

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA CIVIL DISEÑO HIDRÁULICO Y  
ESTRUCTURAL PARA UN SISTEMA DE CUBIERTA VERDE APLICADO A LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS - SEDE VILLAVICENCIO**



Por:  
**Brayan Camilo Díaz Rivera**  
**Juan Pablo Hernández Ceballos**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**VILLAVICENCIO**  
**2019**

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA CIVIL DISEÑO HIDRÁULICO Y  
ESTRUCTURAL PARA UN SISTEMA DE CUBIERTA VERDE APLICADO A LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS - SEDE VILLAVICENCIO**



Por:  
**Brayan Camilo Díaz Rivera**  
**Juan Pablo Hernández Ceballos**

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de  
ingeniero civil

Aprobado por:  
**Ing. Iván Darío Acosta Sabogal, Esp, Mg (c)**  
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**VILLAVICENCIO**  
**2019**

## **AUTORIDADES ACADÉMICAS**

**P. José Gabriel MESA ANGULO, O.P.**  
Rector General

**P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O.P.**  
Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.**  
Rector Sede Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.**  
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**  
Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D.**  
Decano Facultad de Ingeniería Civil

**Nota de aceptación**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**ING. JHON JAIRO GIL PELÁEZ**  
Decano Facultad Ingeniería Civil

\_\_\_\_\_  
**I.C IVÁN DARÍO ACOSTA SABOGAL, ESP, MG (C)**  
Director Trabajo de Grado

\_\_\_\_\_  
**I.C MUÑOZ BARRAGAN JORGE ENRIQUE**  
Jurado

**Villavicencio, 26 de septiembre de 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la universidad, la cual nos brindó los conocimientos y herramientas para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto y a las entidades que nos facilitaron a largo del desarrollo del proyecto la información necesaria para llevar a cabo su desarrollo; a las personas que, con su apoyo, dedicación, sabiduría, nos guiaron y ayudaron a formar académica y profesionalmente para ejecutar de manera técnica y metodológica correcta este proyecto y de nuestra profesión.

## **RESUMEN**

Las cubiertas vegetales son un componente importante para el desarrollo urbano sostenible. El ahorro energético, la capacidad de absorber las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y la retención y aprovechamiento de aguas lluvias son factores por los cuales se emplea una cubierta vegetada en una edificación, debido a que estos ayudan a contrarrestar los principales problemas de altas temperaturas que presentan algunas de las ciudades de Colombia producto de la falta de vegetación y las diversas actividades antrópicas e industriales que cada vez son más abundantes.

El siguiente estudio se fundamenta en el diseño estructural e hidráulico de un sistema de cubierta vegetada para ser implementada en la Universidad Santo Tomás - sede Villavicencio. Durante la elaboración del mismo, se llevaron a cabo montajes experimentales y simulaciones para evaluar los volúmenes de retención de agua antes y después de haber pasado por el modelo de cubierta verde.

Como hallazgos de las acciones desarrolladas, se encontraron algunas dificultades para encontrar los sustratos óptimos que compondrían cada una de las capas del modelo de cubierta, debido a problemas de adquisición de las plantas a utilizar de acuerdo a sus características físicas y adaptación al medio climático de Villavicencio, pero finalmente se encontró una solución más económica y sustentable, donde la funcionalidad y utilidad podría ser fundamental para otras investigaciones, aprendizaje de toda la comunidad y contribución ambiental por parte de la universidad.

**Palabras Clave:** *Cubiertas ecológicas, recolección de aguas lluvia, clima, vegetación, calidad del agua, autosostenibilidad.*

## **ABSTRACT**

Green roofs are an important component for sustainable urban development. Energy saving, the ability to absorb carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions and the retention and use of rainwater are factors that use a vegetated roof in a building because these help to counteract the main problems of high temperatures that present some of the cities of Colombia product of the lack of vegetation, the various anthropic and industrial activities that are increasingly more abundant.

The following study is based on the structural and hydraulic design of a green roof system to be implemented at Santo Tomás University - Villavicencio, according to the problem of the temperature increase presented in the study area. During the elaboration of the same, laboratory tests and simulations were carried out to evaluate the quality of the water before and after passing through the green roof model.

As a result of the actions developed, some difficulties were found in finding the optimal substrates that would make up each of the layers of the cover model, due to acquisition problems of the plants to be used according to their physical characteristics and adaptation to the climatic environment. Villavicencio, but finally a more economical and sustainable solution was found, where functionality and usefulness could be fundamental for other investigations, learning of the whole community and environmental contribution by the university.

**Key Words:** *Green roofs, rainwater, rubber grain, self-sustainability, weather, vegetation, water quality.*

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	13
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	14
3.	JUSTIFICACIÓN .....	16
4.	OBJETIVOS .....	17
4.1.	OBJETIVO GENERAL .....	17
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
5.	ALCANCE .....	18
6.	MARCO DE REFERENCIA .....	19
6.1.	MARCO TEÓRICO.....	19
6.1.1	Cubiertas verdes.....	19
6.1.2	Componentes de las cubiertas verdes .....	21
6.1.3	<b>Maní forrajero (Arachis pintoi)</b> .....	22
6.1.4	Vinca .....	23
6.1.5	Clasificación de las cubiertas verdes. ....	23
6.1.6	Requerimientos de diseño mínimos .....	25
6.1.7	Sistema de losas de concreto .....	25
6.1.8	Diseño estructural.....	26
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	27
6.3.	ESTADO DEL ARTE .....	28
6.4.	MARCO NORMATIVO .....	29
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO.....	31
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA .....	33
8.	METODOLOGÍA .....	34
8.1.	ETAPA PRELIMINAR.....	35
8.2.	ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	35
8.3.	ETAPA DE DISEÑO.....	36
9.	ETAPA PRELIMINAR.....	37
9.1.	VISITA CENTRO COMERCIAL FONTANAR .....	37
9.2.	MONTAJE EXPERIMENTAL CUBIERTA VERDE.....	39
9.2.1	Primera siembra (10 – 17 de diciembre del 2018).....	40
9.2.2	Segunda siembra (09 de febrero del 2019).....	43
10.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍA HIDROSANITARIA.....	46
10.1.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	46
10.1.1	Información hidrometereológica .....	46
10.1.2	Precipitaciones .....	47
10.1.3	Histograma de precipitación .....	53
10.1.4	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) .....	61
10.2.	DISEÑO DE RED DE AGUAS LLUVIAS .....	63
10.2.1	Intensidad.....	64
10.2.2	Cálculo de caudales de aguas lluvia .....	64
10.2.3	Diseño de las bajantes.....	65
10.2.4	Dimensionamiento canales .....	65

10.3.	TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	66
11.	DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO.....	72
11.1.	PREDIMENSIONAMIENTO .....	72
11.2.	DETERMINACIÓN DE CARGAS .....	73
11.3.	ANÁLISIS DE MOMENTOS Y CORTANTES .....	74
11.3.1	Diseño a flexión .....	75
11.3.2	Diseño a cortante.....	76
11.3.3	Loseta superior .....	76
11.3.4	Riostras .....	76
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	78
13.	DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES .....	80
14.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	82
14.1.	CONCLUSIONES.....	82
14.2.	TRABAJOS FUTUROS .....	83
15.	BIBLIOGRAFÍA .....	84

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 6.1 Ventajas de las cubiertas verdes .....	19
Tabla 6.2 Desventajas de las cubiertas verdes .....	20
Tabla 6.3 Aspectos de las cubiertas autorreguladas .....	24
Tabla 6.4 Requisitos mínimos de diseño. Fuente: Guía de techos verdes de Bogotá .....	25
Tabla 6.5 Marco normativo .....	30
Tabla 7.1. Equipo de investigación y trayectoria. ....	33
Tabla 10.1. Caracterización estación hidrometeorológica. ....	46
Tabla 10.2 Resumen mensual multianual de precipitación total (mm) .....	48
Tabla 10.3 Promedios mensual multianual de precipitación total (mm) .....	49
Tabla 10.4 Resumen mensual multianual de precipitación máxima en 24 horas (mm) .....	49
Tabla 10.5 Promedios mensual multianual de precipitación máxima en 24 horas (mm) .....	51
Tabla 10.6 Resumen mensual multianual de número de días de precipitación .....	51
Tabla 10.7 Promedios mensual multianual de número de días de precipitación ...	52
Tabla 10.8 Precipitación media mensual a nivel multianual (mm) .....	53
Tabla 10.9 Precipitación media máxima en 24 horas a nivel multianual (mm) .....	54
Tabla 10.10 Número de días con precipitación mensual a nivel multianual .....	55
Tabla 10.11 Precipitación histórica total anual .....	56
Tabla 10.12 Precipitación histórica máxima anual en 24 horas .....	58
Tabla 10.13 Número de días con precipitación anual .....	59
Tabla 10.14 Valores de coeficientes para cada tiempo de retorno .....	62
Tabla 10.15 Valores de curva IDF .....	63
Tabla 10.16 Coeficientes de escorrentías de acuerdo al tipo de superficie .....	64
Tabla 10.17 Diámetros de bajantes de aguas lluvias .....	65
Tabla 11.1 Determinación de cargas cubierta verde .....	73
Tabla 11.2 Análisis de cargas .....	73
Tabla 11.3 Resumen de valores de diseño a flexión .....	77
Tabla 11.4 Resumen de valores de diseño a cortante .....	77
Tabla 13.1. Productos finales. ....	80
Tabla 13.2. Impactos del proyecto .....	81

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 6.1 Componentes de la cubierta verde. ....	22
Ilustración 6.2 Maní forrajero .....	23
Ilustración 6.3 Cubierta vegetal extensiva.....	24
Ilustración 6.4 Ubicación geográfica del municipio del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta. ....	31
Ilustración 6.5 Microzonificación de la zona de estudio.....	32
Ilustración 9.1 Centro comercial Fontanar. ....	37
Ilustración 9.2 Modelo de cubierta verde del centro comercial Fontanar.....	38
Ilustración 9.3 Base de acero para cajón de mortero .....	40
Ilustración 9.4 Cajón de mortero (simulación placa de concreto) .....	40
Ilustración 9.5 Capa de caucho molido .....	41
Ilustración 9.6 Geotextil NT (No tejido) .....	41
Ilustración 9.7 Siembra terminada y vista de las capas.....	41
Ilustración 9.8 Chequeo 18 de diciembre de 2018 .....	42
Ilustración 9.9 Chequeo 27 de diciembre de 2018 .....	42
Ilustración 9.10 Chequeo 6 de enero de 2018 .....	43
Ilustración 9.11 Montaje segunda siembra.....	43
Ilustración 9.12 Primera visita a montaje experimental de cubierta verde .....	44
Ilustración 9.13 Segunda visita montaje experimental cubierta verde .....	44
Ilustración 9.14 Capas de modelo de cubierta verde definitivo .....	45
Ilustración 9.15 Espesores finales modelo de cubierta verde.....	45
Ilustración 10.1 Ubicación estación hidrometeorológica.....	47
Ilustración 10.2 Tanque de almacenamiento de aguas lluvias .....	68
Ilustración 10.3 Implantación en planta de ubicación del tanque de almacenamiento .....	69
Ilustración 10.4 Sistema de canales de la cubierta verde .....	70
Ilustración 10.5 Modelo de cubierta verde .....	71
Ilustración 10.6 Unión de bajantes de aguas lluvias hacia tanque de almacenamiento .....	71
Ilustración 11.1 Losa nervada típica. Fuente propia.....	72
Ilustración 11.2 Geometría de la cubierta. ....	74

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 10.1 Precipitación media mensual a nivel multianual periodo (1985-2017) .....	54
Gráfico 10.2 Precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual periodo (1985-2017) .....	55
Gráfico 10.3 Número de días con lluvia a nivel mensual multianual periodo (1985-2017) .....	56
Gráfico 10.4 Precipitación total anual periodo 1985-2017 (mm).....	57
Gráfico 10.5 Precipitación máxima anual periodo 1985-2017 (mm) .....	59
Gráfico 10.6 Número de días de precipitación histórico anual .....	60
Gráfico 10.8 Curva IDF .....	63

## **1. INTRODUCCIÓN**

En Colombia las diversas actividades antrópicas y el desarrollo industrial que últimamente se ha llevado a cabo, ha traído consigo impactos positivos y a su vez ha contribuido en el crecimiento de uno de los impactos negativos más alarmante, el progresivo deterioro del medio ambiente, como se evidencia en el plan de acción de Villavicencio donde en el estudio climático y desarrollo urbano, menciona como problema la huella urbana creciente y descontrolada que trae consigo el desarrollo del municipio. La capa vegetal ha sido reemplazada por materiales compuestos como el asfalto, ladrillo y cemento.

Esto ha ocasionado un cambio significativo en el ciclo de vida de los ecosistemas del sistema trófico generando inundaciones, desastres naturales, aumento en las temperaturas base, contaminación de los recursos naturales (agua, aire, suelo), además de efectos causados por el calentamiento global. En el marco de la mitigación y adaptación frente al cambio climático, es necesario crear una preocupación en el ser humano de encontrar soluciones viables y amigables con el entorno de las ciudades, buscando mejorar el bienestar y la calidad de vida. [1]

Con este fin se realizó el siguiente estudio sobre la pertinencia que posee el diseño de un sistema de vegetación (techos verdes) el cual busca una recuperación de la biodiversidad del país por medio de la reducción de las altas temperaturas en la ciudad, captación, aprovechamiento de las aguas lluvias y la reducción en consumos de energía eléctrica y de agua, además de crear espacios verdes mejorando la calidad del aire y generando olores agradables de una manera ecológica y económica.

En el presente documento se partió del análisis de criterios establecidos para los diseños tanto hidráulicos como estructurales de las cubiertas verdes en Colombia; analizando las condiciones de las edificaciones y las condiciones climáticas actuales de la ciudad de Villavicencio. Se realizó de antemano, un diagnóstico acerca de la situación climatológica del municipio, recopilando información de las respectivas entidades gubernamentales, especificaciones técnicas y legislativas establecidas para la construcción de un sistema estructural de cubierta verde. Se solicitaron los planos estructurales de la zona de estudio para hacer el correcto análisis estructural y diseñar y modelar la estructura de cubierta más óptima que cumpliera con las especificaciones de la NSR-10.

De igual forma, teniendo en cuenta el estudio climatológico del objeto de estudio y se realizó el diseño hidráulico del sistema de recolección de aguas lluvias y de su correcto almacenamiento y distribución. Finalmente, de acuerdo del tipo de estructura vegetal se diseñó de igual forma un plan de mantenimiento con el fin de preservar y llevar un monitoreo y control al estado de cada uno de los elementos que componen la misma.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Últimamente, las actividades antrópicas relacionadas a la industrialización, producción de desechos, procesos de desarrollo urbanísticos (edificaciones y carreteras), entre otros factores afectan y aceleran el progresivo deterioro del medio ambiente y contribuyendo al incremento del calentamiento global. Cada uno de estos procesos se encuentra influenciado por la presencia de CO<sub>2</sub>, y gases que producen el efecto invernadero y consecuente a esto, altera la climatología de cada ecosistema existente en las ciudades [2].

La problemática del calentamiento global ha incrementado en la última década la temperatura promedio de cada lugar provocando aumento en el consumo de energía eléctrica y del recurso hídrico, además de problemas en la salud de las personas; en el ambiente, generando desastres naturales, escasez de agua, desertificación, lo cual también afecta el sector agricultor. [3]

Colombia está inmersa ante estas situaciones debido a su ubicación geográfica y a las características estratigráficas que poseen los suelos, los cuales se encuentran inestables y susceptibles a la erosión además de presentar una alta recurrencia de desastres asociados al clima. Diversas entidades como el Ministerio de Ambiente, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) se han concientizado y han intentado mitigar los efectos del calentamiento global a partir de políticas y proyectos ambientales como el protocolo Kioto entre otros que apuntan a la recuperación de la vegetación que hace algunos años el país tenía en su poder y a los objetivos del milenio.

La ciudad de Villavicencio por su posición geográfica es una ciudad con temperatura alta cuyo promedio diario es de 31°C entre los meses de enero y abril, donde históricamente la ciudad ha alcanzado temperaturas de hasta 36°C o 38°C [4], lo que hace que se le considere el efecto de isla de calor, término el cual se ajusta debido a que estas altas temperaturas han sido causadas debido al uso de materiales oscuros que almacenan el calor solar y lo emanan lentamente, por ejemplo el desarrollo vial, la ampliación de los sectores urbanísticos, lo que genera altos consumos de energía eléctrica en la ciudad en los meses calurosos, por la búsqueda de temperaturas adecuadas [5].

El consumo de agua es otro factor preocupante durante estas temporadas de temperaturas máximas de la ciudad, cada usuario consume en promedio 220 litros de agua al día, muy por encima al promedio de consumo de agua por habitante de la ciudad de Bogotá que está cercano a los 150 litros de agua al día [6].

Ante tal problemática, surgió la necesidad del uso de alternativas como las cubiertas verdes las cuales mitiguen los efectos e impactos negativos que genera el

calentamiento global y transformen los gases de efecto invernadero y el CO<sub>2</sub> en oxígeno a través del proceso de fotosíntesis. La pregunta de investigación a la cual apuntó el estudio fue, ¿cuál es el diseño de cubierta vegetal más adecuado que optimice el aprovechamiento de captación, almacenamiento y distribución de las aguas lluvias en la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La alta concentración de zonas impermeables, con poca vegetación y con altas tasas de contaminación atmosférica, en las zonas municipales de Colombia, es hasta hoy una problemática latente debido a que ha aumentado el consumo y desperdicio de agua potable y de energía eléctrica [5], además de generar algunos tipos de enfermedades a causa de esto, y el desconocimiento de los beneficios que traen la implementación de las cubiertas verdes.

De acuerdo a lo anterior, teniendo en cuenta la zona donde se encuentra ubicada la universidad Santo Tomás, el cual se encuentra aledaño a un humedal, las diversas problemáticas que se han visto causadas por la intensidad de las precipitaciones, como inundaciones en algunas zonas de la edificación, se pretende en primer lugar restaurar las áreas verdes perdidas a causa de la construcción, aprovechar las aguas lluvias para otros usos, y reducir los niveles de agua generados en época de mayor precipitación y así evitar posibles futuras problemáticas de inundación en la universidad.

Es necesario dejar en claro la pertinencia e impacto positivo que posee el uso de esta tecnología al traer beneficios en cuanto a fauna y flora, al medio ambiente, el desarrollo urbano, un aire más puro, calidad de vida, mejores condiciones de salud y lo más importante volver a ver los espacios verdes que a través del tiempo se han ido extinguiendo debido a la demanda infraestructural social. *“En sí la implementación de estas cubiertas podría ayudar además de la generación de oxígeno y disminución de las altas temperaturas a”* [1]:

- Protección y conservación de la biodiversidad.
- Prolongación de la vida útil de las cubiertas tradicionales de las edificaciones.
- Regulación de la escorrentía de las aguas lluvias y aprovechamiento de ellas.
- Disminución del consumo eléctrico y contaminación auditiva, visual y del aire.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el sistema estructural e hidráulico de un modelo de cubierta verde aplicado a la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, teniendo en cuenta su capacidad estructural y requisitos mínimos de diseño.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el comportamiento climatológico de la ciudad con base en los datos recogidos del IDEAM para evaluar las variables de diseño a tener en cuenta en el diseño de cubierta verde.
- Establecer un modelo de cubierta verde óptimo mediante pruebas experimentales que permitan determinar si cumple con las especificaciones estructurales de la edificación que servirá de apoyo.
- Determinar un sistema de recolección, conducción y almacenamiento de agua lluvia, a partir de datos recolectados de manera teórica y práctica.
- Establecer el dimensionamiento y características de la estructura de losa de concreto sobre la cual se apoyará el diseño de cubierta verde.

## **5. ALCANCE**

El principal fin de este proyecto es realizar un modelo de cubierta verde que cumpla con los requisitos mínimos estructurales para una edificación de uso institucional, generando un impacto social, ambiental y económico favorable, realizando los cálculos y diseños estructurales e hidráulicos, haciendo énfasis en el aprovechamiento de las aguas lluvia y mejoramiento de la calidad ambiental obtenida al hacer uso de este sistema dirigido a la Universidad Santo Tomás de Aquino, sede Villavicencio.

El estudio posee dos tipos de alcance. El primero es un alcance de tipo descriptivo ya que en un primer momento se va a describir la capacidad de carga de la edificación a partir de sus diseños estructurales, el sistema de cubierta verde adecuado que se va a emplear con sus diferentes capas, características y especificaciones técnicas y legales, el diseño de su captación y distribución de agua lluvia así como su variación por las diferentes cargas generadas por aguas lluvias en las temporadas de invierno del municipio, también el respectivo cuidado y mantenimiento necesario.

El segundo es un tipo de alcance de tipo correlacional, ya que, al momento de realizar una descripción detalladas de cada una de las variables y factores encontrados para solucionar la problemática, se entrará a conocer la relación o grado de asociación que poseen las variables entre sí y cómo afectan la zona de estudio, para así hacer un análisis e identificar cuál será el diseño óptimo de cubierta necesario para el objeto de estudio.

Entregando a la ciudad una propuesta real, clara y concisa para la solución de problemas ambientales de manera adecuada y sostenible que puede ser tomada en cuenta en el futuro.

- Caracterización del municipio y zona de trabajo.
- Diseños estructurales de la estructura.
- Afectación estructural a partir de las nuevas cargas y sus soluciones.
- Modelo de cubierta verde más adecuado para la situación.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1. MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1 Cubiertas verdes

También conocidos como techos verdes, techos ecológicos, azoteas vivas, entre otros, “es una manta vegetal que se puede instalar sobre los techos de las edificaciones nuevas o existentes para impermeabilizar, aislar térmicamente, manejar las aguas lluvias, valorizar la construcción, y aumentar las áreas verdes de la ciudad” [2], estas cubiertas pueden ser de diferentes tipos dependiendo la necesidad y las características de la zona.

Las cubiertas verdes son construidas con el fin de contribuir a un medio ambiente y urbano sostenible, generando y posibilitando espacios verdes útiles y bellos estéticamente, siguiendo con la búsqueda del país en proyectos ecológicos y sostenibles, que permita “un desarrollo ambiental, económico y social, y mejorando así la calidad de vida de la población” [7]. A su vez, las cubiertas verdes poseen unas ventajas y desventajas de acuerdo a los impactos físicos y ambientales en los cuales se ven involucrados, en la Tabla 6.1 y 6.2 se presentan las ventajas y desventajas que poseen estos modelos de cubierta.

Tabla 6.1 Ventajas de las cubiertas verdes

Ventajas	Edificación	Medio ambiente y sociedad.
Reducción de superficies pavimentadas.		X
Limpieza del aire.		X
Producción de Oxígeno, consumo Co2.		X
Reducción remolino de polvo.		X
Regulación de la temperatura.	X	X
Regulación de la humedad.	X	X
Protección de la membrana impermeable, vida útil.	X	
Efecto de aislación térmica.	X	
Protección térmica en verano.	X	
Aislación acústica.	X	
Capacidad de retención de agua.	X	
Percepción de aromas.	X	X
Efectos estéticos y psicológicos.	X	X
Integración con el paisaje.		X
Espacio vital para insectos.		X
Reducción de uso de servicios (agua y luz).	X	

<b>Ventajas</b>	<b>Edificación</b>	<b>Medio ambiente y sociedad.</b>
Flexibilidad para incorporación de nuevos sistemas sostenibles (producción energía solar y eólica)	X	X
Reduce el tratamiento de aguas residuales		X
Recarga acuíferos subterráneos		X
Promueve la agricultura urbana		X
Incremento valor del edificio	X	
Posibles beneficios tributarios	X	
Posible certificación LEED	X	

Fuente: Ecotelhado, 2018

Tabla 6.2 Desventajas de las cubiertas verdes

<b>Desventajas</b>
Exige unos requisitos estructurales
Tiene que tener en cuenta la estructura y el diseño de la vivienda
Algunos edificios o viviendas ya existentes, no pueden ser modificados
Costos de materiales e implementación
Costos de mantenimiento
El clima y las condiciones ambientales extremas pueden afectar las condiciones para el desarrollo de la estructura vegetal
Desconocimiento del tema
Factores normativos, donde hasta ahora se está implementando y no hay una legislación sobre el tema

Fuente: Ecotelhado, 2018

Por otro lado, estudios e investigaciones realizadas recientemente en este campo han concluido que, por medio de las cubiertas verdes, se han generado las siguientes ventajas para las ciudades [8].

#### ***Ventajas ecológicas:***

- Retención de aguas
- Mejoramiento del clima urbano
- Reducción de la contaminación
- Espacios de mayor vitalidad

#### ***Ventajas económicas:***

- Prolongación vida útil de las cubiertas de edificaciones.
- Ahorro de energía
- Superficie libre utilizable
- Aprovechamiento de la biodiversidad local.

### 6.1.2 Componentes de las cubiertas verdes

*Impermeabilización:* Esta capa es la que se encarga de garantizar que el agua no llegue al techo, y previniendo futuras humedades en las cubiertas.

*Protección anti-raíz:* Esta capa se debe asegurar que las raíces no traspasen la capa impermeabilizante, ni causar daños a la estructura que soporta la cubierta. “Es importante aclarar que para cubiertas intensivas se debe evaluar la colocación de una doble barrera anti-raíz, debido a la gran fuerza de estas plantas”. [9]

*Drenaje:* Esta capa debe proteger el sistema de impermeabilización, así como la estructura soportante, está compuesta por tableros de desagüe y/o tubos que remueven el agua del sistema, permitiendo que suficiente agua permanezca para sustentar la vida vegetal.

“Es importante garantizar como mínimo una pendiente de 1% en techos planos para que ayude al sistema de drenaje, en cubiertas inclinadas la gravedad y el uso de canaletas basta para este control, en la selección de materiales es necesario el uso de aquellos que no se degraden y pierdan su capacidad de drenaje para así evitar inconvenientes futuros”. [9]

*Filtro:* Capa compuesta por un material liviano colocado encima o entre las capas de drenaje para retener el medio vegetal de crecimiento en su lugar y así evitar que las partículas finas bloqueen el sistema; “esta capa puede servir como una barrera anti-raíz adicional” [10]. Generalmente son utilizados geotextiles que cumplan con esta función en la cubierta variando las especificaciones de acuerdo a los objetivos de la cubierta.

*Sustrato:* Es una de las capas más importante y de las de mayor cuidado en su selección en el sistema, esta varía de acuerdo a la vegetación necesitada, y es la que aporta mayor peso a la estructura, depende netamente del tipo de proyecto.

*Capa vegetal:* Esta capa es donde se desarrolla la vida vegetal, y la elección de esta depende de factores climáticos de la zona, precipitaciones, la resistencia de esta ante los vientos, las temperaturas extremas, el espesor del sustrato entre otras. Existen diferentes opciones para la vegetación de una cubierta:

- Sedum comportamiento superior a la mayoría de los diversos grupos de plantas.
- Semillas permite la distribución pareja de las plantas
- Gajos tipos de sedum que suelen cultivarse con trozos cortados de otras plantas
- Rollos de césped prefabricados pueden ser una opción, aunque necesitan del mismo mantenimiento que el natural y agrega mayor espesor de sustrato

- Mantas de Vegetación en hilos o mallas trenzadas que contienen diferentes tipos de plantas según los requerimientos.
- Planta viva, Plantación directa de las especies escogidas para la cubierta. [9]

*Estructura soportante:* Es la superficie que soporta la cubierta vegetal y su peso máximo en estado de saturación, normalmente son losas en hormigón armado o elementos prefabricados en madera o metal; de esta depende la capacidad y la escogencia del tipo y uso de la cubierta teniendo en cuenta la capacidad de la estructura soportante.



Ilustración 6.1 Componentes de la cubierta verde.

Fuente: Efectos del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento de un edificio, 2014.

### 6.1.3 Maní forrajero (*Arachis pintoi*)

Esta leguminosa herbácea, perenne es originaria de América del sur, su principal característica es la Resistencia a diferentes condiciones climáticas y suelos, su mayor fortaleza es su resistencia al ataque de plagas y enfermedades, lo que la sitúa como una planta con bajos requerimientos de mantenimiento y de plantación. Entre sus características tenemos las siguientes:

- Leguminosa perenne, rastrera y estolonífera.
- Adaptación 0 - 1800 msnm
- Profundidad de siembra 1 - 2 cm
- Fertilidad del suelo baja-media-alta.
- Altura entre 20 - 40 cm
- Presenta floración continua color amarillo
- Temperatura entre 17-27°C



Ilustración 6.2 Maní forrajero  
Fuente: Autor

Por sus peculiares características, disponibilidad de la misma en la región y requerimientos de la cubierta el maní forrajero cumple de gran manera con el perfil buscado en la vegetación a utilizar en la cubierta para garantizar una correcta funcionalidad de la cubierta a través del tiempo con el menor costo posible tanto en mantenimiento como en ejecución.

#### 6.1.4 Vinca

Es una planta cuyas características son ideales para cubrir zonas del jardín, como taludes, por su espesura. Las hojas de ella son perennes, ovaladas, de pequeño tamaño y permanecen siempre verdes. Las flores, de color malva o azul claro, tienen cinco pétalos y florecen en primavera. Lo cierto es que el tono de las flores puede variar dependiendo del tipo de suelo en la que se planten.

*“La vinca es una planta a la que no le gusta las temperaturas bajas, aunque tolera el frío y las heladas. Se adapta a cualquier tipo de suelo, que deberá mantenerse ligeramente húmedo, y que abonaremos cada quince días durante la primavera y el verano. En otoño y primavera es recomendable colocar un mantillo orgánico”.* [11]

#### 6.1.5 Clasificación de las cubiertas verdes.

Existen diferentes tipos de clasificación de cubiertas verdes estas pueden ser a partir de peso, sustrato, inclinación, forma, función todos estos para garantizar un correcto uso de estos y garantizar así su funcionalidad de acuerdo al objetivo a realizar.

- *Cubiertas verdes extensivas: “Son de bajo peso su espesor de sustrato entre 5 –10 cm, tienen poca diversidad de plantas se utilizan plantas resistentes a temperaturas extremas, y fuertes vientos, son los de menor costo y menor necesidad de mantenimiento, el sistema extensivo puede tener un peso de entre 80 - 160 Kg/m<sup>2</sup>”* [12] dependiendo de esto se debe revisar

si es o no necesario un refuerzo estructural para el soporte de esta nueva carga para edificios ya construidos, para edificios nuevos estas cargas son incluidas en el diseño y es construido capaz de soportar la cubierta.

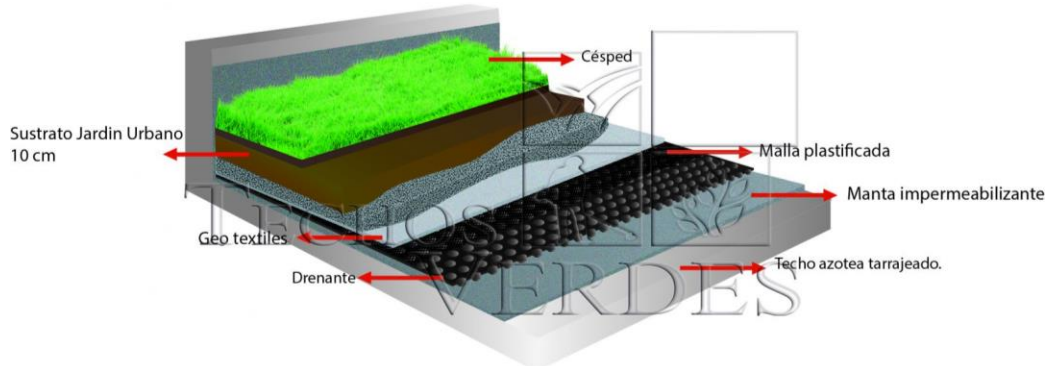


Ilustración 6.3 Cubierta vegetal extensiva.

Fuente: Techos verdes

- *Cubiertas verdes tipo intensivo:* Este tipo de cubierta son mucho más pesadas y costosas a las anteriores se utilizan para plantas más vivaces, por esto necesitan de un mayor mantenimiento y cuidado, la capa de sustrato cultivable puede ser desde los 15 cm hasta 30 cm o más, “lo recomendado son pendientes de pequeñas, aunque hay intensivos en pendientes de hasta el 40%” [1]. “Este tipo de cubierta puede aportarle a la estructura una carga entre 180 y 400 Kg/m<sup>2</sup>” [12], dependiendo de la finalidad de la cubierta, debido a estas cargas es necesario realizar el análisis estructural de la edificación para saber que carga puede soportar o si es necesario un refuerzo para soportar estas cargas, por esta razón la cubierta intensiva es recomendable principalmente para edificios en diseño, no ya construidos.
- *Cubiertas verdes autorreguladas:* Son cubiertas simples, tiene como fin mantener una cobertura vegetal sobre la edificación con el mínimo de materiales, peso inversión económica e intervenciones de mantenimiento necesarias, se debe incorporar vegetación dadas a este tipo de condiciones, que no necesiten de riego adicional al generado por las lluvias ni de cuidados extras pero que puedan mantener su vitalidad.

Tabla 6.3 Aspectos de las cubiertas autorreguladas.

<b>Características básicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autorregulación</li> <li>• Autosostenibilidad</li> <li>• Ligereza</li> </ul>
<b>Funciones básicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estanqueidad</li> <li>• Drenaje efectivo</li> <li>• Retención de agua</li> <li>• Estabilidad</li> <li>• Nutrición</li> </ul>

<b>Prestaciones básicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de volumen de escorrentía</li> <li>• Atenuación de caudal de evacuación</li> <li>• Aislamiento térmico y acústico</li> </ul>
<b>Características de componentes activos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor medio de crecimiento de 20 – 120 mm</li> <li>• Altura máxima de cobertura vegetal de 50 cm</li> </ul>

Fuente: Guía de techos verdes en Bogotá, 2016

### 6.1.6 Requerimientos de diseño mínimos

Tabla 6.4 Requisitos mínimos de diseño. Fuente: Guía de techos verdes de Bogotá

<b>Características técnicas mínimas recomendadas para la implementación de cubiertas verdes</b>		
Requisitos mínimos de obligatorio cumplimiento	Operatividad del sistema de cubierta verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estanqueidad</li> <li>• Drenaje</li> <li>• Retención de agua</li> <li>• Estabilidad mecánica</li> <li>• Nutrición</li> <li>• Filtración</li> </ul>
	Cubierta verde implementada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economía</li> <li>• Durabilidad</li> <li>• Estabilidad y resistencia mecánica</li> <li>• Estabilidad biológica y vitalidad</li> <li>• Continuidad operativa</li> </ul>
	Inmueble intervenido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integridad del inmueble</li> <li>• Compatibilidad funcional con el inmueble</li> </ul>
	Estructura ecológica principal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad ecológica</li> <li>• Servicios ambientales prioritarios</li> </ul>
Prestaciones avanzadas recomendadas	Prestaciones avanzadas de los sistemas de cubiertas verdes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligereza</li> <li>• Autorregulación y bajo mantenimiento</li> <li>• Aislamiento térmico y acústico</li> </ul>
Prestaciones especiales para posibles futuros incentivos	Prestaciones especiales de los sistemas de cubierta verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de evapotranspiración</li> <li>• Reducción de volumen de escorrentía</li> <li>• Reducción del caudal de descarga</li> <li>• Captura de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes</li> <li>• Emisión de oxígeno</li> <li>• Restauración ecológica</li> </ul>

### 6.1.7 Sistema de losas de concreto

Los sistemas de losas de concreto son componentes estructurales que tienen gran importancia en las edificaciones, en las que las fuerzas son perpendiculares al plano principal, es decir, derechas y se encuentran dominadas por la flexibilidad. La losa

de concreto armado tiene la intención de servir de separación entre pisos y al mismo tiempo, servir como soporte para las cargas de ocupación como son cargas vivas y cargas muertas. *“Físicamente se compone de concreto y acero de refuerzo. El concreto absorbe los esfuerzos de compresión y el acero los de tracción”*. [13]

Debido a la naturaleza de los sistemas de techos verdes que incluyen cargas relativamente altas debido a los suelos saturados por la retención de agua, estas condiciones son de gran importancia y análisis. Al calcular el peso adicional que deberá soportar la edificación, debe incluirse el peso total del sustrato y de la vegetación en condiciones de saturación. Para lo anterior se hace necesario el uso de losas de concreto estructural.

Los soportes estructurales de concreto se consideran más apropiados para la instalación de techos verdes, dado que cuando son fabricados en concreto tienen mayor fuerza y rigidez, mejor resistencia al ingreso del agua y a la corrosión. *“Este tipo de losas deben ser usadas en todos los casos en que el modelo de cubierta verde supere los 15 cm de espesor, aunque se hace necesario mencionar que estas cubiertas podrían deflectarse debido a cargas sostenidas durante un periodo largo de tiempo”* [12].

Es importante que la estructura de losa sea diseñada en condiciones de soportar las cargas que se generan por el peso de las cargas muertas (ductos, equipos, etc). Para lo anterior se tiene como base la NSR-10.

### **6.1.8 Diseño estructural**

El diseño del techo verde consiste en verificar que la estructura de la edificación pueda soportar las cargas que se le van a imponer, este trabajo debe ser realizado por una persona apta, con experiencia, preferiblemente un ingeniero estructural.

Para el caso cuando se desea instalar la cubierta verde en una edificación existente el ingeniero debe realizar un análisis estructural, y con base en el resultado obtenido diseñar la cubierta para que sea compatible con las características de la estructura. Si la estructura en la que se va a instalar el techo verde es nueva, el diseño estructural deberá contemplar las cargas que le serán impuestas por el techo verde. *“Si los requerimientos de dicho sistema son altos o el costo de construcción es muy elevado se debe rediseñar la cubierta verde”*. [14]

Un edificio con techo verde debe cumplir con todos los criterios estructurales que exigen las normas de construcción de cada país, teniendo en cuenta los requisitos específicos para ciertas zonas del país, como los vientos etc. tanto el sistema estructural como los componentes que generen carga deben estar diseñados de acuerdo con dichas normativas.

*“Para el diseño de los techos verdes como tal se deben evaluar las siguientes condiciones” [14]:*

Las losas consisten en la combinación prefabricada o fundida en sitio de nervaduras o viguetas espaciadas regularmente y una losa superior que también actúa en una dirección con algunas especificaciones del sistema que se encuentran establecidas en la NSR-10.

Los nervios o viguetas no deben tener un ancho inferior a 100 mm y su altura libre no debe ser mayor a 5 veces el espesor promedio del nervio o vigueta.

La loseta superior para el caso de fundida en sitio, debe tener más de 45 mm de espesor, pero no menos de 1/20 de la distancia libre entre los nervios y debe estar complementada con refuerzo de repartición y temperatura correspondiente, colocado perpendicularmente con las viguetas. En forma general, se recomienda que el espesor de la loseta superior sea mínimo de 50 mm.

La separación máxima entre nervios medida desde los ejes centrales de las mismas, no exceda a 2.5 veces el espesor total de la losa o no ser mayor a 1.20 m

El recubrimiento mínimo del refuerzo será de 20 mm y la distancia libre será de 25 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, la armadura máxima que puede tener una vigueta de 0.10 m de ancho será de 2 barras N° 5. (5/8")

Se deben colocar viguetas transversales de repartición en sentido ortogonal a las de diseño, distribuidas uniformemente para arriostrar la losa en este sentido, y esta separación entre riostras debe ser máximo 10 veces el espesor total de la losa, sin exceder los 4 m.

*“En cuanto al análisis y diseño para cargas verticales, de acuerdo a la NSR-10, las losas que trabajan en una dirección pueden analizarse y diseñarse como losas continuas sobre apoyos simples con luces iguales entre los ejes de las vigas o con luces iguales a las luces libres si es que se puede no tener en cuenta el ancho de las vigas y su efecto torsional”. [15]*

## **6.2. MARCO CONCEPTUAL**

La captación de agua de lluvia hace referencia al transporte y almacenamiento del agua lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser las cubiertas de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc, o simplemente pueden ser infiltradas en el terreno.

El agua almacenada puede ser usada para con cualquier objeto, siempre y cuando dicha agua sea tratada de la manera adecuada para cada uso, es decir, para usos básicos como de ropa, de pisos, sanitarios y riego puede usarse un filtro muy sencillo; *“en cambio para aseo personal y para agua que se pretenda beber, se deberá tener un sistema de filtros mucho más complejo, adecuados para estos fines”* [16].

Los sistemas de drenaje urbano, ayudan a mitigar los impactos generados la escorrentía. Su implementación de estos sistemas busca mejorar condiciones de infiltración, intercepción y evapotranspiración, regresando las condiciones de la cuenca urbana a aquellas previas a la urbanización. *“Además, estos sistemas se caracterizan por tener una capacidad de almacenamiento, la cual evita que grandes volúmenes de escorrentía lleguen a fuentes receptoras como ríos, lagos y humedales”*. [17]

Uno de los sistemas de drenaje urbanos con grandes beneficios son las cubiertas verdes que como su nombre lo indica, se instalan sobre los techos de edificaciones. y en comparación con otros SUDS, esta ubicación les da una ventaja privilegiada al no tener que disponer de metros cuadrados adicionales para su implementación que es una variable que influye en la toma de decisiones para la utilización de estos sistemas de drenaje.

### **6.3. ESTADO DEL ARTE**

La bibliografía existente sobre estudios que se han realizado alrededor del mundo sobre esta metodología ambiental es bastante y se ha dado a conocer y ha generado interés e iniciativa hasta el día de hoy para construir un país más eco sostenible. En Canadá, se realizó un estudio sobre la regulación y retención del agua lluvia en las cubiertas (techos), protección y durabilidad, reducción de la temperatura, calidad del agua y del aire y aumento de la biodiversidad. De este estudio se concluyó que la composición y el carácter de la vegetación de techo verde dependen de muchos factores. En gran medida, la profundidad del sustrato dicta la diversidad de la vegetación y el rango de posibles especies. Las profundidades de sustrato poco profundas entre 2 y 5 cm tienen tasas más rápidas de desecación y están más sujetas a fluctuaciones en la temperatura, pero pueden soportar comunidades simples de Sedum-musgo. Las profundidades de sustrato de 7 a 15 cm pueden soportar mezclas más diversas de pastos, geófitos, alpinos y plantas perennes herbáceas tolerantes a la sequía, pero también son más hospitalarias para las malezas indeseables.

Por otro lado, en Taiwan, se realizaron estudios con treinta y una (31) especies vegetales de diferente origen, para analizar las características que tenían cada una de resistencia a la intemperie y la contribución que tienen a la regulación y disminución de temperatura en los hogares.

Los resultados de este estudio muestran que las plantas adecuadas para techos verdes de capa delgada resisten las condiciones de sequía a través de mecanismos fisiológicos como el follaje suculento, las cutículas superficiales, las sustancias mucilaginosas, los pelos o las espinas y el metabolismo del ácido crassulaceano (CAM). Las plantas que crecieron bien provinieron de las familias Crassulaceae, Euphorbiaceae y Portulacaceae. Cuando se midió la efectividad de la reducción de la temperatura con respecto a la altura de la planta, las mejores reducciones de temperatura ocurrieron en plantas de 35 cm, seguidas de plantas de 15 cm y luego de 10 cm.

Las plantas de hojas verdes tienen mejores efectos de reducción de la temperatura que las plantas de hojas púrpuras / rojas. Las plantas sugeridas en este estudio son adecuadas para regiones con climas subtropicales. La selección de plantas de techo verde de capa delgada que resistan la sequía, sobreviva bien y disminuya la temperatura de manera efectiva puede utilizar adecuadamente los recursos hídricos y comprender conceptos de construcción ecológica como la ecología, la conservación de la energía, la reducción de las emisiones de carbono y la conservación del agua.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Villavicencio no se encuentran las plantas mencionadas en el anterior estudio, pero sí existen registros de plantas que provienen de las mismas familias, se toma en consideración que una de las características óptima que deben tener las plantas es que no posean flores, es decir, que sean plantas herbáceas con estructura o tejidos gruesos.

Ya en nuestro país, esta metodología ha sido bien aceptada, siendo Bogotá la ciudad que más ha desarrollado proyectos en este campo. La Universidad Nacional ha trabajado en el diseño de cubiertas vegetales para 3000 m<sup>2</sup> en una serie de edificios y bodegas cerca al aeropuerto El Dorado, creando una empresa especializada en el diseño, construcción de techos verdes. Además de eso, Bogotá ha creado políticas y normas las cuales obligan a proyectos de infraestructura a implementar diseños de cubiertas verdes.

#### **6.4. MARCO NORMATIVO**

En realidad pocos países tienen pautas y reglamentaciones para la implementación de cubiertas verdes, los principales son Alemania y Canadá, siendo pioneros en estas prácticas, sin embargo estas normativas se acomodan a sus factores climáticos, los cuales son muy diferentes a los de nuestro país, por eso no se pueden tener en cuenta, sin embargo la ciudad de Bogotá ha publicado una guía técnica para la implementación de cubiertas verdes en la ciudad, basado en sus proyectos y se ha reglamentado la utilización de estos para la construcción de nuevos edificios públicos, las demás normativas que deberá cumplir las cubiertas verdes son las estructurales e hidráulicas determinadas por cada país.

Tabla 6.5 Marco normativo

<b>Título de la Norma</b>	<b>Entidad</b>	<b>Artículos o numerales</b>	<b>Resumen de la norma</b>
<b>Ley 164 de 1994</b>	Congreso de Colombia	Art 3°y 4°	Donde se aprueba la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, nombrando los principios y compromisos para el cumplimiento de este y la prevención del cambio climático.
<b>Ley 629 del 2000</b>	Congreso de Colombia	Art 2° y 3°	Adaptación del protocolo Kioto en Colombia, reducción de CO <sub>2</sub> y buscar sostenibilidad.
<b>Ley 788 de 2002</b>	Congreso de Colombia	Art 78°	Deducción de impuestos por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente.
<b>NSR-10</b>	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Capitulo A.9	Elementos no estructurales cubiertas.
<b>NSR-10</b>	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Capitulo B.3, B.4 y B.6	Cargas muertas, vivas de elementos no estructurales (Cubiertas) y generadas por los vientos.
<b>NSR-10</b>	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Título C-13	Sistema de losa en uno y dos direcciones
<b>Acuerdo 391 de 2009</b>	Concejo Bogotá D.C	Art 2°	Plan distrital de cambio climático, incluye la generación de nuevos pulmones verdes.
<b>Plan de Desarrollo Territorial Ciudad de Villavicencio</b>	Concejo municipal de Villavicencio	Capítulo 3- Art 13°	Búsqueda de nuevas zonas verdes en la ciudad.
<b>Plan de Desarrollo Territorial Ciudad de Villavicencio</b>	Concejo municipal de Villavicencio	Capítulo 4 – Art 34°	Reducir de la manera posible el efecto isla de calor, proteger el aire,
<b>Plan de Desarrollo Territorial Ciudad de Villavicencio</b>	Concejo municipal de Villavicencio	Capítulo 6 – Art 243°	Generar y apoyar proyectos de sostenibilidad y reducción de cambio climático.
<b>Guía de techos verdes en Bogotá</b>	Secretaria Distrital de ambiente Bogotá.	Capítulo 3-	Requerimientos mínimos de una cubierta verde para una edificación
<b>Guía práctica techos verdes y</b>	Secretaria Distrital de ambiente Bogotá	Capítulo 2	Requerimientos mínimos y ciclo de vida

Título de la Norma	Entidad	Artículos o numerales	Resumen de la norma
jardines verticales			

Fuente: Autor

## 6.5. MARCO GEOGRÁFICO

La macro localización del presente estudio se realiza en la ciudad de Villavicencio localizado al norte del departamento del Meta, ubicado en la región Orinoquia, a 467 metros sobre el nivel del mar. Por el norte limita con el municipio de Restrepo (Meta), por el occidente con el municipio de Puerto López (Meta), por el oriente con municipio de Acacias (Meta) y al sur con el municipio de San Carlos de Guaroa (Meta). Sus coordenadas planas son 951268.281 N, 1050297.5120 E.



Ilustración 6.4 Ubicación geográfica del municipio del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta.

Fuente: Google Earth, 2019.

Villavicencio cuenta con una superficie de 1328 Km<sup>2</sup> con una temperatura promedio de 31°, pero con “registros históricos de hasta 38° reportados por el IDEAM” [4], y con “452.472 habitantes” [18], Villavicencio presenta meses secos como noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, mientras que los meses de lluvia son Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, “con una precipitación de 3856 mm al año” [19]

La economía de la ciudad está basada en el turismo por su cercanía con Bogotá así como la exportación de alimentos en el ámbito nacional, predominando por la ganadería y la siembra de hortalizas y legumbres, por su misma cercanía la capital del Meta y a pesar de un sistema de planeación pobre la ciudad se encuentra en un estado acelerado de crecimiento, donde según la proyección de población realizado por el Dane “para el 2027 la población se duplicara llegando a 1 087.993 habitantes” [20].

Por otro lado, la micro localización de la zona de estudio se detuvo en la selección de la Universidad Santo Tomás de Aquino, sede Villavicencio, específicamente el nuevo edificio (bloque) que fue construido como ampliación de la sede. La universidad se encuentra ubicada en la Carrera 22 con Calle 1a - Vía Puerto López. En este bloque se localizan laboratorios, salones de clase, biblioteca, auditorios, entre otros. La selección de esta zona estuvo sujeta a características estructurales que posee el sistema de cubierta del bloque, el tiempo que lleva de construido y la facilidad para poder conseguir los planos necesarios para el desarrollo del estudio investigativo.



Ilustración 6.5 Microzonificación de la zona de estudio.  
Fuente: Google Earth, 2019

## 7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

A continuación, se expone la información referente a las personas que conforman el equipo de investigación y la trayectoria (experiencia) que cada uno de ellos tiene en relación al objeto y temática del proyecto de investigación.

Tabla 7.1. Equipo de investigación y trayectoria.

Profesión	Nombre	Perfil profesional
Estudiante de ingeniería civil	Brayan Camilo Díaz Rivera	En primer lugar, los estudiantes poseen una experiencia de 1 año (2 semestres) desarrollando la modalidad de proyecto integrador planteado por la facultad de ingeniería civil, la cual ha desarrollado y potenciado las habilidades y el manejo de la plantilla estipulada para la propuesta de proyecto de grado. En segundo lugar, e igualmente importante los estudiantes durante su formación profesional han tenido y desarrollado gran afinidad hacia las líneas de ingeniería civil en las cuales se encuentra enmarcado esta propuesta de proyecto de grado.
Estudiante de ingeniería civil	Juan Pablo Hernández Ceballos	El ingeniero cuenta con una especialización en recursos hídricos y en la actualidad es candidato a magister en desarrollo sostenible y medio ambiente, además de más de seis años de experiencia profesional amplia experiencia donde ha dirigido seis trabajos de grado anteriormente y está activo en cuatro líneas de investigación además actualmente se encuentra orientando la cátedra de acueductos y alcantarillados en la Universidad Santo Tomas, sede Villavicencio.
Ingeniero civil con especialización en recursos hídricos, próximo a optar la maestría "Desarrollo sostenible y medio ambiente".	Iván Darío Acosta Sabogal	

Fuente: Autor

## 8. METODOLOGÍA

Este proyecto parte de la idea del diseño estructural e hidráulico de un sistema de cubierta verde (techo verde) para la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio teniendo en cuenta el incremento de temperaturas que se han evidenciado en la ciudad de Villavicencio durante los últimos años. Esta a su vez, presenta un enfoque de investigación cuantitativo debido a que cada uno de los indicadores planteados en los objetivos del estudio tienen carácter y magnitud medible los cuales para poder ser confiables y otorgar validez al proyecto se hace necesario, en primer lugar, el análisis de datos estadísticos para la determinación de indicadores y, en segundo lugar, el uso de la matemática aplicada a la ingeniería (análisis, procesos y modelos matemáticos) para reproducir numéricamente relaciones que se dan entre los objetos y fenómenos del estudio.

Como se planteó en el capítulo 5, el alcance o tipo de investigación es correlacional ya que uno de los propósitos que se tiene previsto para el desarrollo del estudio es establecer, examinar y determinar la relación entre los indicadores o variables para elegir las más óptimas para el diseño del producto final. Lo anterior con ayuda también de la comparación de otros estudios investigativos similares realizados anteriormente sobre la temática objeto.

A continuación, se muestra el esquema de las etapas o fases macro en las cuales se desenvolverá el estudio.

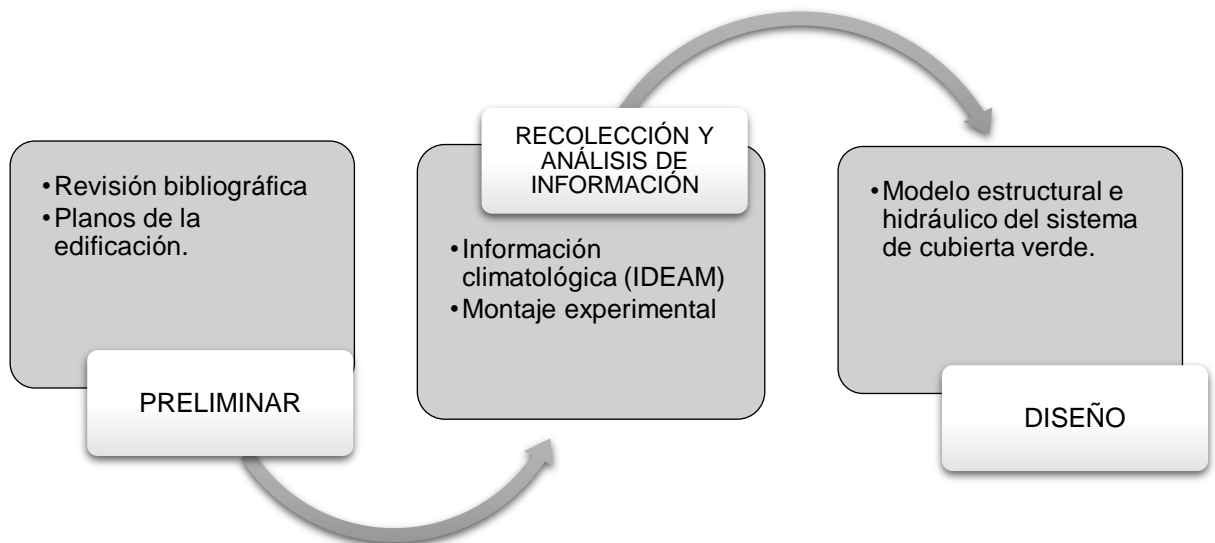


Figura 8-1 Etapas de la metodología del proyecto.  
Fuente: Autor

## 8.1. ETAPA PRELIMINAR

Esta primera fase, hace referencia a la búsqueda, recopilación y categorización de información y referencias bibliográficas acerca de la temática de cubiertas verdes: terminología, origen, estudios, criterios de diseño, requisitos mínimos, beneficios, antecedentes y problemáticas a las cuales se aplica. Para esto, se trabaja bajo dos clasificaciones de fuentes de información:

- *Fuente de información primaria*, la cual hace referencia al estado de arte de la temática, orígenes, antecedentes, teorías, hipótesis que se han llevado a cabo sobre cubiertas verdes, los cuales se encuentran en libros, guías normativas de implementación y normatividad colombiana.
- *Fuente de información secundaria*, la cual se centra en las investigaciones y estudios teóricos y aplicativos que se han realizado actualmente, los cuales brindan avances, estrategias y herramientas para realizar y llevar a cabo nuevos diseños e implementaciones de estos sistemas constructivos.
- *Planos estructurales e hidráulicos*, los cuales serán un insumo importante al momento de realizar el análisis de cargas y análisis estructural de la edificación.

## 8.2. ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información base que se tendrá en cuenta para la culminación de esta etapa son los datos e información estadística suministrada por el IDEAM, específicamente de una estación climatológica que se encuentre en el municipio de Villavicencio. También se tendrá como insumo los planos estructurales e hidráulicos de la universidad para el correcto análisis de cargas que se realizará en la etapa 4. Las actividades detalladas que se llevarán a cabo en esta etapa son las siguientes.

- Solicitud de información climatológica de la zona de estudio.
- Determinación de las variables o indicadores a medir.
- Análisis histórico de las variables climatológicas encontradas (hidrología)
- Estudio de cargas (capacidad estructural) previo de la edificación sin cubierta verde.
- Determinación de la funcionalidad de la cubierta (tipo)
- Selección de tipo de vegetación y sustrato.
- Selección de membranas (filtrantes y anti-raíz)

### **8.3. ETAPA DE DISEÑO**

En esta etapa, después de obtenidos los resultados de la etapa anterior, se procede a iniciar con la etapa de diseño, entre la cual se tienen contemplados como indicadores principales el diseño estructural de la losa de concreto, el modelo de cubierta verde y el sistema de tubería de recolección y distribución de aguas. Cada uno de estos indicadores se diseñará de acuerdo a especificaciones de diseño y normativa colombiana establecida en el capítulo 6.4 del presente documento, y las tareas que subyacen cada uno de estos diseños se detallan a continuación:

a) Losa de concreto

- Determinación de cargas (vivas y muertas) y tipo de concreto.
- Cálculo de refuerzo de acero
- Cálculo de esfuerzos cortantes y momentos
- Cálculo de espesor de la losa

b) Sistema de tubería

- Cálculo hidráulico en el filtro
- Cálculo de sistema de drenaje en la edificación
- Cálculo de sistema de bajantes de aguas lluvia al almacenamiento.

## **9. ETAPA PRELIMINAR**

En la revisión bibliográfica se tuvo en cuenta principalmente, documentos nacionales, producidos por universidades con alto grado de credibilidad y empresas con un trayecto y reconocimiento importante en el campo estudiado, que son pioneras en proyectos nacionales e internacionales ecotelhado helecho, una empresa que ha realizado proyectos para edificios públicos en la ciudad de Bogotá, como por ejemplo empresas de transporte de Puente Aranda, el hospital Fundación Santa Fé, el Centro Empresarial Colpatria en la ciudad de Bogotá, entre otros y con experiencia internacional, que nos permite analizar sus productos finales, sus diferentes funcionalidades, su gran variedad de tipos de cubiertas que ofrecen y encontrar la cubierta más adecuada para nuestro proyecto.

De igual forma se encuentra Groncol, empresa especialista en cobertura vegetal con cuatro pilares fundamentales de desarrollo como lo son: impacto en el medio, economía, calidad de vida y técnicamente viable; que ha realizado proyectos junto a EPM, así como con constructoras muy importante en el país, con reconocimiento del consejo colombiano de infraestructura verde colombiana y la red colombiana de infraestructura verde, hablando muy bien de esta empresa, una más que nos permitirá evaluar de manera crítica la funcionalidad, y el costo de nuestro proyecto, con el generador de precios colombiano podemos observar que el metro cuadrado de cubierta verde plana y sencilla tiene un costo de alrededor de \$ 142.569.35 pesos, permitiéndonos tener un costo comparativo teniendo en cuenta los materiales y la metodología utilizada.

### **9.1. VISITA CENTRO COMERCIAL FONTANAR**



Ilustración 9.1 Centro comercial Fontanar.  
Fuente: Autor

Se realizó una visita el 18 de agosto del 2018 al centro comercial fontanar ubicado en la vía que conduce a Chía desde la ciudad de Bogotá. El centro comercial cuenta con un sistema de recolección de aguas lluvias que fue generado a partir de la cimentación del mismo centro comercial un gran tanque que recolecta las aguas lluvias recogidas por la cubierta y se complementa con el tratamiento de aguas residuales, permitiendo un inmenso ahorro de agua en el funcionamiento del centro comercial tanto para aparatos sanitarios como para zonas verdes. En la ilustración Ilustración 9.2 se muestra el diseño de cubierta implementado en el centro comercial.



Ilustración 9.2 Modelo de cubierta verde del centro comercial Fontanar  
Fuente: Autor

Estos son los beneficios presentados por el centro comercial gracias a la implementación de cubiertas verdes:

- Ahorro del 72,77 % de agua potable con la instalación de aparatos sanitarios eficientes, y la captura y potabilización de agua lluvia.
- Tratamiento del 100 % del agua residual del proyecto, disminución de la carga contaminante en los vertimientos del proyecto.
- 100% del agua de riego proviene de la planta de tratamiento de agua residual.
- Ventilación natural de zonas comunes con control de temperaturas con para garantizar confort.
- Implementa mecanismos de renovación de aire en zonas privadas y públicas, mejorando la calidad del aire para sus visitantes, clientes y empleados.

A partir de los documentos académicos, de la visita realizada al centro comercial y la visita a algunos viveros de la ciudad se pudo analizar y determinar las características de cada uno de los estratos y plantas a utilizar en las capas del sistema de cubierta verde. Dos de los aspectos que tuvo mayor incidencia en la escogencia de las plantas fue el peso y la capacidad de absorción y retención de agua.

En cuanto al proceso de solicitud y adquisición de planos necesarios para el diseño y modelación estructural de la edificación de estudio, se llevó a cabo durante el mes de agosto. La solicitud de estos se realizó por medio de una carta autenticada por la decanatura de la facultad de ingeniería civil y el director del proyecto de grado, requisito de soporte físico que pedía la oficina de planta física de la universidad para realizar la entrega de los insumos.

Por fortuna, el tiempo de espera de respuesta fue inmediato, y en el transcurso de una semana recibimos respuesta de los planos necesarios para comenzar con el avalúo de cargas de la edificación. Infortunadamente, la oficina de planta física realizó la entrega de planos vía electrónica, pero no se encontraban los planos hidráulicos de la zona de estudio debido a que no los tenían en su poder. Por tal razón se tuvo en cuenta al momento de iniciar con el diseño del sistema de tubería de recolección de aguas, realizar un levantamiento de la zona de estudio y trabajar sobre ese.

## **9.2. MONTAJE EXPERIMENTAL CUBIERTA VERDE**

Se realizó la construcción de un cajón en mortero (cemento, arena y agua) que simulara la cubierta para ver el efecto de la misma sobre él. Las dimensiones del cajón fueron 70, 35 y 30 cm, dejando una zona rectangular sin mortero para colocar un vidrio transparente que permitiera ver la composición o capas de la cubierta verde, además de una perforación de 1 pulgada (2,54 cm) para la salida del agua recolectada a partir de un tubo PVC perforado (simulación de una flauta) de 1" de diámetro. Este cajón se colocó sobre una base de acero la cual fue diseñada también.



Ilustración 9.3 Base de acero para cajón de mortero  
Fuente: Autor



Ilustración 9.4 Cajón de mortero (simulación placa de concreto)  
Fuente: Autor

### **9.2.1 Primera siembra (10 – 17 de diciembre del 2018)**

Se realizó la primera siembra el día 10 de diciembre con una capa de 5 cm de caucho molido como capa drenante aumentando la conductividad hidráulica en el sistema, la retención del agua en la temporada de sequía, reduciendo el peso de las demás capas drenantes y así reducir los costos económicos de gran manera, luego un geotextil NT (No tejido) que permitiera el paso del agua y evitara la mezcla de las capas superiores y el taponamiento del tubo recolector de agua, la siguiente capa fue 10 cm de abono de cascarilla de arroz, y la capa vegetal compuesta por maní forrajero y la planta vinca.



Ilustración 9.5 Capa de caucho molido  
Fuente: Autor



Ilustración 9.6 Geotextil NT (No tejido)  
Fuente: Autor



Ilustración 9.7 Siembra terminada y vista de las capas  
Fuente: Autor

Para la primera siembra no se realizó mantenimiento continuo con el fin de identificar y verificar la resistencia que podían llegar a resistir las plantas en las temporadas de sequía. Con algo que no se contó era que desde el mes de diciembre se presentó el fenómeno del niño, factor que contribuyó a evidenciar la capacidad de retención máxima de agua que podía tener el agua para sobrevivir a las altas temperaturas presentadas en el mes, de acuerdo con las cifras suministradas por el IDEAM, las temperaturas durante el mes oscilaron entre los 36°, las cuales superaban la temperatura promedio de la zona (31°C) y por tal razón las plantas no resistieron mucho tiempo. En las siguientes ilustraciones se detalla las fechas de chequeo que se realizó a la siembra.



Ilustración 9.8 Chequeo 18 de diciembre de 2018  
Fuente: Autor



Ilustración 9.9 Chequeo 27 de diciembre de 2018  
Fuente: Autor



Ilustración 9.10 Chequeo 6 de enero de 2018  
Fuente: Autor

### **9.2.2 Segunda siembra (09 de febrero del 2019)**

En la segunda siembra se cambió una de las plantas debido a que las condiciones climáticas y las altas temperaturas generadas en el mes de diciembre y enero había secado los cultivos en los lugares de donde se habían obtenido el maní forrajero, por tal razón se indagó en los viveros otra planta con características similares de peso y resistencia a altas temperaturas. La planta seleccionada fue la cinta.

Para esta segunda siembra se decidió realizar un mantenimiento semanal para evitar que las plantas y el abono se secan tal y como sucedió en la primera siembra, se regaron con agua las plantas cada 7 días o al momento del riego de acuerdo al aspecto o sudor que tuvieran las plantas se regaban con menos cantidad de agua.



Ilustración 9.11 Montaje segunda siembra  
Fuente: Autor

A continuación, se presenta la visita realizada durante los días 21 y 28 de febrero en la cual se evidencia el progreso y adaptación que ha tenido el montaje a las altas temperaturas de la zona.

### **21 de febrero 2019**



Ilustración 9.12 Primera visita a montaje experimental de cubierta verde  
Fuente: Autor

### **28 de febrero de 2019**



Ilustración 9.13 Segunda visita montaje experimental cubierta verde  
Fuente: Autor

Durante esta visita también se realizó una prueba de retención de agua en la cual se observaría el porcentaje de retención que podría llegar a soportar la cubierta en los escenarios de precipitación. Para lo cual se fue vertiendo poco a poco agua

llovida recolectada hasta que empezara a salir por la tubería de desagüe. Para este caso la cantidad de agua retenida por la cubierta fue de 52.3 litros (40%) de la totalidad del agua llovida, lo cual es un valor considerablemente óptimo y favorable para el diseño.

De acuerdo a los anteriores resultados, el modelo de cubierta verde definido para el proyecto se muestra en la ilustración 9.14 y 9.15.

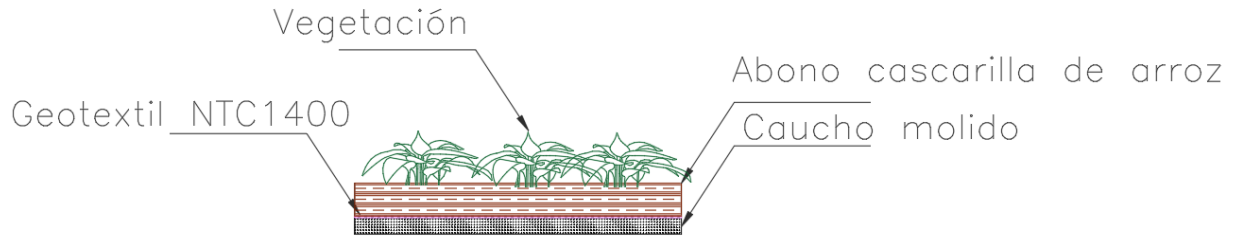


Ilustración 9.14 Capas de modelo de cubierta verde definitivo  
Fuente: Autor

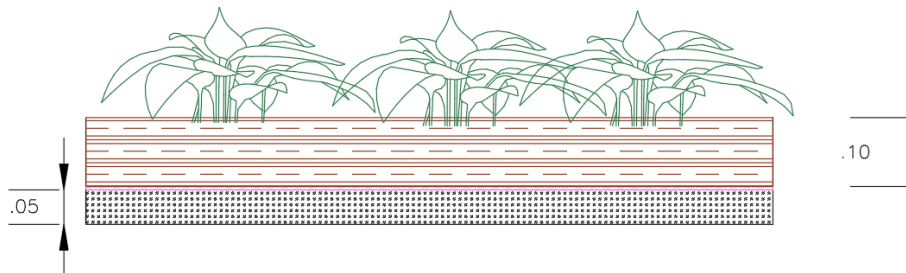


Ilustración 9.15 Espesores finales modelo de cubierta verde  
Fuente: Autor

## 10. DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍA HIDROSANITARIA

### 10.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

A partir de la información recolectada a través del IDEAM, se realiza el análisis hidrológico para hallar los parámetros y variables requeridas en los cálculos de caudales de diseño de la cubierta verde.

#### 10.1.1 Información hidrometeorológica

Para llevar a cabo un estudio hidrológico, es necesaria la obtención de los registros de precipitación anuales y precipitaciones máximas con el paso de los años registrados, para lo cual se hizo uso de la Estación N° 35030030 (SENA), la cual se encuentra activa y cuenta con los datos suficientes para la construcción de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia del proyecto.

Tabla 10.1. Caracterización estación hidrometeorológica.

<b>CARACTERISTICAS ESTACION</b>	
<b>Código estación</b>	35030030
<b>Área operativa</b>	Área operativa 03
<b>Nombre</b>	SENA
<b>Tipo</b>	Convencional
<b>Clase</b>	Meteorológica
<b>Categoría</b>	Pluviográfica
<b>Estado</b>	Activa
<b>Departamento</b>	Meta
<b>Municipio</b>	Villavicencio
<b>Latitud</b>	4.127361
<b>Longitud</b>	-73.639556
<b>Altitud</b>	425
<b>Corriente</b>	Guatiquía
<b>Fecha instalación</b>	15/08/1984
<b>Fecha suspensión</b>	-

Fuente: Autor

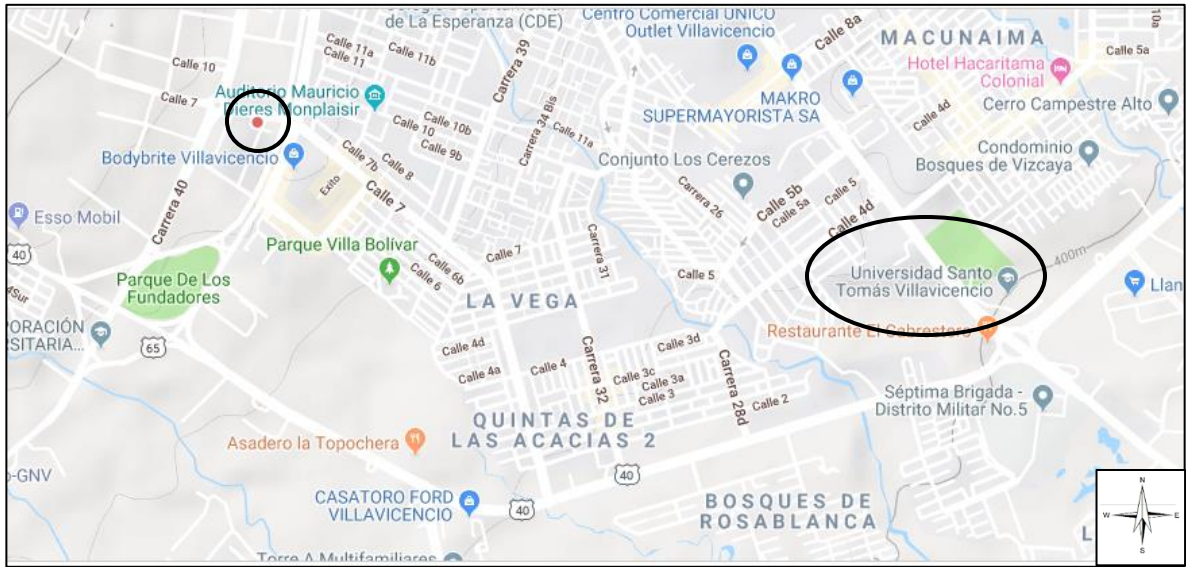


Ilustración 10.1 Ubicación estación hidrometeorológica  
Fuente: Google Earth, 2019

### 10.1.2 Precipitaciones

Estos datos son fundamentales para el cálculo del caudal máximo. Para esto, se presenta el análisis estadístico de precipitaciones asociadas a la estación SENA para la generación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, de forma tal que se pueden evaluar intensidades asociadas a un fenómeno de precipitación, para un periodo de retorno dado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por la estación mencionada anteriormente, habiéndole realizado las correcciones pertinentes debido a la falta de información en algunos años y meses; se cuenta con los registros de precipitaciones totales mensuales a nivel multianual desde el año 1985 hasta noviembre del año 2017; de igual forma se cuenta con los registros de precipitaciones máximas mensuales en un periodo de 24 h a nivel multianual para los mismos años y por último, con los registros correspondientes al número de días de precipitación a nivel mensual multianual para el mismo periodo de años.

Tabla 10.2 Resumen mensual multianual de precipitación total (mm)

ESTACIÓN: 35030030 SENA													
LATITUD	407	N	TIPO EST.	PM	DEPTO.	META	FECHA-INSTALACIÓN	1984-AGO					
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	VILLAVICENCIO	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M	REGIONAL	META-GUAVIARE	CORRIENTE	GUATIQUEIA							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1985	61.73	12.2	121.9	494.99	568.14	217.9	314.7	326.8	407.6	437.57	362.1	64.1	3389.73
1986	61.73	90.05	167.8	494.99	703.4	414.1	439.5	238.4	379.7	437.57	276.9	73.9	3778.04
1987	125.4	133.3	317.2	354.7	290.2	485.32	322.3	282.5	316.8	581.1	323.7	193.3	3725.82
1988	3.3	8.4	154.9	336	275	485.32	219.9	347.5	55.8	437.57	401.64	193.3	2918.63
1989	61.73	90.05	80.8	494.99	568.14	485.32	387.3	347.5	346.14	419.1	464.7	210.5	3956.27
1990	66.5	90.05	137.7	751.1	598.2	485.32	280.6	250.6	225.7	185.9	467.2	173.9	3712.77
1991	61.73	79.1	175.8	494.99	482.5	485.32	387.3	347.5	346.14	437.57	401.64	193.3	3892.89
1992	61.73	10	216.57	494.99	568.14	485.32	387.3	347.5	346.14	437.57	401.64	143.3	3900.20
1993	145.1	108.5	358.9	522.2	390.4	360.7	575	354.1	375.4	293	273.6	163.6	3920.50
1994	95.4	34	216.57	430	543.2	260.5	468.3	285.8	573.4	600.9	377.9	92.9	3978.87
1995	88.9	13.9	141.8	375.7	644.8	524.3	10	347.5	346.14	437.57	401.64	193.3	3525.55
1996	61.73	90.05	216.57	494.99	568.14	485.32	387.3	347.5	346.14	325.8	563.3	283.2	4170.04
1997	138.6	101.9	153	414.8	739.4	589.2	467.7	326	608.1	241.3	223.2	12.8	4016.00
1998	30.7	228.4	293	621.8	641	475.8	387.3	427.8	317.8	313	445.9	170.2	4352.70
1999	92.2	229.9	157.8	677.2	423.9	568.6	321.6	325	266	615.8	439.3	189.2	4306.50
2000	68.3	130.4	93.2	495.5	497.8	372.3	356.1	313.3	250.9	319.1	379.3	130	3406.20
2001	16.4	33.3	144.1	278.7	681.3	518	543.4	370.9	502.9	527.4	398.3	403.2	4417.90
2002	9.2	4.7	350.3	616.8	821.6	651.2	555.4	353.8	419.3	536.4	200.7	166.6	4686.00
2003	1.3	45.5	127.7	506.9	412.4	609.6	255	394.3	472.4	484.2	442.8	278.4	4030.50
2004	88	346.2	135.4	539.2	788.8	575.7	449.6	236.4	346.14	240.9	307.1	208.7	4262.14
2005	71.1	232.7	138.1	420.3	582	468.2	283.2	275	309.7	580	418.4	29.5	3808.20
2006	85.5	15.4	348.4	489.3	636.8	494.4	290.7	259.8	257.9	562.1	559.2	177.7	4177.20
2007	12.8	16.2	320.6	419.7	660	485.32	347.2	428.8	271.6	492.2	242.6	122.8	3819.82
2008	30.8	20.4	31.6	304.7	383.3	340.6	378.4	355.2	432.1	443.2	512.2	118.8	3351.30
2009	88.4	66.5	251.3	454.3	425.2	676.5	534.5	469.2	277.1	455.1	304.1	98.7	4100.90
2010	0.6	135.3	332.4	682.8	492.5	480	483.7	422.4	302.5	452.8	396.9	363.5	4545.40
2011	92.3	137.9	109	451.8	640.5	540.7	398.6	422.9	455.4	412.5	607.6	401.2	4670.40

ESTACIÓN: 35030030 SENA													
LATITUD	407	N	TIPO EST.	PM	DEPTO.	META	FECHA-INSTALACIÓN	1984-AGO					
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	VILLAVICENCIO	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M	REGIONAL	META-GUAVIARE	CORRIENTE	GUATIQUIA							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
2012	32.3	87	652.7	557.8	670.8	447.5	517.4	406.9	286.6	506.6	284.4	393.8	4843.80
2013	0.2	106.6	242.5	602.9	893.9	464.8	444.8	292.8	242.8	434.5	417.1	161.9	4304.80
2014	40.8	99.7	211.1	510.9	467.8	695.6	342.6	291.2	326.5	341.9	381.7	159.8	3869.60
2015	158.1	28.5	175.6	470.1	447	467.9	474.1	302	362.1	418.4	423.7	181.5	3909.00
2016	3.6	55.2	191.1	754.6	536	381.4	388.6	661.9	406	510.9	611.1	438.6	4939.00
2017	80.9	90.4	381.4	324.8	706.4	537.5	381.5	308.6	243.7	520.4	542.7	193.3	4311.60

Fuente: Autor

Tabla 10.3 Promedios mensual multianual de precipitación total (mm)

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VRANUAL
PROMEDIOS	61.73	90.05	216.57	494.99	568.14	485.32	387.30	347.50	346.14	437.57	401.64	193.30	4030.25
MAXIMOS	158.1	346.2	652.7	754.6	893.9	695.6	575	661.9	608.1	615.8	611.1	438.6	893.90
MINIMOS	0.2	4.7	31.6	278.7	275	217.9	10	236.4	55.8	185.9	200.7	12.8	0.2

Fuente: Autor

Tabla 10.4 Resumen mensual multianual de precipitación máxima en 24 horas (mm)

ESTACIÓN: 35030030 SENA													
LATITUD	407	N	TIPO EST.	PM	DEPTO.	META	FECHA-INSTALACIÓN	1984-AGO					
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	VILLAVICENCIO	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M	REGIONAL	META-GUAVIARE	CORRIENTE	GUATIQUIA							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX ANUAL
1985	26.7	6.8	46.2	82.76	95.06	34.6	40.6	44.6	82.8	84.17	56.3	36.7	95.1
1986	26.7	35.49	52.8	82.76	156	36.8	91.3	36.4	62.7	84.17	96	32.1	156.0
1987	81.2	32.9	71.9	65.2	45.2	80.43	48.2	38	48.8	124	75.8	61.49	124.0
1988	3.3	3.8	92	60.8	50	80.43	53.7	71.39	24	84.17	87.58	61.49	92.0
1989	26.7	35.49	18.2	82.76	95.06	80.43	68.86	71.39	70.6	207.7	128.8	83	207.7
1990	28.3	35.49	23.3	113.6	86.4	80.43	36.8	48.5	56.9	31.2	86.4	48.4	113.6
1991	26.7	49.8	141.5	82.76	129.4	80.43	68.86	71.39	70.6	84.17	87.58	61.49	141.5

*Diseño hidráulico y estructural para un sistema de cubierta verde aplicado a la Universidad Santo Tomás - sede Villavicencio*

ESTACIÓN: 35030030 SENA													
LATITUD	407	N	TIPO EST.	PM	DEPTO.	META	FECHA-INSTALACIÓN	1984-AGO					
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	VILLAVICENCIO	FECHA-SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M	REGIONAL	META-GUAVIARE	CORRIENTE	GUATIQUEA							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX ANUAL
1992	26.7	8.6	61.6	82.76	95.06	80.43	68.86	71.39	70.6	84.17	87.58	38	95.1
1993	30.5	30	74.5	66.4	59	45.7	101	115.8	70.6	56	54.2	80.5	115.8
1994	58	13.9	61.6	103.6	90	42.5	92.3	44.6	109.1	90	61.2	26.1	109.1
1995	35.6	9.3	31	104.1	93.4	73.7	6	71.39	70.6	84.17	87.58	61.49	104.1
1996	26.7	35.49	61.6	82.76	95.06	80.43	68.86	71.39	70.6	42.4	131.6	114.7	131.6
1997	71.4	35	83.5	67.2	219.4	129.9	104	57.1	91.8	34.8	34.4	9	219.4
1998	18	96.4	129	101.7	111.1	105.7	68.86	75.8	56.5	40.8	129.7	21.7	129.7
1999	19.2	66	61.6	87.2	60.4	80.43	93.1	58.6	83.7	93.4	100.3	34.2	100.3
2000	25.5	29	38.3	73.1	96.2	50.1	42.5	99.6	48	99.6	98.4	37.9	99.6
2001	10	19.6	42.6	73.3	82.7	61.2	121.6	64.9	64.9	162.7	77.2	48.4	162.7
2002	3.7	3.6	75	74.9	89.1	173.3	150.2	59.4	116.7	132.9	58.7	103.8	173.3
2003	1	21.5	29.1	75.4	50.2	92.6	47.5	63.1	88	100.7	73.2	78.3	100.7
2004	65.5	137	23.1	100	114.1	89	61.9	46.7	70.6	84.17	53.1	51.2	137.0
2005	39.2	123.2	26.7	82.76	102.5	47	64.4	56.9	60	130	154.8	15	154.8
2006	33.9	7	61.6	82.76	61.7	111.2	36.3	61.3	55.2	84.17	148	83.6	148.0
2007	5	9.8	71.8	52	89.3	80.43	66.6	94.5	50.8	71.4	60.5	61.49	94.5
2008	26.7	5.4	13.7	82.76	138	47.4	68.86	83.5	70.6	63	55.6	61.7	138.0
2009	31	25.9	87.9	82.76	57.5	77.6	62.1	104.1	47.5	88.3	75.8	29.1	104.1
2010	0.3	32.6	93	101.8	104.4	128.8	84.9	133.8	76.3	49	66.8	61.6	133.8
2011	29.8	62.1	17.7	77.6	69.5	108	81.3	123.4	80.8	97.2	137.7	119	137.7
2012	10.4	35.7	90.8	61	120.2	65.9	65	85.8	116.8	62.1	69	122.5	122.5
2013	0.1	30	43.1	131.5	102.7	69.1	75.8	32.2	39.9	53.5	77.7	54	131.5
2014	19.1	74	62.4	60.3	80.4	130	55.2	45.9	52.4	45.1	85.3	68.1	130.0
2015	56.5	19.4	86	69.7	72.9	83.2	43.4	66.6	53.2	81.5	62.4	42.7	86.0
2016	3.6	18	60.3	99.6	78.6	50.7	82.5	137.8	139.3	71.6	100.3	158.9	158.9
2017	14	23	99.4	83.5	146.3	76.2	50.9	48.7	59	75.4	130.7	61.49	146.3

Fuente: Autor

Tabla 10.5 Promedios mensual multianual de precipitación máxima en 24 horas (mm)

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VRANUAL
<b>PROMEDIOS</b>	26.70	35.49	61.60	82.76	95.06	80.43	68.86	71.39	70.60	84.17	87.58	61.49	68.84
<b>MAXIMOS</b>	81.2	137	141.5	131.5	219.4	173.3	150.2	137.8	139.3	207.7	154.8	158.9	219.40
<b>MINIMOS</b>	0.1	3.6	13.7	52	45.2	34.6	6	32.2	24	31.2	34.4	9	0.1

Fuente: Autor

Tabla 10.6 Resumen mensual multianual de número de días de precipitación

ESTACIÓN: 35030030 SENA

LATITUD	407	N	TIPO EST.		PM	DEPTO.		META		FECHA-INSTALACIÓN			1984-AGO
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO		VILLAVICENCIO		FECHA-SUSPENSIÓN				
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M	REGIONAL	META-GUAVIARE	CORRIENTE	GUATIQUIA							
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX ANUAL
1985	8	4	14	23	26	23	28	25	27	22	24	11	235.0
1986	8	10	17	23	27	24	24	25	23	22	13	12	228.0
1987	11	13	13	23	25	26	21	25	21	23	22	15	238.0
1988	1	8	8	20	15	26	22	24	9	22	22	15	192.0
1989	8	10	18	23	26	26	25	24	21	20	21	9	231.0
1990	9	10	17	23	26	26	20	23	19	15	20	15	223.0
1991	8	13	10	23	22	26	25	24	21	22	22	15	231.0
1992	8	3	17	23	26	26	25	24	21	22	22	16	233.0
1993	18	14	22	24	27	26	29	23	19	18	23	9	252.0
1994	8	8	17	22	28	24	27	26	24	22	21	16	243.0
1995	4	5	19	24	29	23	4	24	21	22	22	15	212.0
1996	8	10	17	23	26	26	25	24	21	20	24	21	245.0
1997	8	14	13	22	28	28	26	21	21	17	23	5	226.0
1998	4	13	16	26	24	28	25	20	24	21	21	23	245.0
1999	11	23	13	24	26	23	25	24	23	27	19	19	257.0
2000	12	11	12	24	23	26	26	25	24	25	20	17	245.0
2001	3	8	17	19	28	28	26	23	25	24	19	26	246.0
2002	6	3	15	23	29	27	26	26	22	23	20	13	233.0
2003	2	6	21	24	28	24	26	25	20	26	22	19	243.0
2004	8	9	17	25	31	26	29	20	21	21	19	13	239.0

ESTACIÓN: 35030030 SENA													
LATITUD	407	N	TIPO EST.		PM	DEPTO.		META		FECHA-INSTALACIÓN		1984-AGO	
LONGITUD	7338	W	ENTIDAD		IDEAM	MUNICIPIO		VILLAVICENCIO		FECHA-SUSPENSIÓN			
ELEVACIÓN	425	M.S.N.M		REGIONAL	META-GUAVIARE		CORRIENTE	GUATIQUIA					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX ANUAL
2005	10	12	16	26	29	27	22	21	27	26	27	7	250.0
2006	15	7	21	27	27	27	27	23	16	29	24	14	257.0
2007	8	3	18	22	28	26	25	24	20	22	21	18	235.0
2008	3	11	10	8	21	18	14	19	21	27	25	9	186.0
2009	9	9	19	23	21	24	26	23	22	15	13	9	213.0
2010	3	10	16	25	31	27	28	23	19	22	25	21	250.0
2011	11	14	21	22	29	28	27	27	22	22	27	22	272.0
2012	13	8	25	25	25	26	26	26	21	21	19	16	251.0
2013	2	13	23	20	28	28	27	27	21	20	23	13	245.0
2014	8	10	14	26	22	28	30	24	22	24	23	17	248.0
2015	15	7	15	24	26	29	29	27	19	23	26	11	251.0
2016	1	13	17	30	28	28	26	25	21	25	22	19	255.0
2017	18	11	23	20	27	27	26	24	24	25	25	15	265.0

Fuente: Autor

Tabla 10.7 Promedios mensual multianual de número de días de precipitación

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VRANUAL
<b>PROMEDIOS</b>	8	10	17	23	26	26	25	24	21	22	22	15	239.13
<b>MAXIMOS</b>	18	23	25	30	31	29	30	27	27	29	27	26	31.00
<b>MINIMOS</b>	1	3	8	8	15	18	4	19	9	15	13	5	1

Fuente: Autor

### **10.1.3 Histograma de precipitación**

Es importante conocer gráficamente el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio a través de los años, para esto, la mejor herramienta para representar dicho comportamiento es haciendo uso de un histograma, donde se relacionen las precipitaciones producidas históricamente junto con los años y los meses, para así entender la distribución que podría llegar a seguir la lluvia en esta zona. Dicho esto, a continuación, se muestran los histogramas que se han creado haciendo uso de la información recolectada en las tablas anteriores, más exactamente, de los valores promedios, máximos y totales.

#### 10.1.3.1 Precipitación media mensual a nivel multianual

El siguiente histograma fue creado en base a las precipitaciones totales promedios obtenidas en el apartado anterior para cada uno de los meses.

Tabla 10.8 Precipitación media mensual a nivel multianual (mm)

<b>MES</b>	<b>ESTACIÓN SENA (1985-2017)</b>
<b>Enero</b>	61.73
<b>Febrero</b>	90.05
<b>Marzo</b>	216.57
<b>Abril</b>	494.99
<b>Mayo</b>	568.14
<b>Junio</b>	485.32
<b>Julio</b>	387.30
<b>Agosto</b>	347.50
<b>Septiembre</b>	346.14
<b>Octubre</b>	437.57
<b>Noviembre</b>	401.64
<b>Diciembre</b>	193.30
<b>ANUAL</b>	4030.25
<b>PROMEDIO</b>	335.85

Fuente: Autor

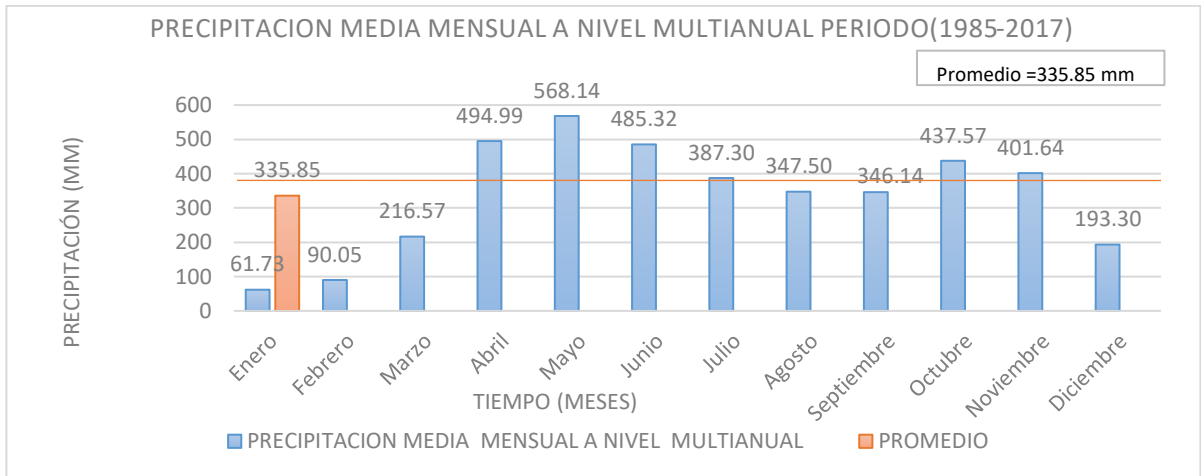


Gráfico 10.1 Precipitación media mensual a nivel multianual periodo (1985-2017)  
Fuente: Autor

En la gráfica se puede identificar un comportamiento bimodal de precipitaciones con periodos de valores máximos de precipitación en los meses de abril, mayo, junio, octubre y noviembre, los cuales poseen valores que sobrepasan los 400 mm.

#### 10.1.3.2 Precipitación media máxima en 24 horas a nivel multianual.

Tabla 10.9 Precipitación media máxima en 24 horas a nivel multianual (mm)

MES	ESTACIÓN SENA (1985-2017)
Enero	26.70
Febrero	35.49
Marzo	61.60
Abril	82.76
Mayo	95.06
Junio	80.43
Julio	68.86
Agosto	71.39
Septiembre	70.60
Octubre	84.17
Noviembre	87.58
Diciembre	61.49
<b>ANUAL</b>	<b>826.13</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>68.84</b>

Fuente: Autor

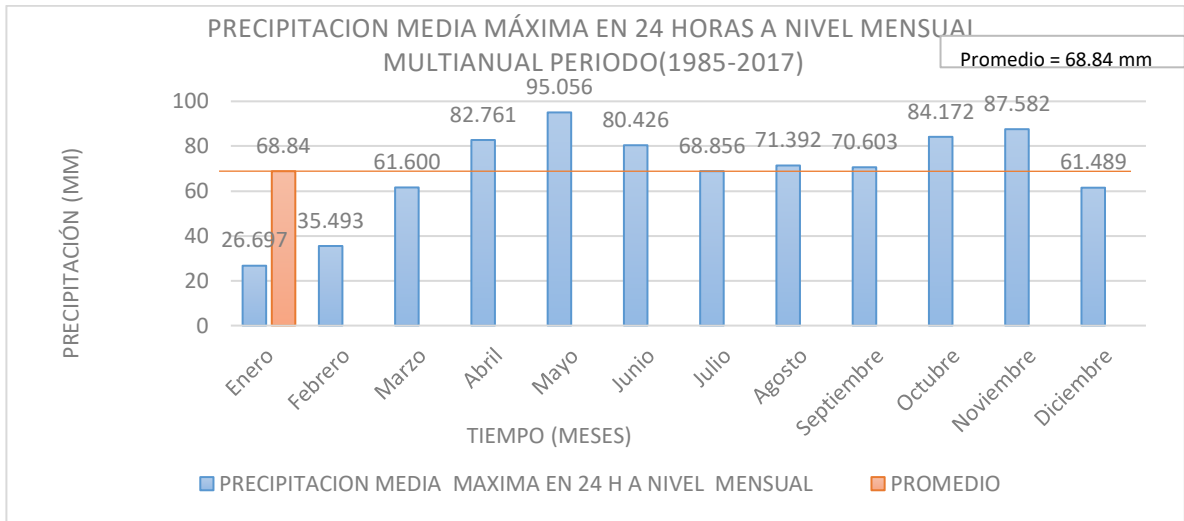


Gráfico 10.2 Precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual periodo (1985-2017)

Fuente: Autor

En la anterior gráfica se puede observar que los valores promedio de precipitación en 24 horas que superan los 80 mm son los meses de abril a junio y octubre y noviembre.

### 10.1.3.3 Número de días con precipitación mensual a nivel multianual.

Tabla 10.10 Número de días con precipitación mensual a nivel multianual

MES	ESTACIÓN SENA (1985-2017)
Enero	8
Febrero	10
Marzo	17
Abril	23
Mayo	26
Junio	26
Julio	25
Agosto	24
Septiembre	21
Octubre	22
Noviembre	22
Diciembre	15
ANUAL	239.13
PROMEDIO	19.93

Fuente: Autor

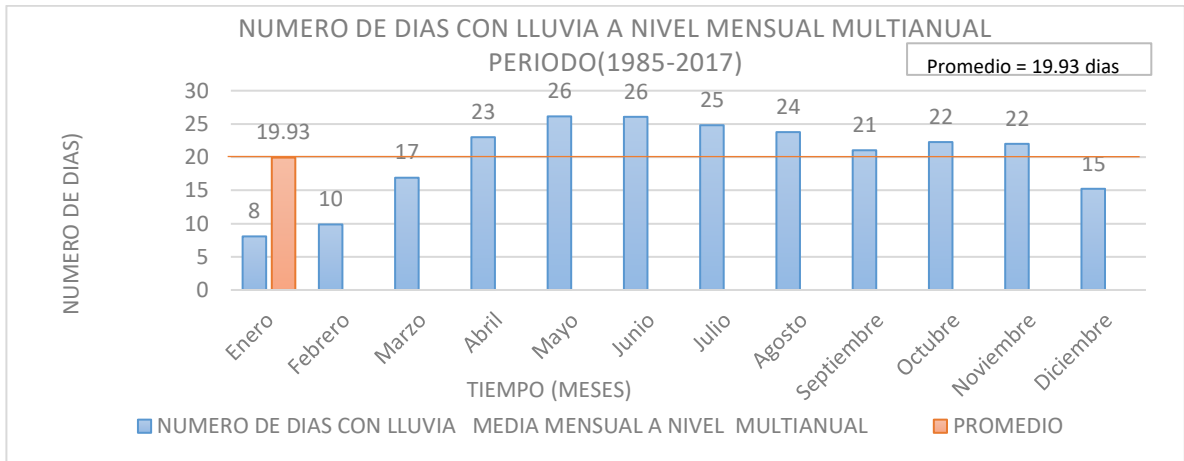


Gráfico 10.3 Número de días con lluvia a nivel mensual multianual periodo (1985-2017)  
Fuente: Autor

En la anterior gráfica se puede apreciar que los meses en los cuales se presentan más días de lluvia son en el intervalo de abril a noviembre, siendo mayo y junio los más altos con 26 días de lluvia.

#### 10.1.3.4 Precipitación histórica total mensual anual.

Tabla 10.11 Precipitación histórica total anual

<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SENA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN (Periodo 1985-2017) (mm)</b>
<b>1985</b>	3389.73
<b>1986</b>	3778.04
<b>1987</b>	3725.82
<b>1988</b>	2918.63
<b>1989</b>	3956.27
<b>1990</b>	3712.77
<b>1991</b>	3892.89
<b>1992</b>	3900.2
<b>1993</b>	3920.5
<b>1994</b>	3978.87
<b>1995</b>	3525.55
<b>1996</b>	4170.04
<b>1997</b>	4016
<b>1998</b>	4352.7
<b>1999</b>	4306.5
<b>2000</b>	3406.2
<b>2001</b>	4417.9
<b>2002</b>	4686
<b>2003</b>	4030.5
<b>2004</b>	4262.14

<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SENA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN (Periodo 1985-2017) (mm)</b>
<b>2005</b>	3808.2
<b>2006</b>	4177.2
<b>2007</b>	3819.82
<b>2008</b>	3351.3
<b>2009</b>	4100.9
<b>2010</b>	4545.4
<b>2011</b>	4670.4
<b>2012</b>	4843.8
<b>2013</b>	4304.8
<b>2014</b>	3869.6
<b>2015</b>	3909
<b>2016</b>	4939
<b>2017</b>	4311.6
<b>PROMEDIO</b>	4030.25
<b>NUMERO DE DATOS</b>	33
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	446.38
<b>COEFICIENTE ASIMETRIA</b>	-0.1068

Fuente: Autor

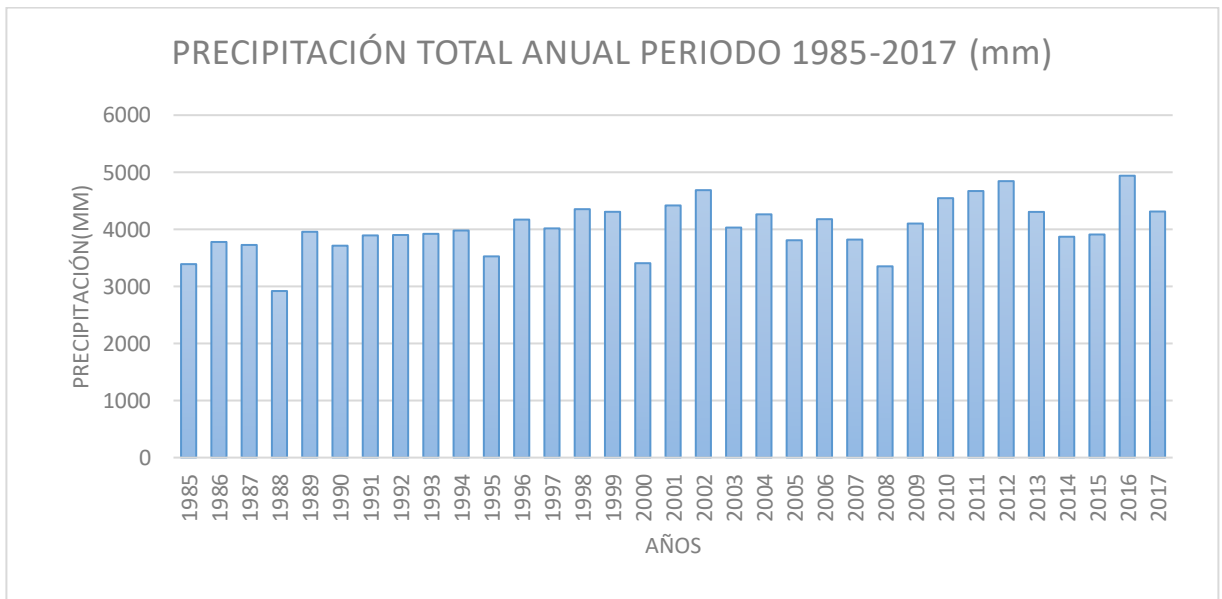


Gráfico 10.4 Precipitación total anual periodo 1985-2017 (mm)

Fuente: Autor

En la anterior gráfica se puede observar que en promedio desde 1998 las precipitaciones anuales han aumentado por encima de 4000 mm, y en los años 2010 – 2013 han sido las más altas.

### 10.1.3.5 Precipitación histórica máxima anual en 24 horas.

Tabla 10.12 Precipitación histórica máxima anual en 24 horas

<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SENA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN (Periodo 1985-2017) (mm)</b>
1985	95.06
1986	156
1987	124
1988	92
1989	207.7
1990	113.6
1991	141.5
1992	95.06
1993	115.8
1994	109.1
1995	104.1
1996	131.6
1997	219.4
1998	129.7
1999	100.3
2000	99.6
2001	162.7
2002	173.3
2003	100.7
2004	137
2005	154.8
2006	148
2007	94.5
2008	138
2009	104.1
2010	133.8
2011	137.7
2012	122.5
2013	131.5
2014	130
2015	86
2016	158.9
2017	146.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>130.13</b>
<b>NUMERO DE DATOS</b>	<b>33.00</b>
<b>DESVIACION ESTANDAR</b>	<b>31.67</b>
<b>COEFICIENTE ASIMETRIA</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Autor

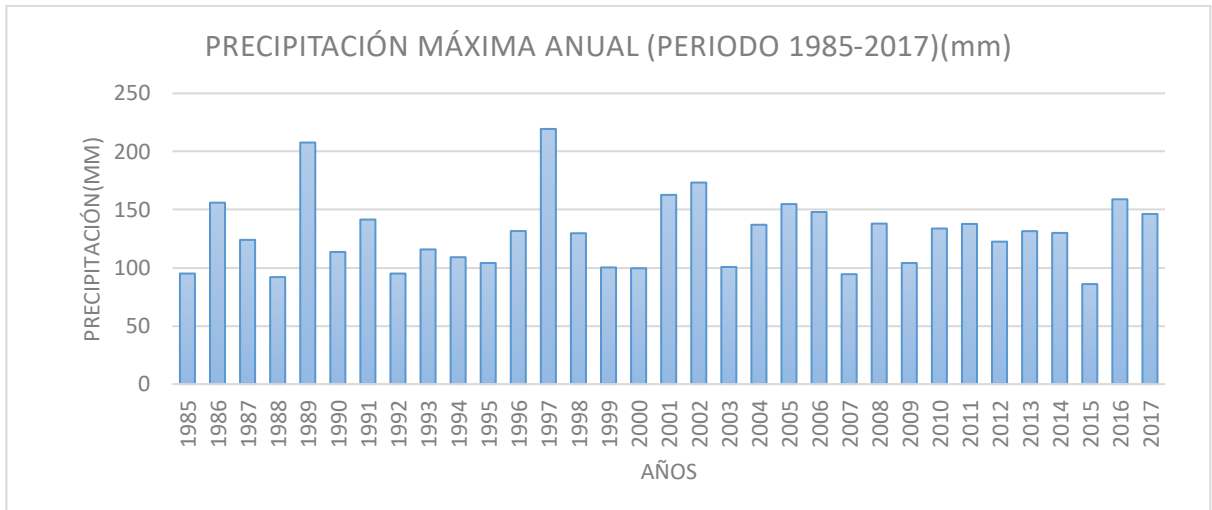


Gráfico 10.5 Precipitación máxima anual periodo 1985-2017 (mm)  
Fuente: Autor

En la anterior gráfica se puede apreciar que los años en los cuales la precipitación máxima alcanzó sus mayores valores fue en los años de 1989 y 1997.

#### 10.1.3.6 Número de días de precipitación histórico anual.

Tabla 10.13 Número de días con precipitación anual

<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SENA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>NÚMERO DE DIAS (Periodo 1985-2017) (días)</b>
<b>1985</b>	235
<b>1986</b>	228
<b>1987</b>	238
<b>1988</b>	192
<b>1989</b>	231
<b>1990</b>	223
<b>1991</b>	231
<b>1992</b>	233
<b>1993</b>	252
<b>1994</b>	243
<b>1995</b>	212
<b>1996</b>	245
<b>1997</b>	226
<b>1998</b>	245
<b>1999</b>	257
<b>2000</b>	245
<b>2001</b>	246
<b>2002</b>	233
<b>2003</b>	243
<b>2004</b>	239
<b>2005</b>	250

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SENA	
AÑO	NÚMERO DE DIAS (Periodo 1985-2017) (días)
2006	257
2007	235
2008	186
2009	213
2010	250
2011	272
2012	251
2013	245
2014	248
2015	251
2016	255
2017	265
PROMEDIO	238.64
NUMERO DE DATOS	33
DESVIACION ESTANDAR	18.43
COEFICIENTE ASIMETRIA	-1.10

Fuente: Autor

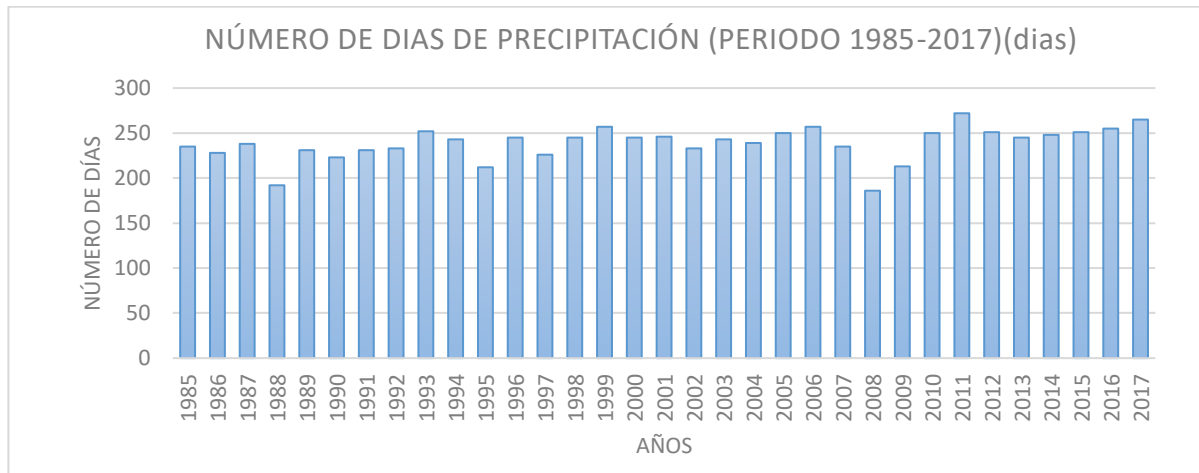


Gráfico 10.6 Número de días de precipitación histórico anual

Fuente: Autor

De las gráficas anteriores se puede concluir lo siguiente:

- Se observa, que los meses donde se presentan mayor cantidad de precipitaciones con magnitudes más altas corresponden al periodo comprendido entre **abril – junio** y las más bajas corresponden al periodo **diciembre – marzo**.

#### 10.1.4 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Para realizar el cálculo de caudal de diseño es necesario encontrar las curvas de intensidad, duración y frecuencia asociadas a diferentes tiempos de duración y periodos de retorno. En Colombia, tanto como en otros países las ciudades no cuentan con redes amplias de estaciones pluviográficas y por tal razón resulta complejo obtener las intensidades en muchas zonas del país. Actualmente, existen varias metodologías para determinar las curvas IDF, pero en sitios donde no se encuentran o se tienen estaciones pluviográficas, se hace uso de los métodos sintéticos o generalizados para determinar las curvas, los cuales hacen uso de datos pluviométricos, en combinación con otros factores.

Entre los métodos más utilizados para realizar los estudios hidrológicos, específicamente de las curvas IDF, se encuentra el de Rodrigo Vargas, el cual está basado en “definir los coeficientes básicos ( $K$ ,  $m$  y  $n$ ) de la ecuación de intensidad a partir de regresiones realizadas por estaciones en base a la regionalización de Colombia” [21]. La ecuación utilizada para este método es la siguiente:

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e$$

Otro de los métodos utilizados en Colombia, es el método de Chen, el cual consiste en establecer relaciones de intensidad, duración y frecuencia, regionalizando los parámetros  $C$ ,  $b$  y  $n$  de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{C}{(t + b)^n}$$

Este método establece relaciones de profundidad-duración para cualquier tiempo de retorno el cual es independiente del mismo, y varía regionalmente.

Dado que este proyecto no cuenta con los datos correspondientes a los registros acumulados de un pluviógrafo para poder determinar el valor de lluvia total que cayó en algún determinado impulso de lluvia, se procedió a hacer uso de las curvas publicadas por el grupo de investigación (GIREH) para el IDEAM en el año 2016.

Este grupo actualizó hasta el año 2010 las curvas IDF de 106 estaciones pluviográficas, ubicadas en distintas zonas del territorio colombiano. Haciendo uso de la información suministrada por estas estaciones, la Universidad Nacional de Colombia, aplicó cuatro métodos diferentes de estimación de curvas IDF sintéticas, comparándolos y encontrando coherencias en sus resultados en su gran mayoría. A partir de estos resultados, en el vigesimotercer seminario nacional de hidráulica e hidrología, a cargo de algunos ingenieros del grupo GIREH dieron a conocer el desarrollo de una calculadora de curvas IDF generalizadas para Colombia.

De acuerdo a los resultados encontrados y al realizar su análisis el GIREH concluyó que entre las metodologías aplicadas para el cálculo de las curvas IDF, la más confiable y que permitía menor rango de diferencias porcentuales de error era la metodología de Chen con porcentajes menor al 10%, a comparación de la metodología de Vargas y Díaz-Granados, la cual presenta errores porcentuales máximos de 30% [22]. La fórmula aceptada para esta actualización es la siguiente.

$$I = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}}$$

Para la zona de estudio, la curva IDF seleccionada fue la de la estación BASE AÉREA APIAY (VILLAVICENCIO), con código: 3503501. En la siguiente gráfica se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 10.14 Valores de coeficientes para cada tiempo de retorno

<b>TIEMPO DE RETORNO</b>	<b>C1</b>	<b>X0</b>	<b>C2</b>
<b>2</b>	1232,578	21,309	0,737
<b>3</b>	1682,669	26,717	0,759
<b>5</b>	2329,149	32,584	0,785
<b>10</b>	3387,337	39,580	0,817
<b>25</b>	5166,625	47,708	0,855
<b>50</b>	6838,190	53,212	0,881
<b>100</b>	8815,240	58,251	0,905

Fuente: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

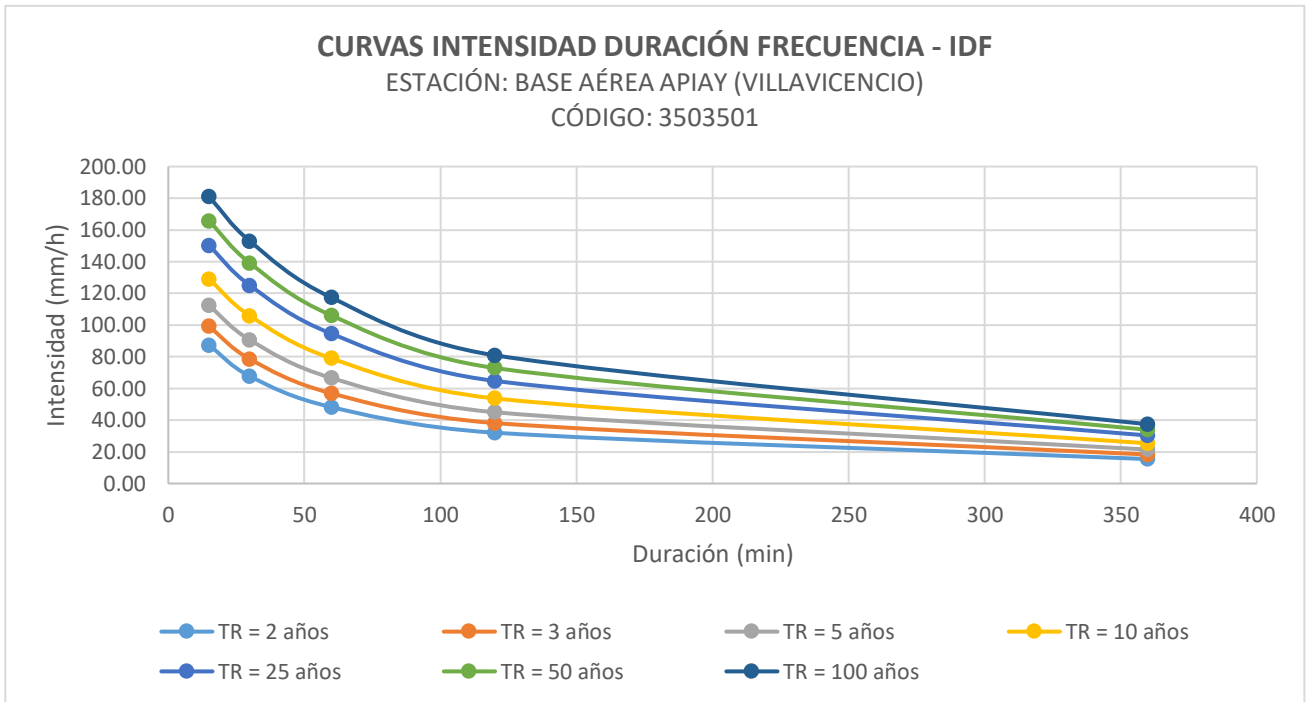


Gráfico 10.7 Curva IDF

Fuente: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Tabla 10.15 Valores de curva IDF

Duración (min)	Intensidad						
	TR = 2 años	TR = 3 años	TR = 5 años	TR = 10 años	TR = 25 años	TR = 50 años	TR = 100 años
15	87,31	99,12	112,30	129,03	150,14	165,70	180,96
<b>30</b>	67,67	78,51	90,57	105,82	124,99	139,08	<b>152,88</b>
60	48,20	56,88	66,60	78,95	94,54	106,04	117,31
120	32,07	38,16	44,99	53,71	64,75	72,90	80,92
360	15,43	18,29	21,43	25,37	30,29	33,89	37,40

Fuente: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

## 10.2. DISEÑO DE RED DE AGUAS LLUVIAS

Es la evacuación de aguas pluviales del área de la cubierta verde, proceso que consiste en la recolección de las aguas lluvias a través de canales que conducen esta agua hacia bajantes.

### 10.2.1 Intensidad

Con base en lo realizado previamente del estudio hidrológico utilizando la ecuación que define las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la zona para obtener la intensidad de la lluvia de diseño, de acuerdo con el Código Colombiano de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias NTC 1500 en el apartado 12.6.1., se estipula que “La dimensión de los conductores verticales y bajantes, desagües de la edificación y alcantarillado de aguas lluvias de la edificación y cualquier ramal horizontal de dichos desagües o alcantarillas debe basarse en el caudal de precipitación por hora de un intervalo de 100 años” [23]. Se hizo uso de la siguiente ecuación para encontrar la intensidad asociada a una determinada duración y un determinado periodo de retorno.

### 10.2.2 Cálculo de caudales de aguas lluvia

La estimación del caudal de diseño se realizó utilizando el método racional, que es el método más utilizado para el cálculo de los caudales máximos asociados a una lluvia de diseño, a partir de la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{CIA}{360} = \frac{m^3}{s}$$

Q = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)  
C = Coeficiente de escorrentía  
I = Intensidad (mm/h)

El coeficiente de escorrentía está dado en función de del tipo de suelo, la impermeabilidad entre otros factores que determinan la fracción de lluvia que se convierte en escorrentía, según la NS-085 [24](Norma técnica de servicio – criterio de diseño de sistemas de alcantarillado) se tienen los siguientes valores de escorrentía.

Tabla 10.16 Coeficientes de escorrentías de acuerdo al tipo de superficie

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubiertas	0.90
Pavimento asfáltico	0.80
Vías adoquinadas	0.75
Zonas comerciales e industriales	0.75

Fuente: Norma NS-085

El área de diseño corresponde al área en metros cuadrados de la cubierta seleccionada de 1000 m<sup>2</sup>

$$Q = \frac{0.9 \times 152,88 \times 0.1}{360} = 0.04 \frac{m^3}{s}$$

### 10.2.3 Diseño de las bajantes

El agua discurre a través de canaletas ubicadas en la cubierta; con el área de la cubierta, con la intensidad obtenida anteriormente y con ayuda de la siguiente tabla, se estableció el diámetro adecuado de las bajantes de aguas lluvias de la edificación.

Tabla 10.17 Diámetros de bajantes de aguas lluvias

Diámetro bajante (in)	Área de la cubierta proyectada horizontalmente (m <sup>2</sup> )											
	Caudal de precipitación(mm/h)											
	25	51	76	102	127	152	178	203	229	254	279	305
2	268	134	89	67	53	45	38	33	30	27	24	22
3	818	409	272	204	164	137	117	102	91	82	74	68
4	1709	855	569	427	342	285	244	214	190	171	156	142
5	3214	1607	1071	804	643	536	459	402	357	321	292	268
6	5017	2508	1672	1254	1003	836	717	627	557	502	456	418
8	10776	5388	3592	2694	2155	1794	1539	1347	1197	1078	980	892

Fuente: Código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias NTC 1500

Se proyectaron bajantes de diámetro igual a 4", teniendo en cuenta que para una intensidad aproximada de 152,88 mm/h una bajante de este diámetro puede recoger el agua vertida de hasta un área de 214 m<sup>2</sup>. De acuerdo con el área cubierta por una bajante, se determina un total de 5 bajantes de 4" es suficiente para la recolección del agua de la cubierta.

### 10.2.4 Dimensionamiento canales

Las cubiertas entregan el agua a canales rectangulares, quienes a su vez con una pendiente de 1% transportan el agua hacia las bajantes, "el dimensionamiento de estas canales se hace a partir de la siguiente tabla" [25].

Tabla 10.18 Dimensionamiento de canales para aguas lluvias

Base (cm)	Capacidad de canales rectangulares M2 (L/s)					
	Pendiente 0.25% (cm/m)					
	Altura total incluyendo borde libre (cm)					
	10	15	20	25	30	35
10	92.00 (2.55)	152.2 -4.23	215 -5.96	278 -7.73	342 -9.51	407 -11.3
15	159.1 -4.42	271 -7.52	388 (10.790)	510 -14.16	633 -17.58	757 -21.04
20	231 (6.42)	401 -11.14	583 -16.2	772 -21.5	966 -26.8	1163 -32.3
25	306 -8.5	539 -14.96	792 -22	1057 -29.4	1331 -37	1611 -44.7
30	383 -10.6	682 -18.9	1010 -28.1	1358 -37.7	1719 -47.8	2090 -58
35	460	828	1236	1672	2126	2593

Base (cm)	Capacidad de canales rectangulares M2 (L/s)					
	Pendiente 0.25% (cm/m)					
	Altura total incluyendo borde libre (cm)					
	10	15	20	25	30	35
	-12.8	-23	-34.3	-46.4	-59	-72

Fuente: Redes hidráulicas y sanitarias en edificios, 2002

Se proyectan canales para la recolección de aguas lluvias de 0.25\*0.25 metros lo cual garantiza la recolección del agua lluvia en nuestra cubierta, debido a que nuestra área ronda los 1000 m<sup>2</sup> y la canal tiene una capacidad de recolección para un área mayor, además de esto la cubierta tiene un porcentaje de retención de 40% antes de su punto de encharcamiento, dato el cual fue determinado durante las visitas y mantenimiento realizado durante la segunda siembra en el mes de febrero descrito en el capítulo 9.2.2.

### 10.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el diseño del tanque de almacenamiento se toma el caudal de diseño, el cuál será el que llegará a este y se tomará a su vez el tiempo de concentración mínimo establecido en el literal "D.4.4.3.4.2 del RAS 2010" [26], el cual es 15 minutos (900 segundos), pero para mayor seguridad se toma un tiempo mínimo de concentración de 30 minutos (1800 segundos) y se procede a calcular el volumen del tanque de almacenamiento.

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow V = Q \cdot t$$

$$V = 0,05 \frac{m^3}{s} \cdot 1800 s = 90 m^3$$

Ya teniendo el volumen del tanque, se procede a calcular las dimensiones del tanque para lo cual se toma una altura de 3 m para permitir el ingreso de personal a mantenimiento del mismo. Las medidas de largo y ancho son 6 m y 5 m, respectivamente y la llegada del agua lluvia al tanque será por encima de la estructura.

Teniendo en cuenta el caudal hallado anteriormente para cada bajante de 214 mm/hr y haciendo su conversión a m<sup>3</sup>/día, multiplicándolo por las 5 bajantes obtenemos un caudal de 25 m<sup>3</sup>/día lo que indica que el tanque alcanzaría su nivel máximo a los 1.8 días de lluvia continua, estos excesos son conducidos al terreno para su posterior infiltración.

Mediante la siguiente ecuación de Manning se calcula el diámetro de la tubería que conecta el sistema de aguas lluvias al tanque de almacenamiento.

$$Q = 0.312 * \left( \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \right)$$

Despejando el diámetro, se obtiene el siguiente resultado:

$$D = 1.548 \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} = 1.548 \left( \frac{0.04 * 0.012}{0.025^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.17 \text{ m} \cong 6 \text{ in}$$

Se concluye que se necesita una tubería de 6", y se procede a corroborar los valores de esfuerzo cortante, velocidad garantizando que estos valores se encuentren dentro de los parámetros requeridos por la normativa y de igual manera garantizando el correcto funcionamiento de la tubería.

$$\text{Radio hidráulico a tubo lleno} = R_o = \frac{D}{2} = \frac{0.160}{2} = 0.08 \text{ m}$$

$$\text{Área a tubo lleno} = A_o = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0.160^2}{4} = 0.017 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad a tubo lleno} = V_o = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} = \frac{0.08^{2/3} 0.025^{1/2}}{0.012} = 2.51 \text{ m/s}$$

$$\text{Caudal a tubo lleno} = Q_o = V_o * A_o = 2.45 * 0.02 = 0.041 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con los anteriores valores se procede a calcular las relaciones hidráulicas, para ello se hace uso de la tabla de relaciones hidráulicas que ofrece el libro "Hidráulica de tuberías" del ingeniero Juan Saldarriaga.

$$\frac{Q}{Q_o} = 0,97$$

$$\frac{H}{D} = 1.103 \rightarrow H = 1.103 * 0.160 = 0.16 \text{ m}$$

$$\frac{d}{D} = 0.876 \rightarrow d = 0.876 * 0.160 = 0.127 \text{ m}$$

$$\frac{R}{R_o} = 1.197 \rightarrow R = 1,197 * 0.073 = 0.174 \text{ m}$$

$$\frac{V}{V_0} = 1.036 \rightarrow V = 1.036 * 2.51 = 2.59 \text{ m/s}$$

Finalmente, calculamos el esfuerzo cortante que de acuerdo a la resolución 0330 de 2017, este debe estar por encima de 1 N/m<sup>2</sup> (1 Pa)

$$NF = V * g * H = 2.55 * 9.81 * 0.231$$

$$\tau = 9810 * R * S = 9810 * 0.174 * 0.025 = 32,7 \text{ Pa}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * H}} = \frac{2.59}{\sqrt{9.81 * 0.16}} = 1.42$$

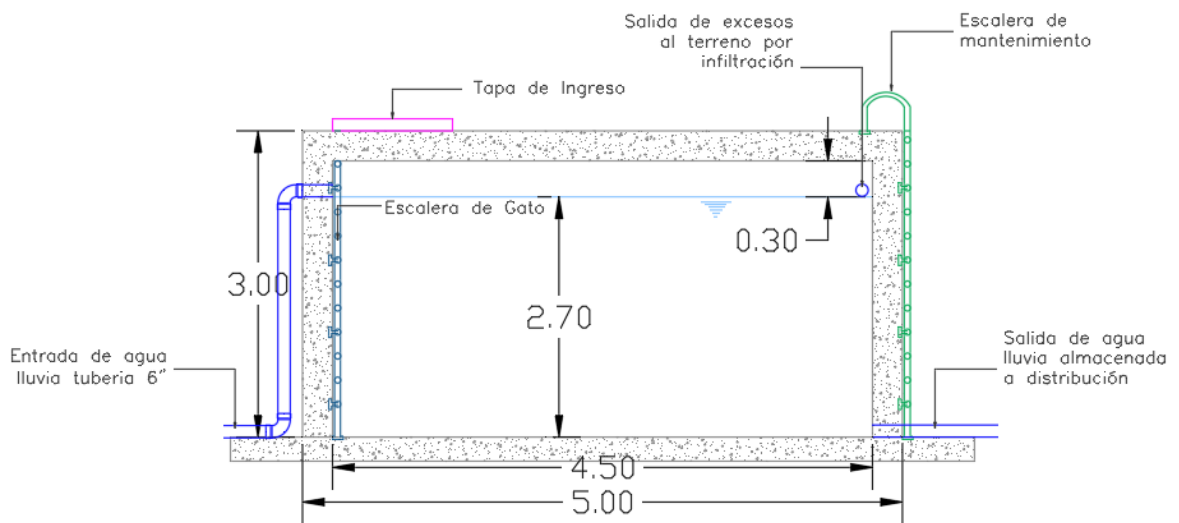


Ilustración 10.2 Tanque de almacenamiento de aguas lluvias  
Fuente: Autor

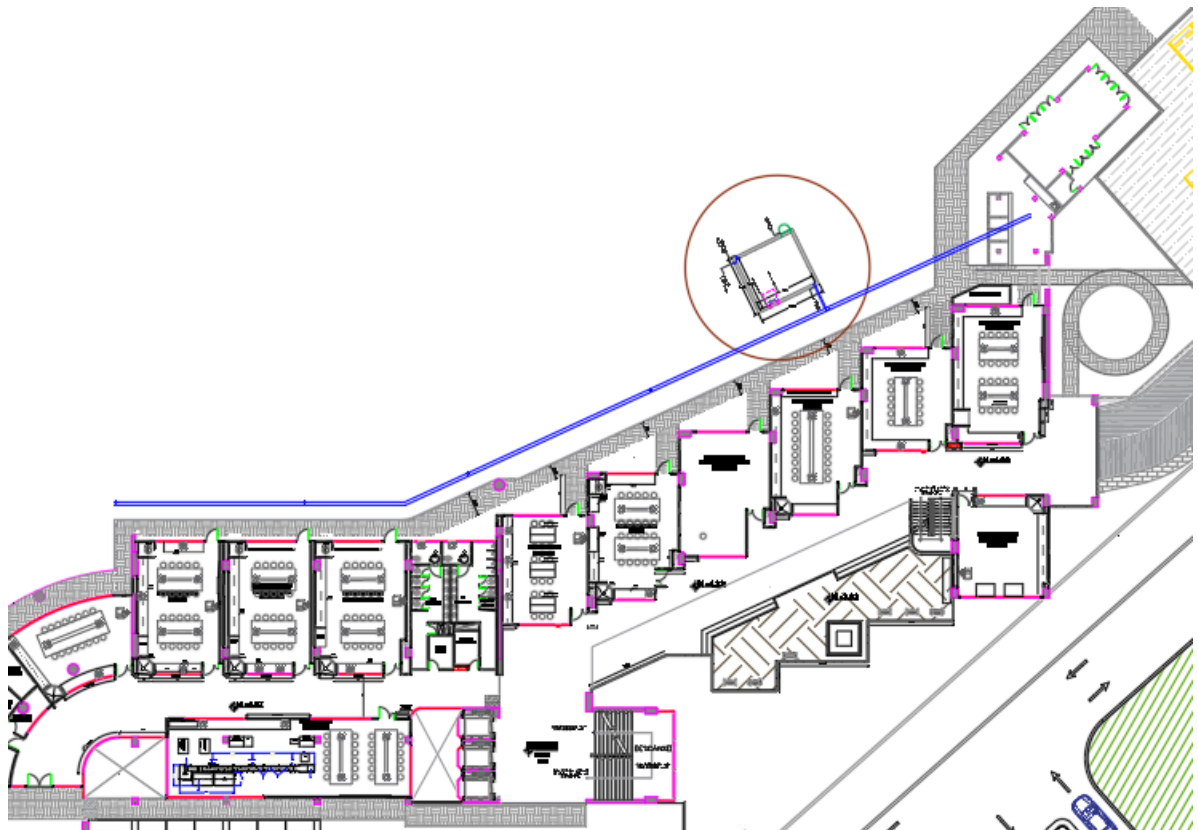


Ilustración 10.3 Implantación en planta de ubicación del tanque de almacenamiento  
Fuente: Autor

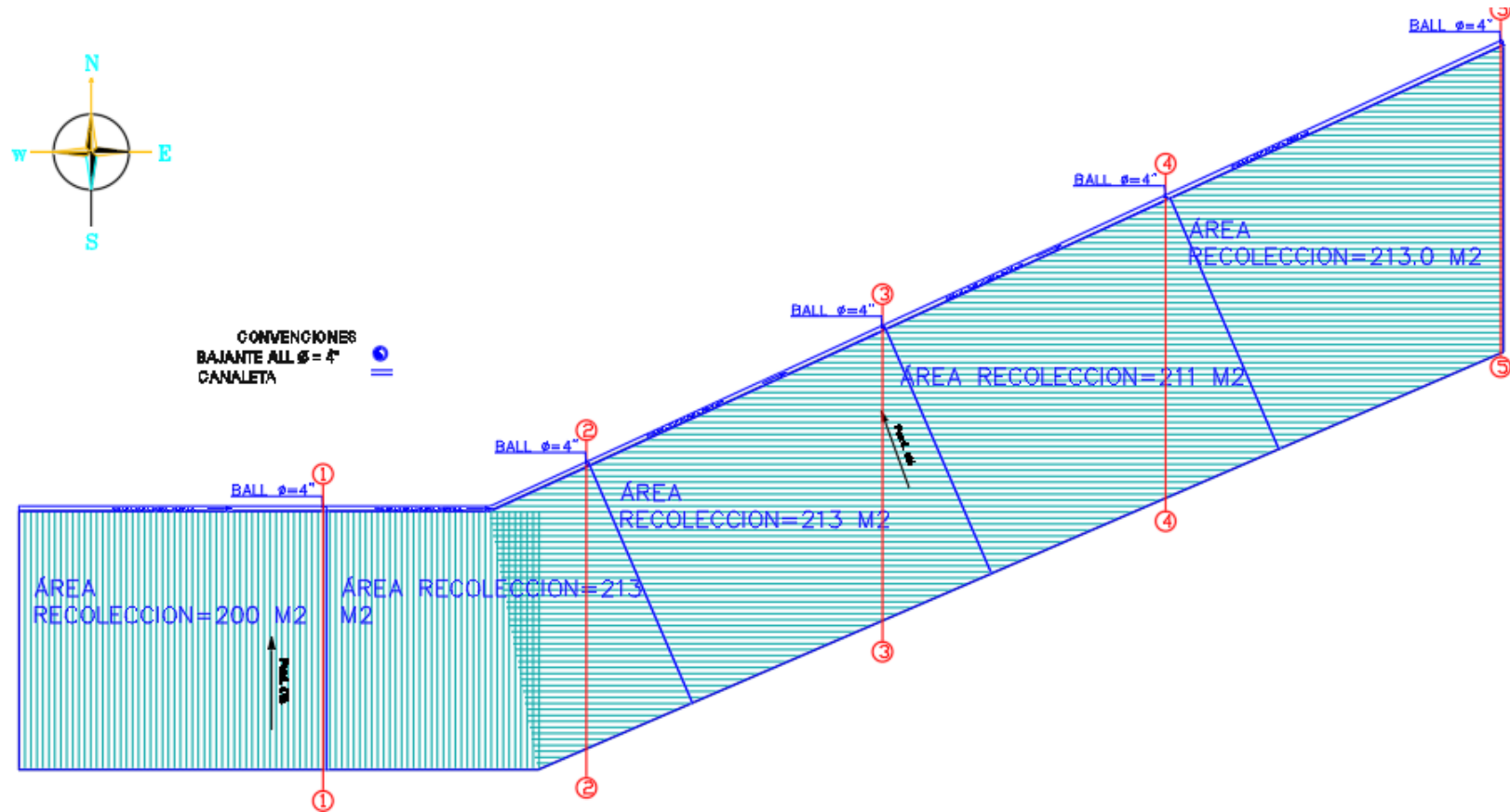


Ilustración 10.4 Sistema de canales de la cubierta verde  
Fuente: Autor

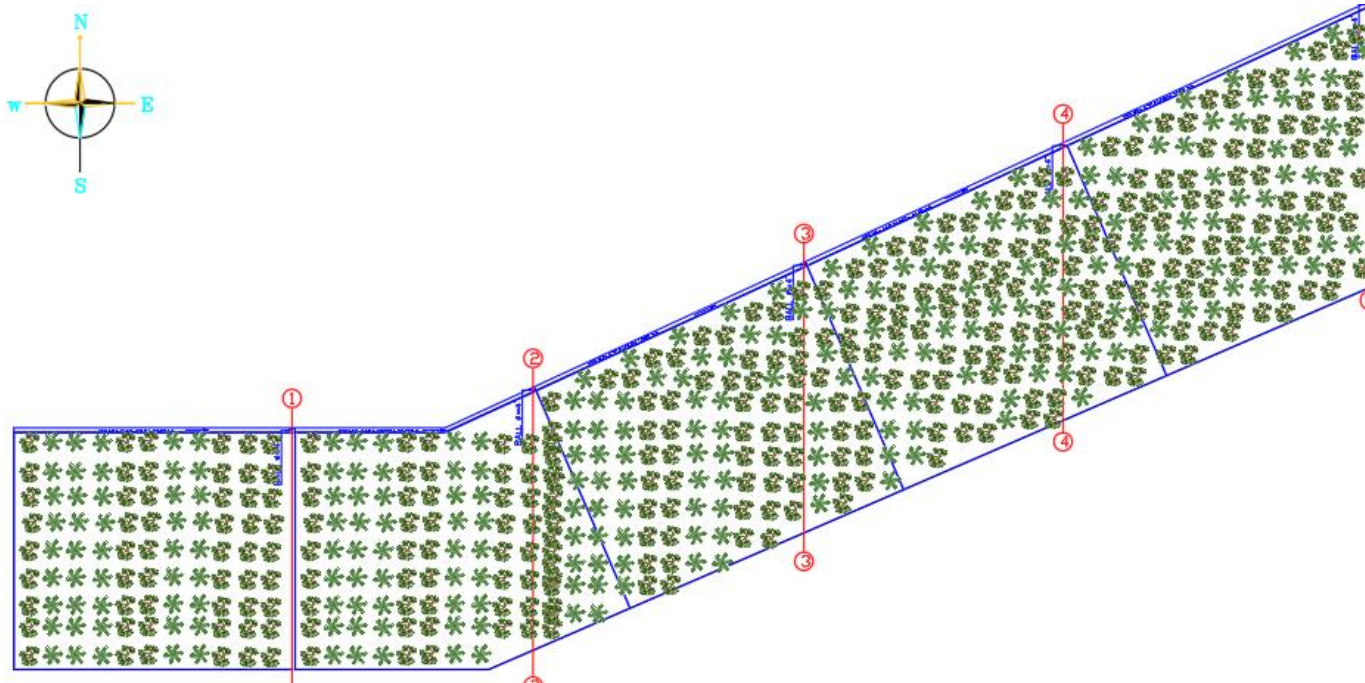


Ilustración 10.5 Modelo de cubierta verde  
Fuente: Autor

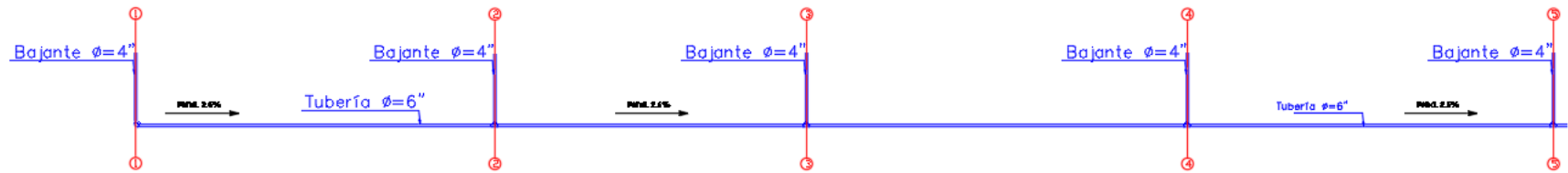


Ilustración 10.6 Unión de bajantes de aguas lluvias hacia tanque de almacenamiento  
Fuente: Autor

## 11. DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO

Para el diseño de la losa que soportará la cubierta verde de tipo extensivo, se tuvieron en cuenta los requerimientos y especificaciones establecidas en los capítulos 9, 11 y 13 de la NSR-10 [27] los cuales determinan los mínimos requerimientos de diseño que se deben tener en cuenta al momento de diseñar una losa de concreto.

### 11.1. PREDIMENSIONAMIENTO

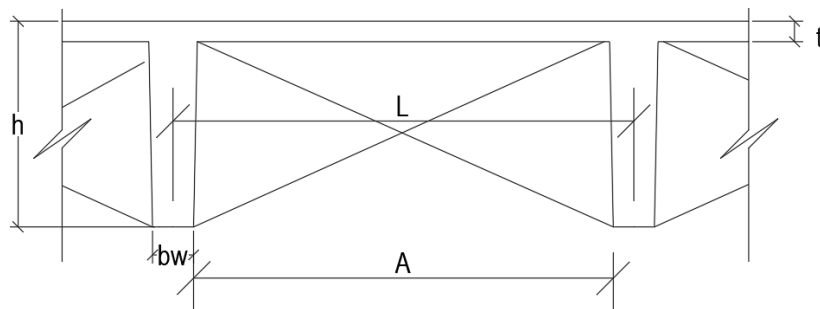


Ilustración 11.1 Losa nervada típica. Fuente propia

Para el predimensionamiento de la losa, se tienen en cuenta las consideraciones que se establecen en la norma, las cuales son:

- El ancho de los nervios o viguetas ( $b_w$ ) no deben ser inferior a 100 mm en su parte superior y 80 mm en su parte inferior. Para este caso tanto el ancho inferior como superior se toma de 100 mm
- La altura libre del nervio ( $h-t$ ) no debe ser mayor a 5 veces el espesor del nervio o viga. Para este caso tomamos una altura libre de 0,45 m
- La loseta superior, debe tener más de 45 mm de espesor, pero no menos de  $1/20$  de la distancia libre entre nervios, es decir 0,05 m, así que tomamos ese para diseño. Por consiguiente, la distancia libre entre nervios la tomamos de 1 m
- La separación máxima entre nervios o viguetas medida centro a centro, no debe ser mayor a 2,5 veces el espesor total de la losa y menor a 1,20 m. Sabiendo que el espesor de la loseta superior es de 0,05 m y la altura libre del nervio es de 0,45, tenemos una altura ( $h$ ) total de 0,55 m, entonces:

$$L (m) = 2,5 \cdot 0,5 = 1,25 m$$

Tomamos entonces, una separación máxima de 1,20 m.

- Para el diseño de esta losa que será en un sentido de acuerdo a la norma, se establece que para este tipo de losas se deben diseñar además viguetas transversales de repartición (riostras) en sentido ortogonal a las de diseño, las cuales deben tener una separación máxima de 10 veces el espesor total de la losa nervada o máximo 4 m. Estas riostras también se diseñarán en este capítulo.

## 11.2. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Para el análisis de cargas se tuvieron en cuenta los pesos de cada uno de los estratos de la cubierta vegetal, el peso propio de la losa nervada y la carga viva establecido en el título B de la NSR-10, el cual para edificaciones es de 2 KN/m<sup>2</sup>.

Para cuestiones de diseño, se utilizará un concreto de resistencia  $f'c = 21,1$  MPa, con peso específico de 24 KN/m<sup>3</sup> y acero de refuerzo con  $Fy = 420$  MPa.

Las cargas se calcularon por metro cuadrado, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 11.1 Determinación de cargas cubierta verde

Carga	Especificación	Valor (Kg/m <sup>2</sup> )	Valor (KN/m <sup>2</sup> )
Muerta	Capa de caucho	5	0,049
	Capa de abono (saturada)	105	1,03
	Plantas	3	0,029
	Impermeabilizante	-	0,05
TOTAL CARGA CUBIERTA			1,158

Fuente: Autor

Tabla 11.2 Análisis de cargas

Carga	Especificación	Cálculo	Valor (KN/m <sup>2</sup> )
Muerta	Loseta de recubrimiento	$0,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24$	1,2
	Viguetas	$0,1 \cdot 0,45 \cdot 1 \cdot 24$	1,08
	Cubierta verde	-	1,158
	Total carga muerta		3,44
Viva	Total carga viva		2
	Total carga de diseño		5,44
	Carga por vigueta	$5,44 \cdot 1,2$	6,53

Fuente: Autor

### 11.3. ANÁLISIS DE MOMENTOS Y CORTANTES

Para el cálculo de los momentos flectores y esfuerzos cortantes generados en la losa nervada, la cual es en una dirección, se tuvieron en cuenta las especificaciones del capítulo C.13 de la NSR-10 dependiendo si son losas en apoyos simples o apoyos continuos. En la ilustración 11-2 se muestra un esquema de la geometría que tendrá la cubierta donde estará la losa.

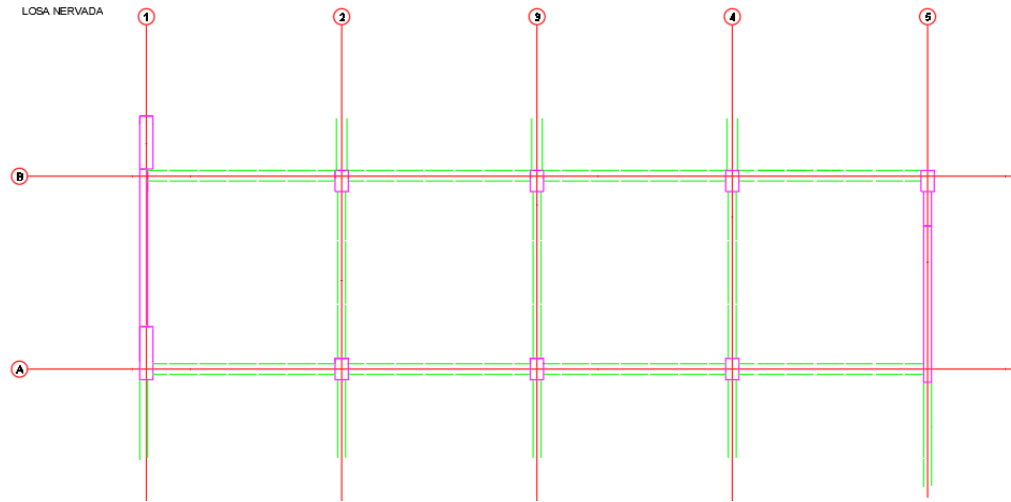


Ilustración 11.2 Geometría de la cubierta.  
Fuente: Autor

Como se observa la losa estará soportada por columnas de 30x50 cm a sus extremos por moros estructurales y tiene vigas longitudinales de 40x50 cm y perpendiculares de 30x50 cm, de acuerdo a los planos suministrados por la oficina de planta física de la universidad. Debido a que hay voladizos en los extremos del eje y de la cubierta, los nervios de la losa se situarán en forma perpendicular al eje x.

A continuación, se muestran los cálculos de los momentos flectores y esfuerzos cortantes a los cuales se someterá la losa nervada.

$$M_A = M_B = \frac{w_u \cdot l_n^2}{24} = \frac{6,53 \cdot 7^2}{24} = 13,33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Luz A-B} = \frac{w_u \cdot l_n^2}{16} = \frac{6,53 \cdot 7^2}{16} = 20,00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{A-i} = \frac{w_u \cdot l_n}{2} = \frac{6,53 \cdot 3,12}{2} = 10,19 \text{ kN}$$

$$V_{A-d} = V_{B-i} = 1,15 \cdot \frac{w_u \cdot l_n}{2} = 1,15 \cdot \frac{6,53 \cdot 7}{2} = 26,28 \text{ kN}$$

$$V_{B-d} = \frac{w_u \cdot l_n}{2} = \frac{6,53 \cdot 1,95}{2} = 6,37 \text{ kN}$$

Seguidamente se calcula el coeficiente de mayoración de momentos y cortantes, asumiendo como necesario el coeficiente de carga muerta 1,4 y para carga viva de 1,6.

$$W_u = 1,4 \cdot 3,44 + 1,6 \cdot 2,00 = 8,02$$

$$U = \frac{8,02}{5,44} = 1,47$$

$$F.S \text{ flexión} = \frac{1,47}{0,9} = 1,63$$

$$F.S \text{ a cortante} = \frac{1,47}{0,75} = 1,96$$

Teniendo estos valores se procede a realizar el diseño del acero de refuerzo de la losa. Se realizará el procedimiento de diseño de un valor de momento flector ( $M_k$ ) y uno de esfuerzo cortante ( $V_{k-i}$ ) como sustento metodológico, las demás franjas de diseño se mostrarán resumidas en las tablas 11-3 y 11-4

### 11.3.1 Diseño a flexión

$$\phi M_n = 1,63M = 1,63 \cdot 13,33 = 21,73 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot \rho \cdot Fy \cdot \left(1 - \frac{0,59 \cdot \rho \cdot Fy}{f'_c}\right) \cdot b \cdot d^2$$

Tomando un recubrimiento para el refuerzo de acero de 3 cm, la altura efectiva  $d$  queda de 47 cm, procedemos por medio de tanteos sucesivos encontrar un valor de cuantía que satisfaga la condición de momento nominal, para este caso:

$$\rho = 0,00268$$

$$As \text{ (cm}^2\text{)} = \rho \cdot b \cdot d = 0,00268 \cdot 10 \cdot 47 = 1,26 \text{ cm}^2$$

Para esta cantidad de refuerzo se decide que el acero superior sea 1 barra de ½ pulgada y el acero inferior van a ser 2 barras de 3/8 pulgada

### 11.3.2 Diseño a cortante

$$V_{A.i} = 10,19kN$$

$$V_u = 10,19 \cdot 1,96 = 19,97kN$$

$$\phi V_c = 0,17 \cdot \Phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot d = 0,17 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{21,1} \cdot 0,10 \cdot 0,47 = 27,52 \frac{kN}{m^2}$$

$$\phi V_s = \phi V_c - V_u = 27,52 - 19,97 = 7,55 \frac{kN}{m^2}$$

Para el estribo escogemos barra número 2 (1/4 pulgada) con área de 0,32 cm<sup>2</sup> y se calcula el espaciamiento.

$$S (cm) = \frac{0,9 \cdot (2 \cdot 0,32) \cdot 4200}{7,55 \cdot 10} = 32,04 cm$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{47}{2} = 23,5 cm$$

Se deben colocar flejes número 2 cada 23 cm.

### 11.3.3 Loseta superior

La loseta superior o de recubrimiento se arma perpendicularmente a las viguetas. Conforme a la especificación del capítulo C.7 el refuerzo corrugado empleado como refuerzo de retracción y fraguado debe colocarse de acuerdo a la especificación Fy. Para el tipo de refuerzo en este caso de 420 MPa, en losas es:

$$0,0018 * 0,05 = 0,00009 \frac{m^2}{m} =$$

Con barra número 4 (1/2 pulgada) con área de 0,000129 m<sup>2</sup> (1,29 cm<sup>2</sup>), se calcula el espaciamiento

$$S(m) \leq 5t = 5 \cdot (0,05) = 0,25 m$$

### 11.3.4 Riostras

Para el diseño de las riostras se toman viguetas en T de 1,20 x 0,5 m (estructuralmente de 1,10 x 0,5 m). Al momento de diseñar las viguetas riostras para

este caso se toma en momento flector nominal más desfavorable y se corrobora la cuantía de diseño con las dimensiones de las viguetas riostra, así:

$$\phi M_n = 1,63M = 1,63 \cdot 20,00 = 32,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$29,4 = 0,9 \cdot \rho \cdot 420000 \cdot \left(1 - \frac{0,59 \cdot 420}{21,1}\right) \cdot 1,10 \cdot 0,47^2$$

$$\rho = 0,000356$$

$$A_s (m^2) = \rho \cdot b \cdot d = 0,000356 \cdot 1,10 \cdot 0,47 = 0,000166 \text{ m}^2 = 1,84 \text{ cm}^2$$

Este refuerzo es el requerido por análisis sin comparar con el mínimo.

Para esta cuantía:

$$a = \frac{0,000356 \cdot 420 \cdot 0,47}{0,85 \cdot 21,1} = 0,00392$$

$$\text{Prof eje neutro} = 0,00392 \cdot 1,20 = 0,0047 \text{ m}$$

Por medio de esta verificación, puede corroborarse que el diseño es aceptable. Posteriormente para el colocar el refuerzo de 1,84 cm<sup>2</sup> se decide usar la armadura de 1  $\phi$  1/2 " + 1  $\phi$  3/8 " .

Tabla 11.3 Resumen de valores de diseño a flexión

Eje	M (kN-m)	$\phi M_n$ (kN-m)	$\rho$	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$\emptyset$
A = B	13,3	21,73	0,00268	1,26	Superior – 1 # 4 Inferior – 2 # 3
A-B	20,00	32,6	0,0041	1,95	Inferior – 1 # 5

Fuente: Autor

Tabla 11.4 Resumen de valores de diseño a cortante

Eje	V (kN)	V <sub>u</sub> (KN)	$\phi V_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi V_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	S (cm)	E
A-i	10,19	20,00	27,52	7,52	23	# 2 c / 0,23 m
A-d = B-i	26,28	51,5	27,52	23,98	10	# 2 c / 0,10 m
A-d	6,37	12,48	27,52	15,04	16	# 2 c / 0,16 m

Fuente: Autor

## **12. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con respecto al análisis y discusión de los resultados encontrados en el trabajo de grado, con relación a los objetivos del proyecto, se puede decir que:

A través del análisis climatológico realizado en la zona de estudio, los meses en los cuales se da menor captación de agua son los intervalos Diciembre – Marzo y Junio – Julio y por consecuencia menor ahorro de agua potable. Esto trae consigo que, durante estas épocas el mantenimiento y riego de la cubierta deba ser más constante y cuidadoso.

El área de estudio identificada y seleccionada para aplicar el sistema de cubierta verde, fue apropiada dadas las condiciones de altas temperaturas y precipitación que había en la zona de estudio. Lo anterior, se hizo evidente mediante los ensayos y montajes experimentales realizados a escala y presentados en el capítulo 9.2, donde se puede analizar la relevancia que poseen los factores tanto climáticos como físicos de las plantas para su selección y los riegos semanales (o cada dos semanas de acuerdo a la intensidad de lluvia) que se les deben realizar para prolongar la vida útil de la cubierta.

De igual forma cabe aclarar que, el montaje experimental realizado no tiene en cuenta los factores extremos y reales a los que se encontraría la cubierta sometida en la zona de estudio ya que, la cubierta se encontraría a unos 24,5 m de altura (7 pisos) en donde las condiciones de temperatura y de viento serían un poco más desfavorables, a los demás factores de diseño si se tuvieron en cuenta al momento de su diseño.

Por otro lado, para cuestiones de diseño se tomó la decisión de distribuir la captación de aguas lluvias por medio de 5 bajantes de 4 pulgadas cada una para el área de 1000m<sup>2</sup>, cada una cubriendo un área específica de 203 m<sup>2</sup>, ya que era más favorable y óptimo permitir que el agua captada bajara por varios puntos específicos además de prever escenarios en los cuales alguna de las bajantes llegara a sufrir taponamientos y generar daños en la cubierta y posibles filtraciones en la estructura.

Una vez diseñado el sistema de bajantes de aguas lluvia se hizo necesario realizar el diseño de un tanque de almacenamiento, en el cual se depositaría el agua proveniente de la cubierta y la cuál sería utilizada para suplir necesidades de tipo doméstico y sanitario (jardinería, baños y lavados de pisos).

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño de la losa nervada en una dirección, se puede analizar en primera instancia que cumple con los requisitos mínimos establecidos en la norma, además que las cargas que debe soportar son mínimas comparadas a las normalmente calculadas para entrepisos.

Por otro lado, realizando una comparación con los planos adquiridos por parte de la universidad, la distribución de aceros y dimensiones geométricas no se salen del rango límite establecido en la norma. De igual forma algunos momentos flexionantes y esfuerzos cortantes generados por la cubierta y el peso propio de la losa no requieren el uso de aceros, pero por seguridad se coloca el mínimo refuerzo establecido en la norma.

Debido a la configuración geométrica de la terraza, se realizó el diseño de la sección rectangular descrita en el capítulo 11, y la tipificación de esta será aplicada a toda la terraza ya que los pesos actuantes sobre la misma no variarán y siempre se mantendrán de acuerdo a los establecidos en la caracterización de la cubierta.

### 13. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

El desarrollo del proyecto tuvo como resultado cuatro productos finales que corresponden cada uno a los objetivos específicos planteados.

Tabla 13.1. Productos finales.

<b>Resultado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Objetivo Relacionado</b>
Análisis climatológico de la zona de estudio	Tablas y gráficos (bases de datos del IDEAM)	Objetivo específico 1
Sistema de cubierta verde	Montaje experimental	Objetivo específico 2
Diseño de bajantes de aguas lluvias		Objetivo específico 3
Diseño de la losa de concreto	Planos y memorias de cálculos	Objetivo específico 4
Diseño de tanque de almacenamiento		Objetivo específico 3

Fuente: Autor

El primer producto hace referencia al análisis climatológico que realizado con base a la información suministrada por la entidad IDEAM, la cual sirvió de base para determinar los valores de caudales necesarios para el diseño de las bajantes de aguas lluvia. Este producto se muestra por medio de tablas y gráficos que permite observar el comportamiento de la precipitación durante los últimos 20 años.

El segundo producto corresponde al montaje experimental de un modelo de cubierta verde el cual tuvo como finalidad determinar, de acuerdo a la climatología de la zona, el tipo y características de los sustratos y plantas que mejor se adaptaron a estas condiciones además de generar el menor peso posible a la estructura soportante. Este es mostrado a través de evidencias fotográficas y descripción de las mismas.

Para el resultado del tercer producto, se tuvo como base el producto arrojado por el primer objetivo específico (análisis climatológico), y a partir de este se determinaron las variables necesarias para el cálculo de los caudales de diseño de las bajantes, para lo cual fueron necesarias gráficas de curvas IDF, tiempos de concentración, e intensidad de lluvia.

Finalmente, el resultado del último producto es el diseño de una losa de concreto nervada en una dirección que cumple con los requisitos de diseño establecidos por la NSR-10 para una zona de la cubierta del bloque B de la universidad, los cálculos realizados se encuentran en el cuerpo del trabajo y anexo él los planos tanto de las bajantes de aguas lluvia como de la losa.

Estos resultados traerán beneficios no solo a la población de la zona de estudio y a los autores que se encuentran desarrollando el proceso investigativo, sino también

impactará socialmente a las entidades territoriales que podrán tomar este estudio como punto de partida para futuros proyectos y planes que beneficien a la ciudad de Villavicencio en mayor magnitud.

A continuación, en la tabla 13.2 se presentan de forma detallada cada uno de los impactos que se generan con el desarrollo de este proyecto.

Tabla 13.2. Impactos del proyecto

<b>Aspecto</b>	<b>Impacto</b>	<b>Supuesto</b>	<b>Plazo</b>
<b>Académico</b>	Diseño del sistema de cubierta verde	Teorías encaminadas al desarrollo y construcción de nuevo conocimiento acerca de sistemas de recolección de aguas más eficiente.	Corto
<b>Académico</b>	Diseño de losa de concreto	Desarrollo y aplicación de conocimiento relacionado al uso de losas de concreto en proyectos de infraestructura ambientales.	Corto
<b>Social</b>	Mayor iniciativa e interés por el desarrollo de proyectos similares en la ciudad.	Formulación, planeación y ejecución de nuevos proyectos de ingeniería civil relacionados con la implementación de cubiertas verdes tanto en edificaciones de uso institucional como en urbanizaciones.	Largo
<b>Social</b>	Menor contaminación visual de la zona y zonas aledañas	Mejor posicionamiento mundial de acuerdo al desarrollo y conservación de la biodiversidad.	Largo
<b>Económico</b>	Recuperación y optimización de las zonas de vegetación en la ciudad.	Innovación en la creación de nuevos sistemas constructivos que contribuyan a la recuperación de la vegetación en la ciudad y el país.	Largo
<b>Económico</b>	Regulación de la escorrentía de las aguas lluvias y aprovechamiento de ellas.	Tratamiento más práctico de aguas residuales. Disminución de riesgos de inundación en las calles y taponamiento en los colectores principales de la ciudad.	Largo
<b>Técnico</b>	Planeación de políticas ambientales aplicadas a nuevos proyectos de infraestructura.	Creación de políticas y normas que obliguen a hacer uso de modelos de cubiertas verdes en las edificaciones.	Largo

Fuente: Autor

## **14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

### **14.1. CONCLUSIONES**

- El análisis climatológico se realizó para las condiciones hidrológicas descritas en el desarrollo del trabajo, las cuales pueden variar por fenómenos macro climáticos como el fenómeno de la niña y el niño generando volúmenes mayores o menores, pero de acuerdo al seguimiento realizado durante el montaje experimental las temperaturas excedieron los 35°C, factor que favoreció el análisis del comportamiento de las plantas ante estos eventos de temperatura extremos.
- Es fundamental la adecuada caracterización y análisis de factores climatológicos de la zona y físicos de las plantas, y así seleccionar el tipo de vegetación más favorable para la cubierta ya que de esta dependerá su correcto funcionamiento y vida útil. Como se pudo evidenciar en el capítulo 9, una de las ventajas más significativas que se pudo determinar durante el montaje experimental fue la capacidad de retención de agua que tuvieron las plantas durante estos eventos extremos de temperatura, lo cual se observó durante los 7 días posteriores al riego donde las plantas poseían aún sus características físicas, iniciales (colores vivos y humedad en sus hojas).

Lo anterior se debe también a que, en este tipo de plantas sin flores (Cinta y Vinca), el agua almacenada por sus raíces debe repartirse solamente a sus hojas y al no tener flores, el agua se distribuye de mejor forma adaptándose cada vez mejor a los cambios de temperatura. Por tal razón el manteamiento y riego necesario se reduce.

- A su vez, como proceso constructivo no hay brecha grande alguna para pensar que es costoso, ya que los materiales e insumos para su elaboración se pueden encontrar en el medio local y sus costos de operación son considerablemente bajos de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Cada una de las capas que conformaron el sustrato del modelo de cubierta verde contribuyó notablemente al funcionamiento y la vida útil de las plantas, de la siguiente forma:
  - ✓ Por un lado, la capa de abono utilizada en los experimentos aportó a retener excesos de precipitaciones entre un 20% - 30%, lo que generó no solo retener los excesos de caudales en intensidades bastante altas, sino también en el aprovechamiento de esta agua para mantener a las plantas hidratadas en eventos de altas temperaturas.

- ✓ Por otro lado, la capa de caucho molido y la geomalla cumplieron con la función de evitar el paso de partículas de material orgánico (abono) a través de la tubería de captación de agua lluvia, realizar un primer escenario de limpieza del agua y así impedir posibles taponamientos en las canales.
  
- Se debe realizar mantenimiento y riego constante a la cubierta verde para las temporadas de sequía correspondientes a los meses de diciembre, enero, febrero y marzo semanalmente, para los demás meses el riego puede darse cada dos semanas o cada mes, de acuerdo a los días de precipitación y temperaturas analizadas en el estudio de hidrología de la zona de estudio.
  
- De acuerdo con el caudal calculado en el diseño hidráulico se determinaron la utilización de cinco bajantes de 4 pulgadas para la recolección y transporte de aguas lluvias al tanque de almacenamiento de manera suficiente y segura.
  
- Debido a que se diseñó el tanque de almacenamiento de agua lluvia recolectada para posible distribución de usos secundarios como jardinería, lavado de pisos, usos sanitarios entre otros, se recomienda realizar un estudio para un mejor tratamiento del agua y la red de distribución de esta agua que cumpla con la normativa vigente.
  
- La losa de concreto diseñada para la cubierta cumplió con los requerimientos mínimos de diseño y se convierte en la estrategia más óptima para la colocación de la cubierta verde y su correcto funcionamiento.

## **14.2. TRABAJOS FUTUROS**

El desarrollo de este proyecto de investigación generó una propuesta innovadora para la Universidad Santo Tomás, para el aprovechamiento de las aguas lluvia, reducción en costos de servicios, y reducción en las altas temperaturas que se generan en ciertas temporadas del año. Además de ser una oportunidad para incentivar a demás entidades de la ciudad a generar propuestas más favorables con el medio ambiente y con la optimización de los recursos que poseemos en la ciudad y el departamento.

Esta propuesta podría ser tomada más adelante para realizar estudios más profundos ya hacia la implementación del sistema como tal, ya que posteriormente serán necesarios estudios de factibilidad, costos, tiempo, beneficio, realizar la planeación de la obra y llevarla a cabo. A su vez, podría ser tomada también por otras entidades como estado de arte para la elaboración de proyectos de la misma temática.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Valbuena de Rhodes, Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio en un hogar de Honda, Tolima, Bogotá, Colombia, 2012.
- [2] N. Cristancho, Techos verdes en Bogotá, una alternativa ambiental on beneficios técnicos, Bogotá D.C.: Universidad la Gran Colombia, Facultad de ingeniería civil, 2011.
- [3] S. Barrera, «Introducción a la problemática del medio ambiente,» Bogotá, D.C., Departamento de ingeniería civil y ambiental Universidad de los Andes, 1999, pp. 70-71.
- [4] IDEAM, «[www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co),» 28 Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>. [Último acceso: 28 Febrero 2018]. [Último acceso: 28 Febrero 2018].
- [5] EMSA, «Exceso de calor aumenta el consumo de energía eléctrica,» *Noticiero del llano*, 23 Febrero 2018.
- [6] S. d. i. d. Meta, «Cerca de 140 litros diarios de agua por persona se desperdician en Villavicencio,» *El tiempo*, 01 Octubre 2017.
- [7] Ecotelhado, «Ecotelhado,» 20 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://ecotelhado.com.co/ecotejados-techos-verdes/>. [Último acceso: 20 Abril 2018].
- [8] V. Henriques y O. Cano, «Cubiertas verdes: una alternativa ambiental,» pp. 2-3, 2009.
- [9] M. Gálvez, Efecto del uso de techo y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2014.
- [10] M. Gálvez, Recomendaciones técnicas para proyectos de cubiertas verdes, Santiago de Chile: Providencia, 2008.
- [11] Hogarmanía, «Jardinatis,» [En línea]. Available: <https://www.hogarmania.com/jardinaria/fichas/plantas/201501/vinca-27635.html>. [Último acceso: 02 Junio 2019].
- [12] C. Velez, Un acercamiento a las cubiertas verdes, Medellín: F.B.P.S.A, 2010.
- [13] C. B. Aires, «Constructora Buenos Aires,» 24 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.constructorabuenosaires.com/losas/losa-de-concreto-armado.html>. [Último acceso: 24 Abril 2018].
- [14] K. Lockett, Green Roof Construction and Maintenance, United States: McGraw-Hill, 2009.
- [15] J. I. Segura, Estructuras de concreto I, Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [16] I. C. G. B. J. Adler, MANUAL DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE AGUAS PARA CENTROS URBANOS, Bogotá D.C., 2008.
- [17] E. A. León Fandiño, Evaluación de una cubierta verde como sistema de drenaje urbano sostenible, Bogotá D.C, 2014.
- [18] A. d. Villavicencio, «Alcaldía de Villavicencio,» 29 Marzo 2018. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>. [Último acceso: 29 Marzo 2018].

- [19] C. data, «Climate data,» 29 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/location/5327/>. . [Último acceso: 29 Marzo 2018].
- [20] N. Arias, «El crecimiento de Villavicencio se registra en medio del caos,» *El tiempo*, pp. 1-2, 09 Marzo 2017.
- [21] R. Vargas, «CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA COLOMBIA,» Bogotá D.C., 2005.
- [22] A. Villamizar, E. Rodríguez y E. Villarreal, «DESARROLLO DE UNA CALCULADORA DE CURVAS IDF GENERALIZADA PARA COLOMBIA,» *Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*, vol. I, nº 23, p. 20, 2018.
- [23] N. T. Colombiana, «Codigo Colombiano de Instalaciones hidráulicas y sanitarias NTC 1500,» ICONTEC, Bogotá D.C, 2017.
- [24] SISTEC, «NS-085 Criterio de diseño de sistemas de alcantarillados,» Bogotá D.C., 2013.
- [25] J. A. G. Robayo, *Redes hidráulicas y sanitarias en edificios*, Bogota: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, 2002.
- [26] M. d. V. C. y. Territorio, *Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)*, Bogotá D.C., 2016.
- [27] V. y. D. T. Ministerio de Ambiente, «NSR-10 - Título C - Concreto estructural,» Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá D.C., 2010.