de la calidad de agua*

	A	B	C	D	E	F	G
Mejoramiento de la calidad de agua	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1 Pavimentos permeables	1	1	1	1	5	3	3
2 Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1	1
3 Zanja de infiltración	1	1	1	1	3	2	3
4 Alcorques inundables	1.00	1	1.00	1	5	3	3
5 Cuenca seca de drenaje	0.20	1.00	0.33	0.20	1	2	1
6 Cunetas verdes	0.33	1	0.5	0.33	0.50	1	4
7 Zonas de Bio-retención	0.33	1	0.33	0.33	1	0.25	1
SUMA	4.87	7.00	5.17	4.87	16.50	12.25	16

Figura 51. AHP mejoramiento de la calidad de agua.

Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 51 los tipos de SUDS se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos tipos de SUDS sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la Tabla 3. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda

suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F	G
1	0.2054795	0.1428571	0.1935484	0.2054795	0.3030303	0.244898	0.1875
2	0.2054795	0.1428571	0.1935484	0.2054795	0.0606061	0.0816327	0.0625
3	0.2054795	0.1428571	0.1935484	0.2054795	0.1818182	0.1632653	0.1875
4	0.2054795	0.1428571	0.1935484	0.2054795	0.3030303	0.244898	0.1875
5	0.0410959	0.1428571	0.0645161	0.0410959	0.0606061	0.1632653	0.0625
6	0.0684932	0.1428571	0.0967742	0.0684932	0.030303	0.0816327	0.25
7	0.0684932	0.1428571	0.0645161	0.0684932	0.0606061	0.0204082	0.0625

Figura 52. AHP mejoramiento de la calidad de agua. (2)

Fuente: Propia

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 52; en consecuencia se analizó el orden de importancia de los tipos de SUDS dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar los pavimentos permeables al igual que los alcorques inundables, en segundo lugar las zanjas de infiltración, en tercer lugar tanques de almacenamiento, en cuarto lugar las cunetas verdes, en quinto lugar la cuenca seca de drenaje y por ultimo las zonas de bio-retención.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 51 por los datos de la última columna de la Figura 52 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

AxP		
1.68		
1.00	CI=	0.12
1.41	RI=	1.41
1.68	CR=	0.09
0.64		
0.79		
0.52		
7.72		

Figura 53. Relación de consistencia mejoramiento de agua lluvia
Fuente: Autores

Se evidencio que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

- *Control de volumen de lluvia*

	A	B	C	D	E	F	G
Control de volumen de agua lluvia	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1 Pavimentos permeables	1	1	2	3	2	2	2
2 Tanques de almacenamiento	1	1	3	3	2	2	3
3 Zanja de infiltración	0.5	0.33333333	1	7	5	5	5
4 Alcorques inundables	0.33	0.33333333	0.14	1	1	1	1
5 Cuenca seca de drenaje	0.50	0.50	0.20	1.00	1	1	1
6 Cunetas verdes	0.50	0.5	0.2	1.00	1.00	1	1
7 Zonas de Bio-retención	0.50	0.33333333	0.20	1.00	1	1	1
SUMA	4.33	4.00	6.74	17.00	13.00	13	14

Figura 54. AHP Control de agua lluvia
Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 54 los tipos de SUDS se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos tipos de SUDS sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la Tabla 3. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F	G
1	0.2307692	0.25	0.2966102	0.1764706	0.1538462	0.1538462	0.1428571
2	0.2307692	0.25	0.4449153	0.1764706	0.1538462	0.1538462	0.2142857
3	0.1153846	0.0833333	0.1483051	0.4117647	0.3846154	0.3846154	0.3571429
4	0.0769231	0.0833333	0.0211864	0.0588235	0.0769231	0.0769231	0.0714286
5	0.1153846	0.125	0.029661	0.0588235	0.0769231	0.0769231	0.0714286
6	0.1153846	0.125	0.029661	0.0588235	0.0769231	0.0769231	0.0714286
7	0.1153846	0.0833333	0.029661	0.0588235	0.0769231	0.0769231	0.0714286

Figura 55. AHP Control de agua lluvia (2)

Fuente: Autores

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 55; en consecuencia se analizó el orden de importancia de los tipos de SUDS dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar las zanjas de infiltración, en segundo lugar los tanques de almacenamiento, en tercer lugar los pavimentos permeables, en cuarto lugar las cuencas secas de drenaje y las cunetas verdes , por último los alcorques inundables y las zonas de bio-retención.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 54 por los datos de la última columna de la Figura 55 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

A x P		
1.63		
1.96	CI=	0.13
1.95	RI=	1.41
0.49	CR=	0.09
0.58		
0.58		
0.57		
7.76		

Figura 56. Relación de consistencia en control de volúmenes de lluvia
Fuente: Autores

Se evidencio que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

- Costo

	A	B	C	D	E	F	G
Costo	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1 Pavimentos permeables	1	4	5	5	5	7	5
2 Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	5	1
3 Zanja de infiltración	0.2	1	1	1	1	5	1
4 Alcorques inundables	0.20	1	1.00	1	1	5	1
5 Cuenca seca de drenaje	0.20	1.00	1.00	1.00	1	5	1
6 Cunetas verdes	0.14	0.2	0.2	0.20	0.20	1	1
7 Zonas de Bio-retención	0.20	1	1.00	1.00	1	1	1
SUMA	2.94	9.20	10.20	10.20	10.20	29	11

Figura 57. AHP Costo
Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 57 los tipos de SUDS se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos tipos de SUDS sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la Tabla 3. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F	G
1	0.3398058	0.4347826	0.4901961	0.4901961	0.4901961	0.2413793	0.4545455
2	0.3398058	0.1086957	0.0980392	0.0980392	0.0980392	0.1724138	0.0909091
3	0.0679612	0.1086957	0.0980392	0.0980392	0.0980392	0.1724138	0.0909091
4	0.0679612	0.1086957	0.0980392	0.0980392	0.0980392	0.1724138	0.0909091
5	0.0679612	0.1086957	0.0980392	0.0980392	0.0980392	0.1724138	0.0909091
6	0.0485437	0.0217391	0.0196078	0.0196078	0.0196078	0.0344828	0.0909091
7	0.0679612	0.1086957	0.0980392	0.0980392	0.0980392	0.0344828	0.0909091

Figura 58. AHP Costo (2)

Fuente: Autores

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 58; en consecuencia se analizó el orden de importancia de los tipos de SUDS dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar los pavimentos permeables, en segundo lugar los

tanques de almacenamiento, en tercer lugar las zanjas de infiltración, los alcorques inundables y las cuencas secas de drenaje, en cuarto lugar las zonas de bio-retención y por ultimo las cunetas verdes.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 57 por los datos de la última columna de la Figura 58 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

AxP		
3.25		
1.15	CI=	0.13
0.81	RI=	1.41
0.81	CR=	0.09
0.81		
0.27		
0.66		
7.76		

Figura 59. Relación de consistencia en costo
Fuente: Autores

Se evidencio que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

- *Mantenimiento*

	A	B	C	D	E	F	G
Mantenimiento	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1 Pavimentos permeables	1	5	1	2	2	3	1
2 Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1	1
3 Zanja de infiltración	1	1	1	3	3	3	1
4 Alcorques inundables	0.50	1	0.33	1	1	3	1
5 Cuenca seca de drenaje	0.50	1.00	0.33	1.00	1	1	1
6 Cunetas verdes	0.33	1	0.33333333	0.33	1.00	1	1
7 Zonas de Bio-retención	1.00	1	1.00	1.00	1	1	1
SUMA	5.33	11.00	5.00	9.33	10.00	13	7

Figura 60. AHP Mantenimiento

Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 60 los tipos de SUDS se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos tipos de SUDS sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la Tabla 3. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F	G	
1	0.1875	0.4545455	0.2	0.2142857	0.2	0.2307692	0.1428571	0.23
2	0.1875	0.0909091	0.2	0.1071429	0.1	0.0769231	0.1428571	0.13
3	0.1875	0.0909091	0.2	0.3214286	0.3	0.2307692	0.1428571	0.21
4	0.09375	0.0909091	0.0666667	0.1071429	0.1	0.2307692	0.1428571	0.12
5	0.09375	0.0909091	0.0666667	0.1071429	0.1	0.0769231	0.1428571	0.10
6	0.0625	0.0909091	0.0666667	0.0357143	0.1	0.0769231	0.1428571	0.08
7	0.1875	0.0909091	0.2	0.1071429	0.1	0.0769231	0.1428571	0.13

Figura 61. AHP Mantenimiento (2)

Fuente: Autores

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 61; en consecuencia se analizó el orden de importancia de los tipos de SUDS dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar los pavimentos permeables, en segundo lugar las zanjas de infiltración, en tercer lugar los tanques de almacenamiento, en cuarto lugar los alcorques inundables, en quinto lugar las zonas de bio-retención, en sexto lugar las cuencas secas de drenaje y por ultimo las cunetas verdes.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 60 por los datos de la última columna de la Figura 61 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia

aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

AxP	
1.90	
1.00	CI= 0.13
1.60	RI= 1.41
0.91	CR= 0.09
0.74	
0.63	
1.00	
7.77	

Figura 62. Relación de consistencia en mantenimiento

Fuente: Autores

Se evidencio que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

- *Amenidad*

	A	B	C	D	E	F	G
Amenidad	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
1 Pavimentos permeables	1	1	1	1	1	1	1
2 Tanques de almacenamiento	1	1	1	1	1	1	1
3 Zanja de infiltración	1	1	1	1	1	1	1
4 Alcorques inundables	1.00	1	1.00	1	3	3	3
5 Cuenca seca de drenaje	1.00	1.00	1.00	0.33	1	1	1
6 Cunetas verdes	1.00	1	1	0.33	1.00	1	1
7 Zonas de Bio-retención	1.00	1	1.00	0.33	1	1	1
SUMA	7.00	7.00	7.00	5.00	9.00	9	9

Figura 63. AHP Amenidad

Fuente: Autores

Como se pudo observar en la Figura 63 los tipos de SUDS se organizaron en igualdad de orden tanto en filas como columnas donde se tuvo en cuenta que las intercesiones entre los mismos tipos de SUDS sea 1 según el juicio comparativo descrito en la Tabla 9, luego se definió según la misma tabla el valor de importancia de cada uno de los criterios basándose en la Tabla 3. Como siguiente paso se sumó cada columna donde luego ese resultado se tomó como divisor de cada dato que se obtuvo, es decir, la celda suma de la columna A se tomó como divisor de los datos A1, A2, A3, A4, A5, A6 y A7; y así sucesivamente se realizó con las demás columnas hasta obtener los datos descritos en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E	F	G	
1	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.2	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.14
2	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.2	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.14
3	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.2	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.14
4	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.2	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.23
5	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.0666667	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.12
6	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.0666667	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.12
7	0.1428571	0.1428571	0.1428571	0.0666667	0.1111111	0.1111111	0.1111111	0.12

Figura 64. AHP Amenidad (2)

Fuente: Autores

El siguiente calculo que se desarrollo fue un promedio de cada fila, con el que se obtuvo como resultado los valores demarcados en la última columna de la Figura 64; en consecuencia se analizó el

orden de importancia de los tipos de SUDS dando como producto la escala jerárquica del nivel de importancia de la siguiente manera, en primer lugar los alcorques inundables, en segundo lugar los pavimentos permeables, las zanjas de infiltración y los tanques de almacenamiento y por ultimo las cuencas secas de drenaje, las cunetas verdes y las zonas de bio-retención.

Luego se realizó una comprobación de los datos donde se halló la relación de consistencia que consistió en multiplicar la matriz de la Figura 63 por los datos de la última columna de la Figura 64 estos resultado se sumaron para utilizarlos en la ecuación del índice de consistencia (Figura 13), la consistencia aleatoria (Tabla 10) y luego se halló la relación de consistencia según la Figura 14, donde se tuvo en cuenta que el valor de CR no puede ser > 0.10 para considerar que la ponderación sea lógica.

AxP		
1.00		
1.00	CI=	0.04
1.00	RI=	1.41
1.71	CR=	0.03
0.84		
0.84		
0.84		
7.24		

Figura 65. Relación de consistencia en amenidad
Fuente: Autores

Se evidencio que la relación de consistencia según la Figura anterior el resultado fue menor que 0.1 lo cual indico que la ponderación obtenida es lógica.

Según los resultados de los tipos de SUDS según cada criterio evaluado se concluyó por orden de puntaje que las alternativas de SUDS a emplear para realizar el tren de SUDS son las señaladas en la siguiente figura: (Todo lo anteriormente descrito se encuentra consignado en el apéndice B)

	Pavimentos permeables	Tanques de almacenamiento	Zanja de infiltración	Alcorques inundables	Cuenca seca de drenaje	Cunetas verdes	Zonas de Bio-retención
Mejoramiento de la calidad de agua	1	4	3	2	6	5	7
Control de volumen de agua lluvia	3	2	1	7	4	5	6
Costos	1	2	3	4	5	7	6
Mantenimiento	1	3	2	4	6	7	5
Amenidad	2	4	3	1	5	6	7

Figura 66. Resultados AHP
Fuente: Autores

4.6. Diseño del tren de SUDS

En este apartado se realizó el diseño de los tipos de SUDS seleccionados según el método AHP donde se tuvo en cuenta los datos hidrológicos suministrados por el IDEAM (véase en el apéndice A), el levantamiento topográfico suministrado por la USTA (véase en el apéndice C), la metodología de diseño descrita en la guía Técnica de diseño y construcción de SUDS y en la NS-166-criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible.

4.6.1 Alcorques inundables: Se realizó el diseño del SUDS Alcorques inundables siguiendo los lineamientos de la metodología descrita en el apartado 3.3.1 para esto se usaron datos descritos en la Figura 2 los cuales se hallaron mediante la solución de las fórmulas plasmadas en la imagen anteriormente mencionada, donde se obtuvo como resultado la siguiente información: (Lo descrito se encuentra consignado en el Apéndice D)

Alcorques inundables		
Datos		
As	2.5	V= 1.275
Asm	2.5	Vinf 0.1125
Ds (diametro de la tubería perforada)	0.1	Vf= 1.1625
dm	0.6	ven= 0.375
nm	0.4	
dc	0.4	
ng	0.3	
Af	2.5	
d	0.15	
Vpt	0	
f	63	
dcg (capa de drenaje sobre la tubería)	0.15	
das	0.15	
		As ≤ 2 * Asm 5

Figura 67. Cálculo diseño Alcorques inundables
Fuente: Autores

*Los datos requeridos específicamente del terreno o zona de estudio se basaron en datos teóricos de diferentes estudios realizados en zonas cercanas a la zona de interés.

4.6.2. Zanjas de infiltración: Se realizó el diseño del SUDS Zanjas de infiltración siguiendo los lineamientos de la metodología descrita en el apartado 3.3.2 para esto se usaron datos descritos en la Figura 7 los cuales se hallaron mediante la solución de las fórmulas plasmadas en la imagen anteriormente mencionada, donde se obtuvo como resultado la siguiente información: (Lo descrito se encuentra consignado en el Apéndice D)

Zanjas de infiltración			
Datos			
hp	4	Vc	14.3
Ad	6.5	D1	15.12
C (coeficiente de escorrentia)	0.55	D2ci	0.2295
Td	48	D2nf	6.624
f	63	Asmin	35.75
ng	40	Wmin	0.15
FSb	0.5		
dci	9		
dL	0.15		
d minci	0.17		
dnf	13.8		
Vc	14.3		
d mincnf	3.2		
d	1		

Figura 68. Cálculo diseño Zanjas de infiltración
Fuente: Autores

*Los datos requeridos específicamente del terreno o zona de estudio se basaron en datos teóricos de diferentes estudios realizados en zonas cercanas a la zona de interés.

4.6.3. Pavimentos permeables: Se realizó el diseño del SUDS Pavimentos permeables siguiendo los lineamientos de la metodología descrita en el apartado 3.3.3 para esto se usaron datos descritos en la Figura 5 los cuales se hallaron mediante la solución de las fórmulas plasmadas en la imagen anteriormente mencionada, de igual forma para este tipo de SUDS se tuvo en cuenta las variables de área donde se ubicaran los según las zonas de parqueaderos, donde se obtuvo como resultado la siguiente información: (Lo descrito se encuentra consignado en el Apéndice D)

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Motos entrada)					
Datos					
		Cotas	Distancia	Pendiente	
hp=	4	859	29.9	0.10	
Ci=	0.55	862			
Ai=	540	Diferencia de cota			3
As=	189	Vc			415.80
Sf=	0.10	Rim=			1.57
ncr=	40	Rt=			2.92
dcr=	0.15	Lbd=	1.10		
dl=	0.0254	V=	526.18		

Figura 69. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero motos entrada al campus)
Fuente: Autores

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Edificio Santander)				
Datos				
		Cotas	Distancia	Pendiente
hp=	4	863	65.3	0.02
Ci=	0.55	864		
Ai=	810	Diferencia de cota	1	
As=	627	Vc	1379.40	
Sf=	0.02	Rim=	0.71	
ncr=	40	Rt=	0.21	
dcr=	0.15	Lbd=	7.18	
dl=	0.0254	V=	1745.57	

Figura 70. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Santander)
Fuente: Autores

PAVIMENTO PERMEABLE (parq. Edificio Fray Angelico)				
Datos				
		Cotas	Distancia	Pendiente
hp=	4	868	53.2	0.06
Ci=	0.55	871		
Ai=	1800	Diferencia de cota	3	
As=	1566	Vc	3445.2	
Sf=	0.06	Rim=	0.632184	
ncr=	40	Rt=	0.094464	
dcr=	0.15	Lbd=	1.950667	
dl=	0.0254	V=	4359.744	

Figura 71. Cálculo diseño Pavimentos permeables (Parqueadero edificio Fray Angélico)

Fuente: Autores

*Los datos requeridos específicamente del terreno o zona de estudio se basaron en datos teóricos de diferentes estudios realizados en zonas cercanas a la zona de interés.

4.6.4. Tanque de almacenamiento: Se realizó el diseño del SUDS Tanque de almacenamiento siguiendo los lineamientos de la metodología descrita en el apartado 3.3.4 para esto se usaron datos descritos en la Figura 6 los cuales se hallaron mediante la solución de las fórmulas plasmadas en la imagen anteriormente mencionada, donde se obtuvo como resultado la siguiente información: (Lo descrito se encuentra consignado en el Apéndice D)

Estación La Flora								
Fecha	Presipitación (mm)	Escorrentía (m ³)	Demanda (m ³)	Vr	Vr ₋₁	Q ex	Vrmax	V
1/01/2019	6.5	0.39	9.5	1.8	13.74	2.83	410.85	1.8
1/02/2019	124.6	7.54	9.5	1.8	23.60	19.84	11193.38	1.8
1/03/2019	71.8	4.35	9.5	1.8	38.25	31.3	6375.39	1.8
1/04/2019	114.0	6.90	9.5	1.8	16.18	11.78	10226.51	1.8
1/05/2019	155.3	9.39	9.5	1.8	13.37	11.46	13991.73	1.8
1/06/2019	80.5	4.87	9.5	1.8	20.73	14.3	7169.79	1.8
1/07/2019	27.1	1.64	9.5	1.8	15.61	5.95	2292.54	1.8
1/08/2019	113.2	6.85	9.5	1.8	6.60	2.15	10155.30	1.8
1/09/2019	148.5	8.98	9.5	0.45	0.97	0	13376.36	0.45
1/10/2019	79.4	4.80	9.5	1.8	24.73	18.23	7066.62	1.8
1/11/2019	121.3	7.34	9.5	1.8	36.52	32.56	10895.74	1.8
1/12/2019	69.8	4.22	9.5	1.8	33.68	26.6	6192.88	1.8

Figura 72. Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (1)

Fuente: Autores

Tanque de almacenamiento	
Datos	
P=	0.002
Ad=	110
C=	0.55
Ecol=	0.83
Pa=	2

Figura 73. Cálculo diseño Tanque de almacenamiento (2)

Fuente: Autores

*Los datos requeridos específicamente del terreno o zona de estudio se basaron en datos teóricos de diferentes estudios realizados en zonas cercanas a la zona de interés.

4.7. Aspectos constructivos y de mantenimiento

En este apartado se relacionan los aspectos constructivos de cada SUDS basados en la Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental CIIA, de la Universidad de los Andes.

4.7.1 Alcorques inundables: son estructuras que se pueden acomodar a diferentes zonas. Se distinguen por tener un cajón lleno de sustrato, suelo, plantas o árboles pequeños. La parte baja está comprendida de un sistema de drenaje y una barrera impermeable si llegara a ser necesaria. Las zonas críticas que van a ser intervenidas no deben hacerse con maquinaria pesada para evitar la compactación del suelo y esto dañaría el buen funcionamiento de la estructura [17].

La siguiente tabla nos muestra las actividades de operación y mantenimiento mínimas que deben tener los alcorques inundables y así tengan un desempeño [17].

Tabla 16. *Actividades de operación y mantenimiento para los alcorques inundables*

<i>Actividades de Operación y Mantenimiento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Componentes del sistema</i>		
Remover residuos acumulados en las estructuras de entrada y salida	M	
Remover residuos acumulados en la estructura de rebose	M	
Lavado del drenaje subterráneo	>A	SI
Remover arenas y sedimentos de las estructuras	S	
Remover manualmente el sedimento acumulado en la superficie	S	SI

Fuente: CIIA 2017 [10]

Tabla 16. (continuación)

Reparar los sistemas de disipación de energía	>A	SI, por daños de erosión
Reparar o reemplazar la rejilla	>A	SI, por daños o pérdida
Reparar o reemplazar las estructuras de entrada y salida	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar o reemplazar la estructura de rebose	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar o reemplazar el recubrimiento (geotextil o geomembrana)	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar o reemplazar el sistema de drenaje subterráneo	>A	SI, por daños en la estructura
<i>Vegetación</i>		
Podar árboles y arbustos (reúso para la capa orgánica)	S	Según características de las especies
Regar árboles y arbustos	Q	Según condiciones climáticas
Replantar arbustos y/o árboles	S	Para conservar la densidad de vegetación
Tratar árboles enfermos y reemplazar plantas muertas	S	SI
Remover plantas invasoras	T	SI
<i>Sustrato y/o capa filtrante</i>		
Aplicar aireación al suelo si hay puntaje excesivo	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Complementar el mantillo para mantener la profundidad de diseño	A	SI, por poca estabilidad de la vegetación
Remover y reemplazar el mantillo	>A	SI, por poca estabilidad de la vegetación
Escarificar la capa superior del suelo	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Restauración y estabilización de zonas erosionadas	S	SI, por erosión de las estructuras
Reemplazar la capa filtrante	>A	
<i>Otras</i>		
Barrido de áreas circundantes	Q	

Q: Quincenal, M: Mensual, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual, >A: Mayor a un año, SI: Según

- *Materiales*

- *Contenedor*

Se recomienda los siguientes materiales para la construcción del contenedor: piedra, concreto, ladrillo, madera, arcilla y plástico [17].

- *Sustrato y capa filtrante*

Es necesario implementar suelo modificado el cual actúa como medio de crecimiento o sustrato y según el tipo de alcorque se procede a poner las diferentes capas adicionales. Para los alcorques con drenaje y de infiltración se contará con una capa filtrante de roca lavada de máximo 1 cm (agregado # 89) y lo menor es 5 cm de profundidad. Se deberá adicionar una capa de drenaje de agregado ACTM # 57 y de 33 a 38 cm de profundidad. En la tabla siguiente se puede evidenciar lo recomendado para el suelo [17].

Tabla 17. *Composición recomendada para el suelo*

<i>Componente</i>	<i>Contenido porcentual (%)</i>
Arena	60-70 %
Compost	15-25 %
Tierra vegetal	10-20 %
Contenido orgánico	8-12 %
pH	5.5 a 7.5 %

Fuente: CIHA [10]

Es aconsejable que el sustrato obtenga una mínima compactación, que sea poroso y permeable y que el volumen del suelo sea idóneo para alimentar el árbol o la planta que llevara [17].

- Sistema de drenaje

Se sugiere que el drenaje sea de cloruro de polivinilo (PVC) o de polietileno de alta densidad (HDPE) y este localizado sobre un agregado de mínimo 8 cm. También se deberá disponer en la parte superficial y lateral de la tubería un agregado de mínimo 15 cm (6"). Debajo la capa de drenaje se aconseja utilizar una geomembrana para no tener problemas [17].

4.7.2. Pavimentos permeables: Los tipos de pavimentos permeables tienen bases que se pueden clasificar como capa superficial, capa de nivelación, subbase o reservorio, capa filtrante, capa de drenaje y geomembrana. La notable diferencia es que capa superficial, se puede hacer con concreto hidráulico permeable, mezcla asfáltica permeable, adoquines permeables entrelazados y adoquines de rejillas de concreto. [17].

A diferencia de los demás SUDS, los pavimentos se deben limpiar de manera frecuente (semanal o quincenalmente) para que el pavimento no se colmatará por sedimentos finos en un corto periodo de tiempo, para no interferir con el funcionamiento del sistema por el bloqueo del flujo de escorrentía desde la superficie hacia las diferentes capas [17].

Tabla 18. Actividades de operación y mantenimiento para los pavimentos permeables

<i>Actividades de Operación y Mantenimiento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Componentes del sistema</i>		
Remover residuos acumulados sobre la superficie del pavimento	Q	
Aspirar el pavimento para evitar bloqueos por sedimentos finos	Q	
Lavado del drenaje subterráneo	>A	SI
Reparar o reemplazar el recubrimiento (geotextil o geomembrana)	>A	SI, por daños en la estructura
Reemplazar los bloques de pavimento permeable dañados	S	SI, según tipo de pavimento
Reparar o reemplazar el sistema de drenaje subterráneo	>A	SI, por daños en la estructura
<i>Vegetación</i>		
Remover la maleza que crezca en el pavimento o en áreas Circundantes	M	SI
<i>Reservorio y/o capa filtrante</i>		
Extraer y limpiar la capa base	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Extraer y limpiar el reservorio	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Reemplazar la capa base	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Reemplazar la capa filtrante	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Estabilizar y reparar las zonas cercanas que puedan desestabilizarse	S	SI, para evitar colmatación por erosión
<i>Otras</i>		
Barrido de áreas circundantes	Q	

Q: Quincenal, M: Mensual, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual, >A: Mayor a un año, SI:

Según Inspección

Fuente: CIIA 2017 “[10]

- Materiales

- Superficie del pavimento

Al utilizar cemento hidráulico permeable, la capa superior es una mezcla de agregado lavado, cemento Portland bajo normatividad convencional (ASTM C 150), cenizas volantes y agua. En esta mezcla los vacíos deben estar entre 15 – 25 %. Los límites de abrasión permisibles se especifican en la normativa ASTM C33 al igual que la granulometría requerida ASTM C33 No 8 ASTM C33 No 67 ASTM C33 No 89 (Ver Tabla 19).

Tabla 19. *Granulometría concreto hidráulico poroso ASTM C33*

#Tamiz	Tamaño Nominal	% Pasa							
		25.0m	19.0m	12.5m	9.5mm	4.75m	2.36m	1.18m	300µm
		m	m	m	(3/8pul g)	m (No 4)	m (No 8)	m (No 16)	(No 50)
67	19.0 a 4.75 mm (3/4' a No 4)	100	90-100		20-55	0-10	0-5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8' a No 8)			100	85-100	10-30	0-10	0-5	
89	9.5 a 1.18mm (3/8' a No 16)			100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5

Fuente: adaptado de ASTM C33

Los adoquines permeables son bloques de concreto ubicados con cierto espaciamiento, que se une con material permeable. El espesor de estos bloques no deberá ser más de 8 cm, sin embargo, esto dependerá de la sollicitación de carga y uso, también de la normativa colombiana NTC 2017. Las juntas de infiltración deben tener el espacio vacío entre el 5% - 15% del área superficial total. Las juntas deberán ser cernidas con arena que pasa tamiz No 8 o con el material de la capa filtrante, para garantizar de esta manera la estabilidad de los adoquines y evitando cualquier movimiento vertical y/o horizontal [17].

- Capa de nivelación

La capa de nivelación está bajo la superficie de rodadura, ésta tendrá que permitir el paso de la corriente de agua vertical y garantizar estabilidad. El material granular fino debe estar dentro del rango de 2 mm a 6.33 mm cumpliendo con la norma BSEN13242:2002, o una gradación típica se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. *Gradación del material de la capa de nivelación*

<i>Tamaño (mm)</i>	<i>Porcentaje de Pasaje</i>
14	100
10	98-100
6.3	80-99
2	0-20
1	0-5

Fuente: adaptado de Interpave.

- *Sub-base o reservorio*

El reservorio con el potencial de almacenar agua para reducir la cantidad de escorrentía y reducir el caudal pico en eventos de larga duración. [17].

Tabla 21. *Gradación del material de la sub-base*

Tamaño (mm)	Porcentaje de pasaje (%)	
	(4/40)	(4/20)
80	1 0 0	-
63	98- 100	-
40	90-99	1 0 0
31.5	-	98- 100
20	25-70	90-99
10	-	25-70
4	0-15	0- 1 5
2	0- 5	0- 5

Fuente: adaptado de (CIRIA, 2007) [10]

- *Capa filtrante y drenaje*

Se ubica debajo de la capa de reservorio se requiere de una capa filtrante de mínimo 15 cm y una tubería perforada cuando se construya una estructura con infiltración parcial y sin infiltración. [17].

Tabla 22. *Gradación del material de la capa filtrante*

<i>Tamaño</i>		<i>Porcentaje de pasaje</i>
19mm	¾"	100
4.75mm	No 4	60-100
300µmm	No 50	10-30
150µmm	No 100	0-10
75µmm	No 200	0-3

Fuente: adaptado de (CIIA 2017) [10]

4.7.3. Tanque de almacenamiento: Son elementos de apoyo en un suds, estos hacen parte de los trenes de tratamiento. Cuando se tienen las medidas del tanque y la ubicación (superficial o subterránea), se deben tener en cuenta los materiales y recomendaciones en el proceso de instalación [17].

Según las características poco comunes de los tanques de almacenamiento, el mantenimiento no incluye en sus componentes una cobertura vegetal o sustrato [17].

Tabla 23. *Actividades de operación y mantenimiento para los tanques de almacenamiento*

<i>Actividades de Mantenimiento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Componentes</i>		
Quitar residuos acumulados en bajantes y rejillas	M	
Quitar residuos en la entrada y salida	M	
Quitar residuos en los sistemas de pretratamiento y Rebose	M	
Limpiar el sistema de primer lavado	T	SI
Quitar arenas y sedimentos de las rejillas y estructura de rebose	S	SI
Quitar los lodos acumulados en el tanque	>A	SI
Reparar o cambiar componentes dañados	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar o cambiar las estructuras de entrada y salida	>A	SI, por daños en la estructura

Tabla 23. *Continuación*

Reparar o cambiar el recubrimiento (geotextil o geomembrana)*	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar o cambiar los sistemas de pretratamiento y rebose	>A	SI, por daños en la estructura
Reparar el sistema de bombeo	>A	Según el tipo de bomba
<i>Vegetación</i>		
Quitar la maleza que crezca sobre el tanque o en áreas circundantes*	T	SI
<i>Suelo</i>		
Restauración y estabilización de zonas erosionadas*	S	SI, por erosión, llenar con grava

M: Mensual, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual, >A: Mayor a un año, SI: Según Inspección

* Aplica para tanques subterráneos

Fuente: CIHA 2017 [10]

4.7.4 Zanjas de infiltración: Son suds especiales para lugares rectos o mayormente lineales. Se conforman por una zanja convencional hecha con material filtrante. Ya que esta tipología de suds se basa en la capacidad del tipo de suelo para detener y filtrar niveles altos de escorrentía [17].

Tabla 24. *Actividades de operación y mantenimiento para las zanjas de infiltración*

<i>Actividades de Mantenimiento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Componentes</i>		
Quitar residuos acumulados sobre la superficie de la zanja	M	
Quitar residuos acumulados en las estructuras de entrada y salida	M	

Tabla 24. *Continuación*

Quitar residuos acumulados en los sistemas de pretratamiento y Rebose	M	
Lavado del drenaje subterráneo	>A	SI
Quitar arenas y sedimentos de las estructuras	S	SI
Arreglar o reemplazar el recubrimiento (geotextil o geomembrana)	>A	SI, por daños en la estructura
Arreglar o reemplazar las estructuras de entrada y salida	>A	SI, por daños en la estructura
Arreglar o reemplazar los sistemas de pretratamiento y rebose	>A	SI, por daños en la estructura
Arreglar o reemplazar el sistema de drenaje subterráneo	>A	SI, por daños en la estructura
<i>Vegetación</i>		
Podar pastos laterales para mantener la altura de diseño	T	Según recomendaciones para franjas de césped
Replantar y/o reemplazar capa de césped	S	SI, por poca cobertura vegetal
Quitar o cortar raíces de árboles cercanos a la zanja	S	SI
Quitar la maleza que crezca en la zanja o en áreas circundantes	T	SI
<i>Reservorio</i>		
Extraer y limpiar la capa de gravilla superficial del reservorio	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Extraer y limpiar el material del reservorio	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Cambiar la capa de gravilla	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
Cambiar el material del reservorio	>A	SI, por poca capacidad de infiltración
<i>Otras</i>		
Barrido de áreas circundantes	Q	

Q: Quincenal, M: Mensual, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual, >A: Mayor a un año,

SI: Según Inspección

Fuente: CIHA 2017 [10]

- *Materiales*

- *Capa superior*

La capa superficial debe ser de grava con máximo 1 cm de diámetro, con una profundidad entre 10 y 30 cm. Bajo esta capa es debe tener una barrera para la detención del sedimento antes de ingresar a la zanja. Esta barrera puede ser un estrato de arena y roca triturada (9.5 – 13 mm) [17].

- *Sistema de drenaje*

Si se considera tubería para el drenaje, se debe utilizar tubería perforada de PVC [17].

4.8 Planos

Es este apartado se muestran los planos de cada SUDS donde se señaló los datos calculados en el apartado 4.6. Los planos se encuentran en los Apéndices E. Alcorque inundable, F. Pavimentos permeables. Tanque de almacenamiento y H. Zanja de infiltración.

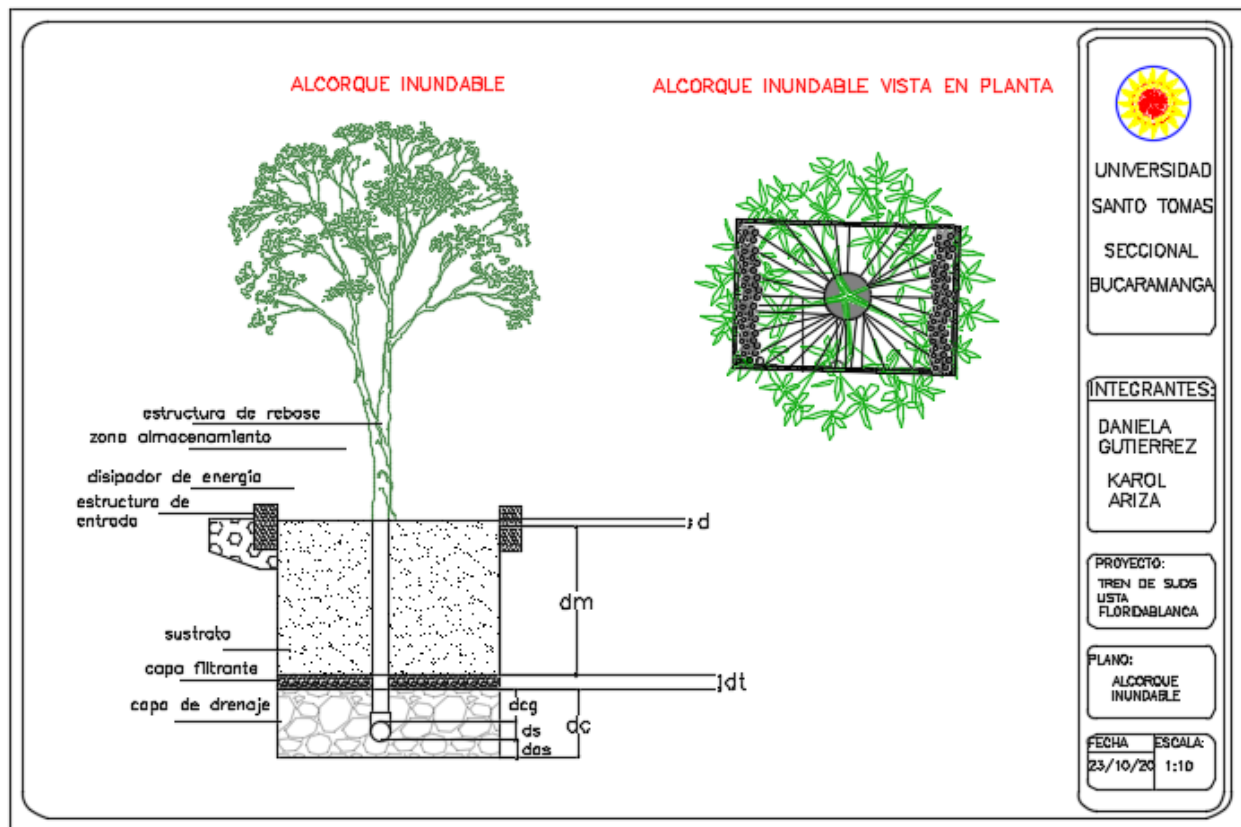


Figura 74. Apéndice E. Alcorque inundable
Fuente: Autores

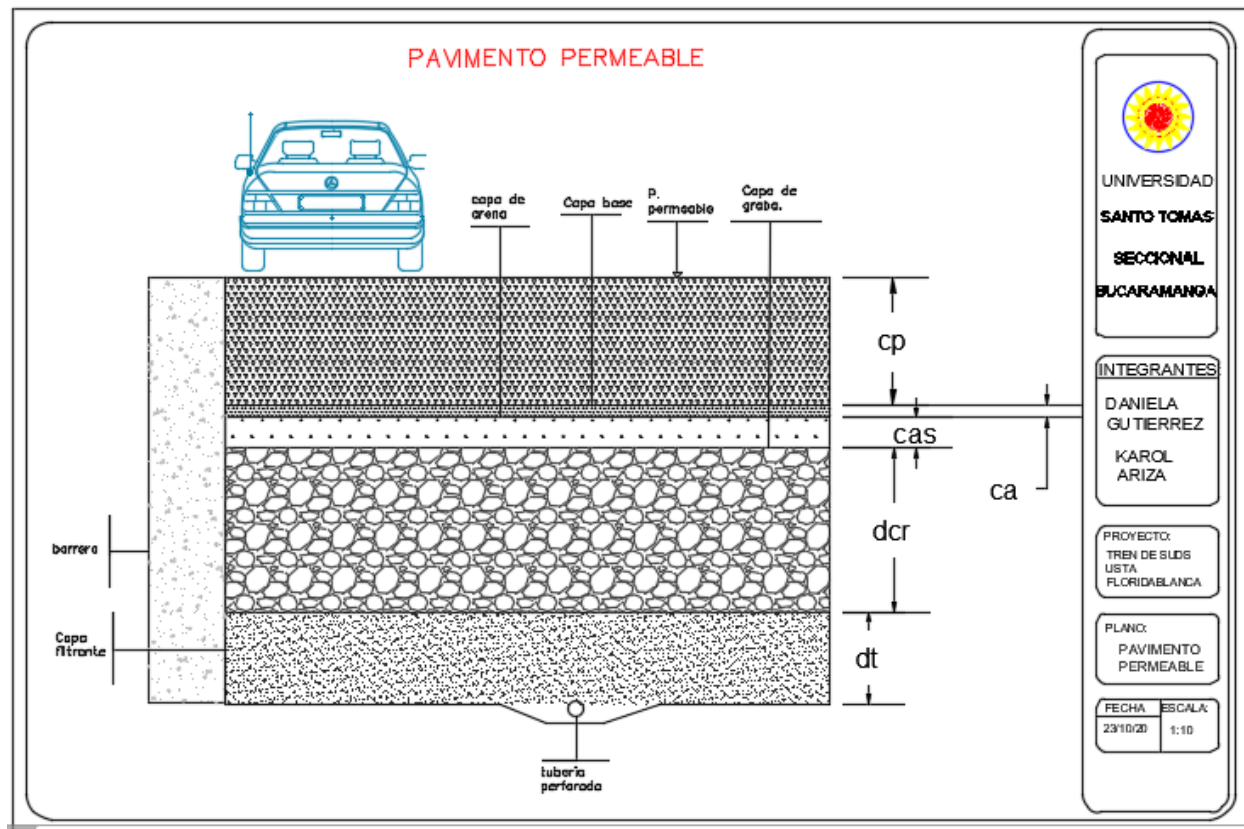


Figura 75. Apéndice F. Pavimento permeable
Fuente: Autores

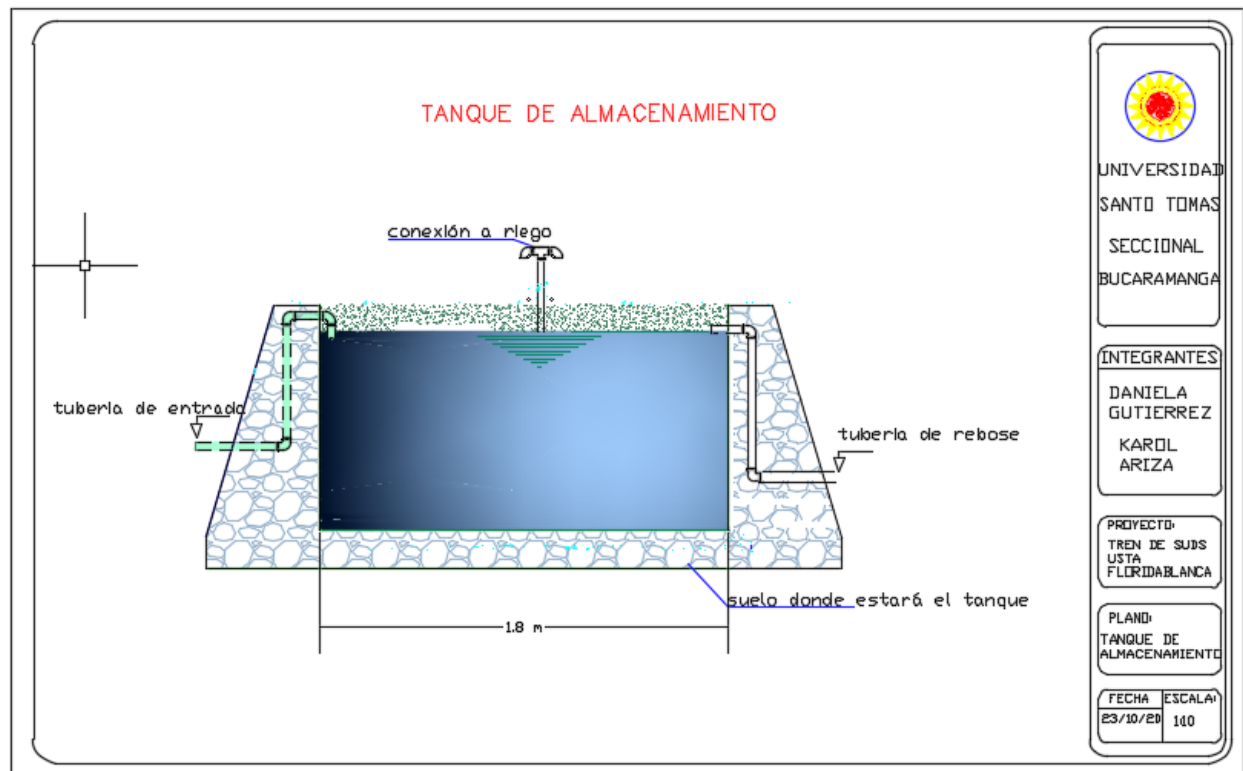


Figura 76. Apéndice G. Tanque de almacenamiento
Fuente: Autores

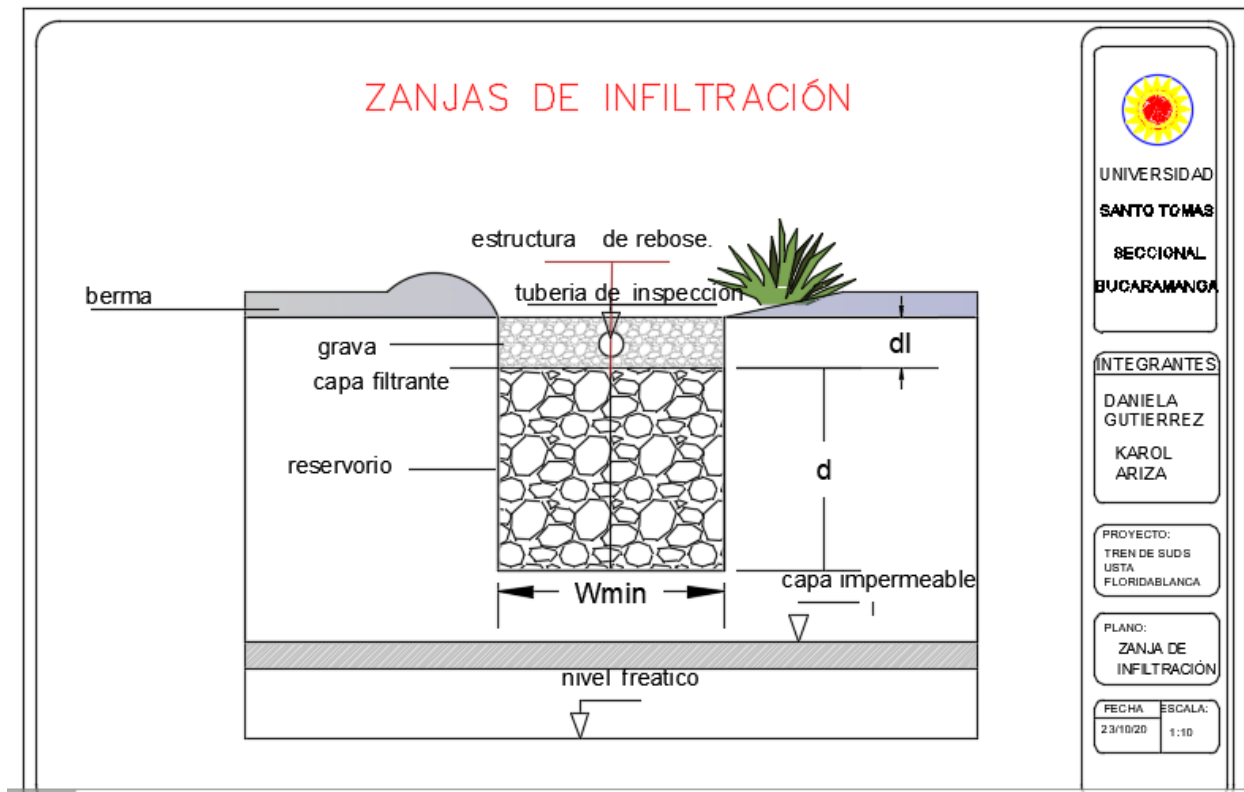


Figura 77. Apéndice H. Zanja de infiltración
Fuente: Autores

En la siguiente imagen tomada de Google Earth Pro se demarcó la ubicación de los nueve puntos críticos donde estarán ubicadas las cuatro tipologías de SUDS.



Figura 78. Universidad santo tomas con la ubicación de los SUDS
Fuente: Google earth pro

A continuación, se muestra el plano con vista en planta de la USTA en Civil3D con la localización de los SUDS según el análisis de zonas neurálgicas y diseños obtenidos.

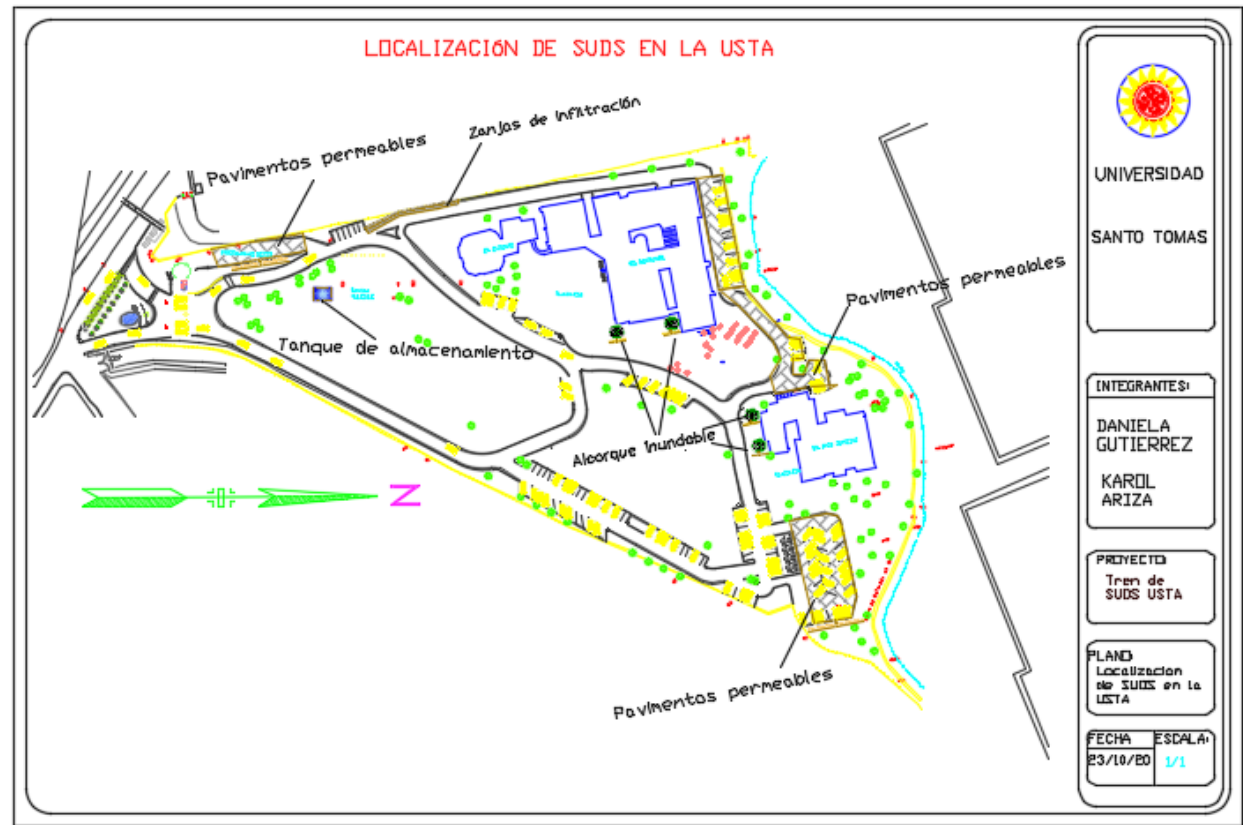


Figura 79. Universidad santo tomas con la ubicación de los SUDS
Fuente: Autores

5. Conclusiones

Para la elaboración de esta tesis fue necesarias los reconocimientos al campus que permitieron una vista amplia y específica de la problemática de cada zona, es por esta razón la importancia de estas inspecciones y la búsqueda de la información técnica del sitio, permite la posibilidad de ejecución del proyecto, ya que, al hallarse la problemática es necesaria la intervención para no generar afectaciones mayores en la USTA campus Floridablanca.

El dimensionamiento y diseño del tren de SUDS para la USTA campus Floridablanca está calculado para lograr un almacenamiento de 1.8 m^3 de agua de escorrentía, logrando cubrir la demanda mensual de 9.5 m^3 y descargando lo excesos a la quebrada Aguablanca.

Se logró un volumen total en el área de establecimiento de 7.32 m^3 por un intervalo de una hora y un caudal máximo de 5.7 l/s , por lo cual, el volumen de agua de escorrentía será conducida a través de estas estructuras de SUDS, impidiendo que en sucesos naturales de precipitaciones con altos picos de lluvia las inundaciones se vuelvan a presentar tal y como pasa en la actualidad.

La posibilidad del proyecto no es simplemente la reducción y eficacia para manejo de las aguas de escorrentía, y niveles de contaminantes, sino que también en los costos que se generan en contra parte con un sistema de drenaje convencional.

Los diseños elaborados para este proyecto se basaron para los volúmenes de agua que generan la inundación en cada zona estudiada, pero se pronostica para su posterior análisis y construcción la opción de hacer conexión al sistema existente de aguas lluvias de la zona.

Este estudio se realiza con la finalidad de demostrar la gran importancia que han llegado a tener los sistemas de drenaje no convencional, desde el punto de vista económico, ambiental y constructivo, tal y como lo exige la resolución 0330 del ministerio de vivienda, en su artículo 153.

Para próximas intervenciones de este tipo de proyectos, se recomienda determinar todas las características necesarias para identificar el análisis hidrológico de la zona y el estudio de suelos de esta, para obtener mejores resultados en la selección de las tipologías ya que en el presente proyecto debido a la emergencia sanitaria COVID 19 se usaron datos teóricos para estos cálculos.

Adicionalmente, se sugiere seguir utilizando las guías técnicas diseñadas por la Universidad de los Andes para la realización de próximos estudios, ya que, son documentos técnicos idóneos y avalados para el desarrollo de estos proyectos.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. D. D. E. Ambiente, “Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible,” 2011.
- [2] Dirección General Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “50 Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS,” 2018.
- [3] S. Perales-momparler and P. Resilient, “Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible : Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia,” no. January, 2008.
- [4] E. L. Pnud, Y. E. L. Cambio, D. Paula, and C. López, “Reforzar la acción climática para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.”
- [5] C. Clim and T. T. Del, “Cambio Climático Territorial Del,” 2016.
- [6] C. C. Posada, “La adaptación al cambio climático en,” pp. 74–80, 2007.
- [7] P. R. Integral, C. Clim, and C. Bogot, “Identificación de medidas y formulación de proyectos de mitigación y adaptación a la variabilidad y al cambio climático en la región capital bogotá-cundinamarca.”
- [8] J. Skinner, “TRCA A n a l y s t B r i e f i n g N o t e s C o n t a c t s .,” no. 416, 2010.
- [9] G. Liu, “Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, pp. 611–621, 2014.
- [10] W. Black, *COPYRIGHT CIRIA 2007 . Not for onward transmission T h e S U D S m a n u a l* *COPYRIGHT CIRIA 2007 . Not for onward transmission T h e S U D S m a n u a l*, vol. 44, no. 0. .
- [11] J. Estupiñán and H. Zapata, *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana , sede Bogotá*. 2010.
- [12] V. Te Chow, “Índice 9,” *Potencia*, pp. 1–14, 1994.
- [13] Congreso, “Constitucion politica de colombia 1991 preambulo el pueblo de colombia,” p. 108, 1991.
- [14] S. D. D. E. Ambiente, “Plan de Gestión Ambiental Regional,” vol. 8, pp. 1–4, 2015.
- [15] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, *RAS 2017,Título D - Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias*. 2016.
- [16] Departamento Administrativo de la Función Pública, “Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible,” pp. 1–426, 2015.
- [17] MADS, “Resolución 631 De 2015,” *D. Of. No. 49.486 18 abril 2015*, vol. 2015, no. 49, 2015.

- [18] P. Barros, M. Hazard, and P. Prevention, “Universidad de los andes,” vol. 16, no. 3, pp. 3–4, 2011.
- [19] D. E. B. E. S. P. E. E. S. P, S. Delegada, P. Acueducto, and A. Y. Aseo, “Evaluación Integral De Prestadores Empresa De Acueducto Y Alcantarillado,” 2018.
- [20] T. L. Saaty, “How to make a decision,” *Int. Ser. Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 175, pp. 1–21, 2012.
- [21] T. L. Saaty, “Decision making with the Analytic Hierarchy Process,” *Sci. Iran.*, vol. 9, no. 3, pp. 215–229, 2002.
- [22] A. Ammar, M. Riksen, M. Ouessar, and C. Ritsema, “Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review,” *Int. Soil Water Conserv. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 108–120, 2016.
- [23] Bhushan & K. Rai, *Strategic Decision Making. Applying the Analytic Hierarchy Process*. 2004.

Apéndices

En este apartado se incluyó documentos o información que requiere de una descripción detallada con el fin de validar los resultados que se obtuvieron.

Apéndice A. Datos hidrológicos IDEAM

Archivo en Excel denominado Datos hidrológicos IDEAM. (véase de forma externa)

Apéndice B. Metodología AHP

Archivo en Excel denominado AHP. (véase de forma externa)

Apéndice C. Plano USTA Floridablanca

Archivo en formato dwg. Denominado Plano USTA Floridablanca. (véase de forma externa)

Apéndice D. Hoja de cálculo SUDS

Archivo en Excel Hoja de cálculo SUDS. (véase de forma externa)

Apéndice E. Plano Alcorque inundable

Archivo en formato dwg. Denominado Alcorque inundable. (véase de forma externa)

Apéndice F. Plano Pavimento permeable

Archivo en formato dwg. Denominado Pavimento permeable. (véase de forma externa)

Apéndice G. Plano Tanque de almacenamiento

Archivo en formato dwg. Denominado Tanque de almacenamiento. (véase de forma externa)

Apéndice H. Plano Zanja de infiltración

Archivo en formato dwg. Denominado Zanja de infiltración. (véase de forma externa)