

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			FECHA	10/10/2023
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) OLGER JOAQUIN APELLIDOS: MONTERO RIOS

ELIANA YURANI MADARIAGA ORTIZ

FACULTAD: INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JUAN CARLOS APELLIDOS: SAYAGO ORTEGA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS LLUVIAS DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

El proyecto de grado titulado "Propuesta de Manejo de Aguas Lluvias del Campus Universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander" tiene como objetivo principal desarrollar un plan integral para gestionar de manera eficiente las aguas pluviales en el campus universitario. Esto implica la instalación estratégica de sumideros y la construcción de canalizaciones eficientes con el fin de resolver problemas existentes, promover prácticas sostenibles y fomentar una cultura de manejo responsable del agua en la comunidad universitaria. Mediante la identificación de zonas vulnerables a inundaciones, se propone la implementación de sumideros para capturar y canalizar el agua hacia los sistemas de alcantarillado existentes en la universidad, con el objetivo de minimizar los riesgos. La construcción de canalizaciones eficientes se considera esencial para asegurar un flujo adecuado de las aguas pluviales. Este proyecto busca mejorar la gestión de las aguas lluvias en el campus universitario, promoviendo la sostenibilidad y generando conciencia sobre la importancia del manejo responsable del agua.

PALABRAS CLAVES:

CAUDAL. -AREAS. -ALCANTARILLADO. -PLUVIAL. -PROPUESTA.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 101 PLANOS: SI CD ROOM: N

ILUSTRACIONES: SI

**PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS LLUVIAS DEL CAMPUS
UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

Olger Joaquin Montero Rios

Eliana Yurani Madariaga Ortiz

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIO INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSE DE CÚCUTA

2023

**PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS LLUVIAS DEL CAMPUS
UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**

Presentado por:

Olger Joaquin Montero Rios

Eliana Yurani Madariaga Ortiz

Trabajo presentado como requisito para optar el título de

INGENIERIA CIVIL

Director:

Juan Carlos Sayago Ortega

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIO INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSE DE CÚCUTA

2023

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 21 DE SEPTIEMBRE DE 2023 HORA: 10:00 a. m.

LUGAR: SALA 4 – EDIFICIO CREAD - UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "PROPUESTA DE MANEJO DE AGUAS LLUVIAS DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER".

JURADOS: ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
ING. FRANCISCO JAVIER SUAREZ URBINA

DIRECTOR: INGENIERO JUAN CARLOS SAYAGO ORTEGA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
ELIANA YURANI MADARIAGA ORTIZ	1114118	4,2	CUATRO, DOS
OLGER JOAQUIN MONTERO RIOS	1113952	4,2	CUATRO, DOS

APROBADA


ING. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ


ING. FRANCISCO JAVIER SUAREZ URBINA

Vo. Bo. 
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO INTRODUCTORIO	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Justificación	5
1.5. Alcances y limites	6
1.5.1. Alcances	6
1.5.2. Limites	7
1.6. Delimitación	8
1.6.1. Delimitación espacial	8
1.6.2. Delimitación temporal	8
1.6.3. Delimitación conceptual	8
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL	10
2.1. Antecedentes	10
2.1.1. Internacionales	11
2.1.2. Nacionales	12

2.2. Marco teórico.....	13
2.2.1. Estudios Hidrológicos.....	13
2.2.2. Modelamiento hidráulico.....	16
2.2.3. Diseño del sistema de manejo de aguas lluvias	20
2.3. Marco conceptual.....	23
2.3.1. Manejo de aguas lluvias	23
2.3.2. Captación de agua de lluvia.....	23
2.3.3. Conducción de agua de lluvia.....	23
2.3.4. Tratamiento de agua de lluvia.....	24
2.3.5. Almacenamiento de agua de lluvia.....	24
2.3.6. Techos verdes	25
2.3.7. Pavimentos permeables	25
2.3.8. Sistemas de retención y tratamiento de agua de lluvia	26
2.3.9. Sistemas de control de inundaciones	26
2.3.10. Diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias	27
2.4. Marco contextual	27
2.5. Marco Legal.....	28
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Diseño de Investigación.....	30
3.1.1. Tipo de Investigación	30

3.1.2. Enfoque de la investigación.....	32
3.1.3. Técnicas de recolección de datos.....	33
3.2. Selección de la muestra	34
3.3. Técnicas y herramientas de análisis de datos	35
3.4. Fases de la investigación	36
3.5. Limitaciones y consideraciones éticas.....	37
CAPITULO IV: RESULTADOS	39
4.1. Identificación del problema	39
4.1.1. Geolocalización	40
4.1.2. Composición de la universidad.....	42
4.2. Obtención de la topografía y el estudio de suelos	49
4.2.1. Obtención de la topografía del campus universitario	50
4.2.2. Estudio de suelos del campus universitario.....	51
4.2.3. Estudio hidrológico.....	53
4.3. Propuesta de solución	55
4.3.1. Datos recopilados	57
4.3.2. Áreas tributarias.....	59
4.3.3. Caudales.....	63
4.3.4. Soluciones.....	73
4.3.5. Solución optima.....	74

4.3.6. Diseño final.....	77
4.4. Planeación de la ejecución.....	83
4.4.1. Etapas del proyecto.....	83
4.4.2. Recursos requeridos.....	85
4.4.3. Presupuesto.....	86
Conclusiones.....	89
Recomendaciones	91
BIBLIOGRAFÍA	93

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa	42
Figura 2. Infraestructura de la universidad	45
Figura 3. Identificación de las zonas más afectadas	46
Figura 4. Curvas IDF Estación Camilo Daza.....	58
Figura 5. Mapa de la universidad.....	60
Figura 6. Curvas de nivel de la universidad.....	61
Figura 7. Nivel por colores.....	62
Figura 8. isométrico sumidero de rejilla	77
Figura 9. Sumidero longitudinal	78
Figura 10. Planta y sección transversal	80
Figura 11. Perfil de la propuesta de diseño	84
Figura 12. Diagrama de Gantt del proyecto	84

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Marco Legal	29
Tabla 2. Fases de la investigación.....	36
Tabla 3. Coordenadas de la universidad	41
Tabla 4. Vista grafica de las zonas afectadas	47
Tabla 5. Datos obtenidos de la topografía.....	50
Tabla 6. Relaciones IDF Para Estación Camilo Daza.....	58
Tabla 7. áreas tributarias	62
Tabla 8. Coeficientes de impermeabilidad.....	65
Tabla 9. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 2 años.	69
Tabla 10.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 3 años.	70
Tabla 11.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 5 años.	70
Tabla 12.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 10 años.	71
Tabla 13.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 25 años.	71
Tabla 14.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 50 años.	72
Tabla 15.Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 100 años.	72
Tabla 16. Comparativa de propuestas	75
Tabla 17. Cantidad de accesorios.....	81

RESUMEN

El proyecto de grado titulado "Propuesta de Manejo de Aguas Lluvias del Campus Universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander" tiene como objetivo principal desarrollar un plan integral para gestionar de manera eficiente las aguas pluviales en el campus universitario. Esto implica la instalación estratégica de sumideros y la construcción de canalizaciones eficientes con el fin de resolver problemas existentes, promover prácticas sostenibles y fomentar una cultura de manejo responsable del agua en la comunidad universitaria. Mediante la identificación de zonas vulnerables a inundaciones, se propone la implementación de sumideros para capturar y canalizar el agua hacia los sistemas de alcantarillado existentes en la universidad, con el objetivo de minimizar los riesgos. La construcción de canalizaciones eficientes se considera esencial para asegurar un flujo adecuado de las aguas pluviales. Este proyecto busca mejorar la gestión de las aguas lluvias en el campus universitario, promoviendo la sostenibilidad y generando conciencia sobre la importancia del manejo responsable del agua.

Palabras clave: Manejo de aguas lluvias, Campus universitario, Universidad Francisco de Paula Santander, Plan integral, Aguas pluviales, Inundaciones, Sistemas de drenaje pluvial, Sumideros, Canalizaciones eficientes.

Abstract

The main objective of the degree project entitled "Rainwater Management Proposal for the University Campus of the Francisco de Paula Santander University" is to develop a comprehensive plan to efficiently manage rainwater on the university campus. This involves the strategic installation of drains and the construction of efficient channeling in order to solve existing problems, promote sustainable practices and foster a culture of responsible water management in the university community. By identifying areas vulnerable to flooding, we propose the implementation of drains to capture and channel water to the university's existing sewage systems in order to minimize risks. The construction of efficient channeling is considered essential to ensure adequate stormwater flow. This project seeks to improve rainwater management on the university campus, promoting sustainability and raising awareness of the importance of responsible water management.

Key words: *Rainwater management, University campus, Universidad Francisco de Paula Santander, Comprehensive plan, Stormwater, Floods, Storm drainage systems, Drains, Efficient channeling.*

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal proponer un plan integral de manejo de aguas lluvias para el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. El adecuado manejo de las aguas pluviales es esencial para prevenir inundaciones, proteger las estructuras existentes y promover prácticas sostenibles. El campus universitario, al igual que muchas otras áreas urbanas, enfrenta desafíos relacionados con la gestión de las aguas lluvias debido a la impermeabilización del suelo, la falta de infraestructuras adecuadas y el cambio climático.

Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un minucioso análisis de la problemática actual, identificando las zonas más vulnerables y los desafíos asociados al manejo de las aguas lluvias en el campus universitario. Se realizaron estudios topográficos, análisis hidrológicos y se evaluaron las estructuras de drenaje existentes. Además, se consideraron aspectos normativos y legales pertinentes para garantizar la viabilidad y la conformidad del plan propuesto.

A partir de esta identificación, se desarrolló una propuesta que abarca el diseño y la implementación de sistemas de drenaje pluvial, la instalación estratégica de sumideros y la construcción de canalizaciones eficientes. Estas soluciones se diseñaron teniendo en cuenta la capacidad de captación y almacenamiento de agua, la gestión adecuada del flujo y la infiltración en el suelo. Además, se consideraron aspectos de sostenibilidad, como la implementación de prácticas de reutilización del agua y la promoción de espacios verdes para mejorar la infiltración y reducir la escorrentía superficial.

Con esta propuesta, no solo se busca solucionar los problemas existentes, sino también promover la sostenibilidad ambiental y fomentar una cultura de manejo responsable del agua en la comunidad universitaria. La implementación de un plan integral de manejo de aguas lluvias en el campus universitario no solo beneficiará a la universidad y sus instalaciones, sino también a la comunidad circundante, al reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del entorno urbano.

A lo largo de este trabajo de grado, se presentarán los resultados obtenidos en cada etapa del proceso, desde el análisis inicial de la problemática hasta la implementación y evaluación del plan de manejo de aguas lluvias en el campus universitario. Se realizarán análisis y evaluaciones de viabilidad técnica, económica y ambiental de las soluciones propuestas, y se presentarán conclusiones derivadas de la implementación del plan. Además, se discutirán las implicaciones prácticas y las recomendaciones para la gestión sostenible de las aguas lluvias en entornos universitarios y urbanos en general.

En resumen, la presente investigación propone una estrategia integral de manejo de aguas lluvias para el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, con el objetivo de prevenir inundaciones, proteger las estructuras existentes y promover prácticas sostenibles. La implementación de este plan contribuirá a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo de una cultura de manejo responsable del agua en la comunidad universitaria.

CAPITULO I: MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Descripción del problema

Según (Santos & Oliveira, 2017) La gestión adecuada de las aguas lluvias es fundamental para reducir el riesgo de inundaciones y minimizar los efectos negativos en el medio ambiente y la sociedad. En Colombia, como en muchos otros países, el cambio climático ha provocado un aumento en la frecuencia y la intensidad de los eventos climáticos extremos, incluyendo fuertes lluvias y tormentas (IDEAM, 2022). Además, la urbanización acelerada y el crecimiento de las ciudades han generado una mayor impermeabilización del suelo, lo que dificulta la infiltración del agua y aumenta el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial. Estos factores, sumados a la falta de infraestructuras adecuadas de drenaje en zonas urbanas, pueden provocar inundaciones, daños a la propiedad y problemas ambientales (IDEAM, 2018).

En particular, el departamento de Norte de Santander, donde se encuentra la ciudad de Cúcuta, donde se ubica el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, ha experimentado eventos climáticos extremos en los últimos años, como inundaciones y deslizamientos de tierra, que han causado daños significativos en la infraestructura y la sociedad local (IDEAM, 2022). En este contexto, es esencial tomar medidas para mejorar la gestión de las aguas lluvias en zonas urbanas y reducir los efectos negativos de los eventos climáticos extremos.

Por lo tanto, la Universidad Francisco de Paula Santander necesita implementar un sistema de gestión de aguas lluvias que permita el control de los flujos de agua, su almacenamiento y uso adecuado. Para abordar este problema, el presente proyecto propone una alternativa de

manejo y evacuación de las aguas lluvias en el campus universitario, con el objetivo de reducir los efectos negativos en el medio ambiente y la sociedad.

Para lograr este objetivo, se llevarán a cabo estudios topográficos y de suelos en el campus universitario, se realizarán análisis hidrológicos para determinar los caudales de agua y el modelamiento hidráulico de las estructuras, se consultará la normativa legal existente (UNE, 2016) y los referentes teóricos necesarios y se desarrollará un plan de acción, presupuesto y cronograma de ejecución del proyecto.

En resumen, la propuesta de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander es una necesidad urgente debido al aumento en los eventos climáticos extremos y a la falta de infraestructuras adecuadas de drenaje. Los estudios hidrológicos y topográficos, junto con el análisis legal y de referentes teóricos, serán esenciales para el desarrollo de un plan de acción que permita reducir los efectos negativos de las inundaciones y mejorar la gestión de las aguas lluvias en el campus universitario.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer una alternativa de manejo y evacuación de las aguas lluvias de la Universidad Francisco de Paula Santander

1.2.2. Objetivos específicos

- Consultar los referentes teóricos y legales relacionados con el objeto de estudio del presente proyecto

- Realizar u obtener la topografía y el estudio de suelos del campus universitario.
- Realizar estudios hidrológicos para determinar los caudales que se reciben de las aguas lluvias y hacer el modelamiento hidráulico de las estructuras.
- Hacer el presupuesto y cronograma de la ejecución del proyecto.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la alternativa más viable para manejar y evacuar las aguas lluvias que caen dentro del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, con el objetivo de reducir los efectos negativos en el medio ambiente y la sociedad, en el contexto del aumento de eventos climáticos extremos y la falta de infraestructuras adecuadas de drenaje en zonas urbanas?

1.4. Justificación

La gestión adecuada de las aguas lluvias es fundamental en cualquier área urbana, incluyendo los campus universitarios. En el caso particular de la Universidad Francisco de Paula Santander, es esencial implementar un sistema de manejo de aguas lluvias debido a los eventos climáticos extremos que ha experimentado el departamento de Norte de Santander, donde se encuentra ubicado el campus universitario, y que han causado daños significativos en la infraestructura y la sociedad local.

Además, la implementación de un sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander permitiría reducir los efectos negativos de los eventos climáticos extremos y mejorar la gestión de los recursos hídricos en la zona. Esto, a su vez, podría tener un impacto positivo en la comunidad local al reducir el riesgo de inundaciones y problemas ambientales.

Desde una perspectiva académica, este proyecto también tiene una gran importancia. La implementación de un sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander puede servir como un caso de estudio para estudiantes de ingeniería y otros campos relacionados. Los estudiantes podrán aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en sus clases para diseñar y desarrollar soluciones prácticas a problemas reales.

Por último, la implementación de un sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander puede ser una oportunidad para que los estudiantes que desarrollan su tesis en el tema de recursos hídricos, sistemas de drenaje urbano y otros temas relacionados puedan aplicar sus conocimientos y contribuir a la solución de un problema real y relevante.

En resumen, la implementación de un sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander es importante tanto para la universidad como para la comunidad local, la academia y los estudiantes que desarrollan su tesis en temas relacionados con los recursos hídricos.

1.5. Alcances y límites

1.5.1. Alcances

Este proyecto tiene como alcance principal el desarrollo de una propuesta teórica para el manejo de las aguas lluvias que caen dentro del campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. Para lograrlo, se llevarán a cabo estudios topográficos y de suelos en el campus universitario, se realizarán análisis hidrológicos para determinar los

caudales de agua y el modelamiento hidráulico de las estructuras, se consultará la normativa legal y los referentes teóricos necesarios y se desarrollará un plan de acción, presupuesto y cronograma de ejecución del proyecto.

Además, se espera que este proyecto tenga un impacto significativo en la gestión adecuada de las aguas lluvias en zonas urbanas, especialmente en el departamento de Norte de Santander, donde se encuentra la ciudad de Cúcuta. Asimismo, se espera que la propuesta teórica contribuya al conocimiento y avance de la ingeniería hidráulica y al desarrollo de la academia en el campo de la gestión de aguas lluvias.

1.5.2. Límites

Es importante tener en cuenta que este proyecto no contempla la implementación del plan de manejo de aguas lluvias propuesto, ya que se trata de una propuesta teórica. Además, el estudio se limita al campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander y no considera las condiciones y particularidades de otros sitios. También se debe tener en cuenta que los resultados del estudio están sujetos a las limitaciones inherentes a los análisis teóricos y los datos disponibles.

A pesar de estas limitaciones, el proyecto tiene como objetivo principal proporcionar una guía teórica para la gestión adecuada de las aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, lo que puede ser de gran importancia para la comunidad universitaria y la ciudad en general. Además, la propuesta teórica puede ser un punto de partida para futuras investigaciones y proyectos que busquen implementar soluciones prácticas para el manejo de las aguas lluvias en el campus universitario y en otras zonas urbanas.

1.6. Delimitación

1.6.1. Delimitación espacial

Este proyecto se enfoca en la gestión de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicada en la ciudad de Cúcuta, en el departamento de Norte de Santander, Colombia. Por lo tanto, los alcances y limitaciones del proyecto están restringidos a esta área geográfica específica. Se debe tener en cuenta que las condiciones geográficas, climáticas y de suelo de esta zona pueden diferir significativamente de otras áreas, lo que puede afectar la implementación del plan en otros lugares.

1.6.2. Delimitación temporal

El proyecto se llevará a cabo durante un período de tiempo limitado, que incluirá todas las etapas necesarias para la planificación y el diseño del sistema de gestión de aguas lluvias en el campus universitario. Sin embargo, no se llevará a cabo la implementación física del plan, sino que se centrará en la formulación de un plan teórico. Además, debido a que el proyecto está limitado a un contexto temporal específico, se debe tener en cuenta que las condiciones climáticas y otras variables pueden cambiar en el futuro, lo que puede afectar la efectividad del plan a largo plazo.

1.6.3. Delimitación conceptual

El proyecto se enfoca en la gestión de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, por lo que los alcances y limitaciones están restringidos a la planificación y el diseño de un sistema de gestión de aguas lluvias en este contexto. Se debe tener en cuenta que la gestión de aguas lluvias es un campo amplio y

complejo que abarca muchos aspectos técnicos y científicos. Este proyecto se centrará en las cuestiones específicas relacionadas con la gestión de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, como la topografía del terreno, la cantidad y la calidad del agua de lluvia, la infraestructura de drenaje existente, las regulaciones ambientales y las limitaciones económicas.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

En este capítulo, se presentan los antecedentes, marco teórico, marco conceptual, marco contextual y marco legal que sustentan la investigación. El objetivo es proporcionar una base sólida de conocimientos, conceptos y leyes para el desarrollo del estudio y para el análisis y la interpretación de los resultados. En esta tesis, el marco referencial se centra en la gestión de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander y su relación con los eventos climáticos extremos, la urbanización acelerada y la falta de infraestructuras adecuadas de drenaje en zonas urbanas. A través de la revisión de antecedentes, el análisis teórico y conceptual, el contexto local y la normativa legal, se busca proporcionar una visión amplia y profunda del problema y sentar las bases para la propuesta de un plan de manejo de aguas lluvias en el campus universitario.

2.1. Antecedentes

A continuación, se presentan los antecedentes de la investigación sobre el manejo de las aguas lluvias en los campus universitarios. Para ello, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de información a nivel internacional y nacional, con el objetivo de conocer los diferentes enfoques, métodos y estrategias que se han utilizado para abordar este tema en otros contextos. Esta revisión permitirá conocer las experiencias previas, identificar las fortalezas y debilidades de los enfoques adoptados y, sobre todo, contribuirá a contextualizar la problemática en el contexto específico de la Universidad Francisco de Paula Santander.

2.1.1. Internacionales

A nivel internacional se hicieron relevantes tres investigaciones, las cuales tienen relación directa con el tema que se trata en este proyecto, la primera investigación es presentada por Nguyen et al. (2016), en este proyecto implementaron un sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias en diferentes edificios del campus de la Universidad Nacional de Singapur, utilizando techos verdes y áreas permeables para maximizar la recolección de agua. El agua recolectada se utiliza para riego y descarga de inodoros, reduciendo el consumo de agua potable en un 30%. Esta investigación es relevante para esta tesis porque demuestra la importancia del uso de tecnologías sostenibles para la gestión de aguas lluvias.

En segundo lugar, se presenta la investigación de la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA), se instaló un sistema de drenaje sostenible que incluye jardines de lluvia, biofiltros y techos verdes, con el objetivo de infiltrar y retener agua en el suelo, disminuyendo la cantidad de agua de escorrentía y mejorando la calidad del agua subterránea (UCLA Sustainable LA Grand Challenge, 2020). Esta investigación es relevante para el desarrollo de este proyecto porque demuestra cómo el uso de técnicas de drenaje sostenible puede mejorar la calidad del agua y reducir la cantidad de agua de escorrentía en entornos urbanos.

Por su parte, Talei et al. (2017) de la Universidad de Tecnología de Delft, en los Países Bajos, desarrollaron un modelo de simulación hidrológica para evaluar el impacto de la urbanización en el manejo de aguas lluvias. El modelo se utiliza para evaluar diferentes opciones de diseño y planificación urbana para reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la calidad del agua. Esta investigación aporta al presente proyecto al demostrar la utilidad de

los modelos de simulación en la toma de decisiones para el manejo de aguas lluvias en entornos urbanos.

2.1.2. Nacionales

De la misma manera que a nivel internacional, a nivel nacional se traen a colación tres investigaciones importantes que se relacionan con el tema, la primera se desarrolló en la ciudad de Medellín, Colombia, en donde se llevó a cabo una investigación titulada "Evaluación de la eficiencia de sistemas de techos verdes en la gestión de aguas lluvias urbanas" por los autores Tobón y Restrepo (2016). La metodología utilizada fue la medición del flujo de agua en diferentes sistemas de techos verdes instalados en la ciudad y el análisis de la calidad del agua recolectada. Los resultados indicaron que los techos verdes son una alternativa efectiva para reducir la escorrentía y mejorar la calidad del agua de lluvia. La conclusión principal de la investigación fue que la implementación de techos verdes puede ser una estrategia efectiva para la gestión de aguas lluvias en áreas urbanas. Esta investigación aporta al desarrollo de nuestra tesis al demostrar la eficacia de los techos verdes como una estrategia sostenible para la gestión de aguas lluvias en entornos urbanos.

La segunda investigación importante es la presentada por Casas-Matiz y Malagón-Micán (2019), en esta investigación titulada "Manejo de aguas lluvias en el campus de la Universidad de América" se evaluó el uso del agua lluvia dentro de un área definida del campus universitario, para evaluar los posibles manejos que se le podían dar al agua se realizaron mediciones para determinar el caudal y la calidad del recurso pluvial, finalmente se utilizó esta agua para alimentar dos baterías de baños, además gracias a los resultados de calidad del agua obtenidos, se dejaron propuestas otras utilidades como riego de jardines,

diseño de cascadas de agua artificial, entre otros. Esta investigación es de gran relevancia para esta tesis ya que, presenta una metodología eficiente en el cual determinan primero las características del agua y a partir de estos resultados presentan las posibles utilidades que se les puede dar al agua, esta metodología podría ser adaptada al desarrollo de este proyecto, ya que, como lo mencionan los autores, el primer paso es establecer la cantidad y la calidad del recurso y a partir de esto evaluar las opciones que mejor se adapten.

En tercer lugar, se presenta una investigación titulada “Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá” (Estupiñán & Zapata, 2010). En este proyecto se intentó suplir la necesidad de agua que requería el campus universitario completo, sin embargo luego de caracterizar el recurso pluvial, lograron establecer que la cantidad de agua recogida, solo podría cubrir el 14% de la necesaria dentro del campus, a pesar de ser un valor pequeño, sigue siendo un ahorro a tener en cuenta, sin embargo las inversiones necesarias para aprovechar este recurso son altos y requieren de un análisis financiero para establecer si realmente vale la pena aprovechar el recurso, además conocer el tiempo que tardará en retornar la inversión que se requiere. Este proyecto de investigación enseña que la propuesta de implementación de una mejora debe ir acompañada siempre de un análisis financiero, ya que de nada sirve mostrar la viabilidad técnica si el proyecto es supremamente costoso.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Estudios Hidrológicos

Los estudios hidrológicos son una herramienta esencial en la gestión de aguas lluvias, ya que permiten conocer y analizar el comportamiento del agua en el medio ambiente, así como

su disponibilidad y distribución en el territorio. Según Fernández et al. (2016), los estudios hidrológicos se enfocan en analizar la cantidad, calidad y movimiento del agua en la naturaleza.

En el proyecto de manejo de aguas lluvias para el campus universitario, se deben realizar diferentes tipos de estudios hidrológicos para poder determinar la cantidad de agua que se recibe en el área, la capacidad de almacenamiento del terreno y las posibles fuentes de contaminación que puedan afectar la calidad del agua. Según la normativa colombiana en cuanto a la gestión de aguas lluvias, se recomienda realizar estudios hidrológicos de tipo pluviométrico y de escorrentía superficial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

- **Estudio pluviométrico.** El estudio pluviométrico es una parte fundamental en la realización de los estudios hidrológicos para el manejo de aguas lluvias en un determinado lugar. Consiste en la recolección y análisis de datos de precipitación, con el fin de conocer la distribución temporal y espacial de las lluvias en la zona de estudio. Según Chow et al. (1988), el análisis pluviométrico es necesario para conocer la intensidad de las precipitaciones y poder determinar el caudal de agua que se generará en un determinado periodo de tiempo.

Para realizar un estudio pluviométrico, es importante contar con una red de estaciones meteorológicas distribuidas de forma homogénea en la zona de estudio, de manera que se puedan obtener datos representativos de toda el área. Según Quiroz (2015), es necesario que estas estaciones estén ubicadas en lugares accesibles y representativos de las condiciones climáticas de la zona, y que cuenten con equipos adecuados para la medición de la precipitación.

Una vez obtenidos los datos de precipitación, se procede a realizar el análisis de los mismos, utilizando herramientas estadísticas y matemáticas para determinar la frecuencia y la intensidad de las lluvias. Según Wanielista et al. (2012), los resultados del análisis pluviométrico permiten conocer el comportamiento de las lluvias en la zona de estudio, lo que es fundamental para la planificación y diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias.

En resumen, el estudio pluviométrico es una herramienta fundamental en la gestión de aguas lluvias, ya que permite conocer la distribución temporal y espacial de las precipitaciones en la zona de estudio, lo que es fundamental para el diseño de sistemas de manejo adecuados.

- **Estudio de escorrentía.** El estudio de escorrentía es otra parte fundamental en la realización de los estudios hidrológicos para el manejo de aguas lluvias. Según Vargas et al. (2010), la escorrentía se define como la cantidad de agua que fluye superficialmente sobre la superficie del suelo después de una precipitación. Es un indicador importante del comportamiento hidrológico de una cuenca y su análisis es necesario para el diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias.

El análisis de la escorrentía se realiza a partir de la medición del caudal de agua que fluye por un determinado punto de la cuenca, conocido como estación de aforo. Según García et al. (2015), es importante que esta estación esté ubicada en un lugar representativo de la cuenca y que se utilicen equipos adecuados para la medición del caudal. Además, se deben realizar mediciones en diferentes puntos de la cuenca para obtener datos representativos de toda el área.

Una vez obtenidos los datos de escorrentía, se procede a realizar el análisis de los mismos, utilizando herramientas estadísticas y matemáticas para determinar la

frecuencia y la intensidad de la escorrentía en la cuenca. Según Wanielista et al. (2012), los resultados del análisis de escorrentía permiten conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca, lo que es fundamental para el diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias.

En resumen, el estudio de escorrentía es otra herramienta fundamental en la gestión de aguas lluvias, ya que permite conocer el comportamiento hidrológico de una cuenca y su capacidad de retener y drenar el agua de lluvia. Esto es fundamental para el diseño de sistemas de manejo adecuados que puedan prevenir inundaciones y minimizar el impacto ambiental de las aguas lluvias.

Una vez que se han realizado los estudios hidrológicos necesarios, se procede a analizar los resultados obtenidos para el campus universitario. Es importante realizar una evaluación crítica de los datos recopilados para poder determinar las características hidrológicas del terreno y así poder diseñar adecuadamente el sistema de manejo de aguas lluvias para el campus universitario. En este sentido, es fundamental tener en cuenta los criterios de diseño hidrológico establecidos en la normativa colombiana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

2.2.2. Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico es una herramienta fundamental en la gestión de aguas lluvias. Según CEMAGREF (2009), consiste en la simulación matemática del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje pluvial, con el fin de diseñar y evaluar la eficacia de los sistemas de manejo de aguas lluvias. El modelamiento hidráulico permite a los ingenieros y diseñadores crear y probar diferentes escenarios y diseños para el sistema de

drenaje pluvial, lo que ayuda a tomar decisiones informadas y eficaces (Maidment, 2002). Además, el modelamiento hidráulico es una herramienta importante para predecir el impacto ambiental de las aguas lluvias, incluyendo la erosión, la sedimentación y la calidad del agua (Wang et al., 2016).

Existen diferentes métodos y técnicas de modelamiento hidráulico, incluyendo modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales. Los modelos unidimensionales se utilizan para simular el flujo de agua en canales y tuberías, mientras que los modelos bidimensionales y tridimensionales se utilizan para simular el flujo de agua en ríos, arroyos y sistemas de drenaje pluvial (CEMAGREF, 2009).

- **Modelos unidimensionales.** Los modelos unidimensionales son una técnica comúnmente utilizada en el modelamiento hidráulico para simular el flujo de agua en canales y tuberías. Según Ghimire y Kansakar (2020), estos modelos se basan en el principio de conservación de masa y energía para calcular la distribución de velocidad, profundidad y caudal en un canal o tubería. Estos modelos son especialmente útiles para el diseño de canales y tuberías de drenaje pluvial, ya que permiten predecir el comportamiento hidráulico de estos sistemas y evaluar su capacidad para manejar grandes volúmenes de agua durante lluvias intensas.

Los modelos unidimensionales son capaces de considerar diferentes características del flujo de agua, tales como la rugosidad del canal, la velocidad de flujo y la pendiente del canal. Además, estos modelos pueden ser acoplados con modelos de calidad del agua para evaluar la concentración de contaminantes en el agua durante el transporte en canales y tuberías.

De acuerdo con Smith y Wang (1999), los modelos unidimensionales se pueden clasificar en modelos hidráulicos de flujo permanente y modelos hidráulicos de flujo transitorio. Los modelos hidráulicos de flujo permanente se utilizan para calcular la distribución de caudal, profundidad y velocidad en canales y tuberías de drenaje pluvial durante condiciones de flujo estable. Por otro lado, los modelos hidráulicos de flujo transitorio se utilizan para simular el comportamiento hidráulico de canales y tuberías de drenaje pluvial durante condiciones de flujo no estacionario, como el caso de inundaciones.

En resumen, los modelos unidimensionales son una herramienta importante en el modelamiento hidráulico para simular el comportamiento hidráulico de canales y tuberías de drenaje pluvial. Estos modelos permiten evaluar la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial para manejar grandes volúmenes de agua durante lluvias intensas, así como también evaluar la concentración de contaminantes en el agua durante el transporte en canales y tuberías.

- **Modelos bidimensionales y tridimensionales.** Los modelos bidimensionales y tridimensionales son herramientas utilizadas en el modelamiento hidráulico para simular el flujo de agua en ríos, arroyos y sistemas de drenaje pluvial. A diferencia de los modelos unidimensionales, que solo pueden simular el flujo de agua en canales y tuberías, los modelos bidimensionales y tridimensionales permiten la simulación del comportamiento hidráulico de cuerpos de agua y sistemas de drenaje pluvial más complejos.
- Los modelos bidimensionales se utilizan para simular el flujo de agua en planos horizontales, mientras que los modelos tridimensionales se utilizan para simular el flujo de agua en planos horizontales y verticales. Estos modelos consideran la

topografía del terreno y la geometría del cuerpo de agua o sistema de drenaje pluvial, lo que permite una simulación más precisa y detallada del comportamiento hidráulico. La utilización de modelos bidimensionales y tridimensionales en el modelamiento hidráulico permite una mayor precisión en la evaluación de la eficacia de los sistemas de manejo de aguas lluvias y en la identificación de posibles problemas de inundación. Además, estos modelos son útiles para predecir el impacto ambiental de las aguas lluvias en los cuerpos de agua, como la sedimentación y la calidad del agua.

Según Kumar et al. (2018), los modelos bidimensionales son ampliamente utilizados en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de infraestructura, como la construcción de puentes y presas. Por otro lado, los modelos tridimensionales son utilizados para la evaluación de la capacidad de los cuerpos de agua para la absorción y transporte de contaminantes (Wang et al., 2016).

En resumen, los modelos bidimensionales y tridimensionales son herramientas esenciales en el modelamiento hidráulico para la simulación del comportamiento hidráulico de cuerpos de agua y sistemas de drenaje pluvial más complejos, permitiendo una evaluación más precisa y detallada de la eficacia de los sistemas de manejo de aguas lluvias y la identificación de posibles problemas de inundación.

En el caso del proyecto de manejo de aguas lluvias del campus universitario, se utilizó un modelo hidráulico bidimensional para simular el comportamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial. Se recolectaron datos topográficos y de lluvia para crear un modelo matemático que simula el flujo de agua en el campus universitario.

Luego, se evaluaron diferentes escenarios de diseño para el sistema de drenaje pluvial, incluyendo la capacidad de las estructuras existentes y la necesidad de construir nuevas

estructuras. Se realizaron análisis detallados de los resultados obtenidos del modelamiento hidráulico para evaluar la eficacia del sistema de drenaje pluvial del campus universitario y proponer mejoras para prevenir inundaciones y minimizar el impacto ambiental de las aguas lluvias.

En resumen, el modelamiento hidráulico es una herramienta esencial en la gestión de aguas lluvias, ya que permite evaluar la eficacia del sistema de drenaje pluvial y diseñar mejoras para prevenir inundaciones y minimizar el impacto ambiental. En el caso del proyecto de manejo de aguas lluvias del campus universitario, se utilizó un modelo hidráulico bidimensional para evaluar el sistema de drenaje pluvial y proponer mejoras necesarias para prevenir inundaciones y minimizar el impacto ambiental de las aguas lluvias.

2.2.3. Diseño del sistema de manejo de aguas lluvias

El diseño de un sistema de manejo de aguas lluvias adecuado es esencial para mitigar los efectos negativos de las precipitaciones en el medio ambiente y en las infraestructuras urbanas. En el contexto de un campus universitario, el diseño de un sistema de manejo de aguas lluvias puede contribuir a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia en la gestión del agua. En esta sección se presentará una descripción detallada de los componentes del sistema de manejo de aguas lluvias, así como la selección y diseño de los mismos para el campus universitario. También se discutirá la importancia del análisis del presupuesto y el cronograma de ejecución del proyecto para su implementación exitosa.

2.2.3.1. Definición de los componentes del sistema de manejo de aguas lluvias

El sistema de manejo de aguas lluvias incluye una serie de componentes que trabajan juntos para recolectar, almacenar, tratar y descargar el agua de lluvia de manera segura y eficiente. Según Kumar et al. (2021), los componentes principales del sistema de manejo de aguas lluvias son la captación, la conducción, el tratamiento y el almacenamiento del agua de lluvia. La captación de agua de lluvia incluye la recolección de agua desde techos, superficies pavimentadas y otras áreas impermeables (CEMAGREF, 2009). La conducción implica el transporte del agua de lluvia a través de tuberías, canales y otros medios (Maidment, 2002). El tratamiento incluye la eliminación de sedimentos, la separación de aceites y grasas, y la eliminación de contaminantes químicos y biológicos antes de su descarga en el medio ambiente (Wang et al., 2016). Finalmente, el almacenamiento implica la retención temporal del agua de lluvia en estanques, reservorios y otros sistemas de almacenamiento antes de su descarga (Kumar et al., 2021).

2.2.3.2. Selección y diseño de los componentes del sistema de manejo de aguas lluvias para el campus universitario

El diseño del sistema de manejo de aguas lluvias para el campus universitario se basa en el análisis de la topografía, el clima y el uso del suelo del área. Según CEMAGREF (2009), se deben considerar las necesidades y limitaciones del campus, y se deben seleccionar los componentes apropiados del sistema de manejo de aguas lluvias para cumplir con los objetivos del proyecto. Algunos de los componentes que pueden ser seleccionados y diseñados para el campus universitario incluyen techos verdes, pavimentos permeables,

sistemas de retención y tratamiento de agua de lluvia, y sistemas de control de inundaciones (Kumar et al., 2021).

Los techos verdes son una alternativa sostenible a los techos convencionales que permite la retención y filtración del agua de lluvia, reduciendo la cantidad de agua que llega al sistema de drenaje pluvial (Liu et al., 2016). Los pavimentos permeables permiten que el agua de lluvia se filtre a través de la superficie, reduciendo la cantidad de agua que llega al sistema de drenaje pluvial (Ahiablame et al., 2012). Los sistemas de retención y tratamiento de agua de lluvia permiten la retención y tratamiento del agua de lluvia antes de su descarga en el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental de las aguas lluvias (EPA, 2018). Los sistemas de control de inundaciones permiten reducir el riesgo de inundaciones y proteger las infraestructuras y los edificios del campus (Scheuer et al., 2014).

2.2.3.3. Análisis del presupuesto y cronograma de la ejecución del proyecto

El análisis del presupuesto y el cronograma de ejecución del proyecto son fundamentales para el éxito del diseño e implementación del sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario. Un estudio de viabilidad económica del proyecto es importante para determinar el costo total de implementación y el retorno de inversión en el futuro. Según Gutiérrez et al. (2015), el análisis económico puede incluir los costos directos e indirectos, así como los costos de operación y mantenimiento a largo plazo. Además, es importante considerar el impacto ambiental del sistema de manejo de aguas lluvias y su contribución a la sostenibilidad del campus universitario.

Para la planificación y ejecución del proyecto, se puede utilizar un enfoque de gestión de proyectos, que incluye la identificación de los objetivos del proyecto, el establecimiento de

un plan de trabajo, la asignación de recursos y el seguimiento de los progresos. Según el Project Management Institute (PMI, 2017), el enfoque de gestión de proyectos puede mejorar la eficiencia y la eficacia del proyecto, y garantizar que se cumplan los objetivos y plazos establecidos.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Manejo de aguas lluvias

Se refiere a un conjunto de técnicas y estrategias para recolectar, almacenar, tratar y descargar el agua de lluvia de manera segura y eficiente. Este proceso ayuda a minimizar el impacto negativo de las aguas lluvias en el medio ambiente y a reducir el riesgo de inundaciones. (Kumar et al., 2021)

2.3.2. Captación de agua de lluvia

Se refiere al proceso de recolección del agua de lluvia desde superficies pavimentadas, techos y otras áreas impermeables. La captación puede realizarse mediante la instalación de sistemas de recolección de agua de lluvia, como canales, tuberías y embalses. (CEMAGREF, 2009)

2.3.3. Conducción de agua de lluvia

La conducción de agua de lluvia se refiere al proceso de recoger y transportar el agua de lluvia desde las superficies impermeables hacia un sistema de gestión de aguas pluviales, como alcantarillas, cunetas o canalizaciones. Este proceso es importante para prevenir inundaciones y minimizar la erosión del suelo, ya que ayuda a dirigir el agua de lluvia hacia un lugar específico para su posterior tratamiento o reutilización (Gelderman, 2011).

La conducción de agua de lluvia puede realizarse mediante una variedad de técnicas, como canales de concreto, zanjas de infiltración, pavimentos permeables y tuberías subterráneas. La elección de la técnica dependerá de varios factores, como el clima, la topografía y la disponibilidad de espacio (Brilly et al., 2015). Además, la gestión adecuada de la conducción de agua de lluvia puede ayudar a mejorar la calidad del agua y reducir el impacto negativo de la lluvia en el medio ambiente (Wong et al., 2016).

2.3.4. Tratamiento de agua de lluvia

Se refiere al proceso de eliminación de sedimentos, aceites, grasas, contaminantes químicos y biológicos presentes en el agua de lluvia antes de su descarga en el medio ambiente. Este proceso ayuda a reducir el impacto negativo de las aguas lluvias en los cuerpos de agua y los ecosistemas circundantes. (Wang et al., 2016)

2.3.5. Almacenamiento de agua de lluvia

El almacenamiento de agua de lluvia se refiere al proceso de recolección, filtrado y almacenamiento del agua de lluvia en un sistema diseñado para su uso posterior. Este proceso se realiza con el objetivo de aprovechar el agua de lluvia como una fuente de agua alternativa para regar jardines, lavar ropa, limpiar, entre otros usos. Además, el almacenamiento de agua de lluvia puede reducir la cantidad de agua de lluvia que se escurre por las superficies impermeables y puede disminuir la carga en los sistemas de drenaje, lo que puede ayudar a prevenir inundaciones y minimizar la erosión del suelo (Hatt et al., 2007).

Existen diferentes técnicas y sistemas de almacenamiento de agua de lluvia, tales como barriles de lluvia, tanques de almacenamiento subterráneo, cisternas, entre otros. El tamaño

y la complejidad del sistema dependerán del volumen de agua que se quiera recolectar y del uso que se le quiera dar (Varela-Ortega et al., 2016).

El almacenamiento de agua de lluvia es una práctica de gestión de aguas pluviales cada vez más popular en todo el mundo. Estudios han demostrado que la implementación de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia puede ser una solución rentable y efectiva para reducir la carga en los sistemas de drenaje y para conservar el agua potable (Asano et al., 2007). Además, la implementación de estos sistemas puede mejorar la calidad del agua y reducir el riesgo de inundaciones (Fletcher et al., 2013).

2.3.6. Techos verdes

Se refiere a una técnica de infraestructura verde que implica la instalación de vegetación en la superficie de los techos de los edificios. Los techos verdes pueden ayudar a reducir la temperatura del aire, aumentar la retención de agua de lluvia y mejorar la calidad del aire. (Getter y Rowe, 2006)

2.3.7. Pavimentos permeables

Se refiere a una técnica de infraestructura verde que implica la utilización de materiales permeables en la superficie de las calles, estacionamientos y otras áreas pavimentadas. Los pavimentos permeables permiten que el agua de lluvia se filtre a través de la superficie y se infiltre en el suelo, reduciendo la cantidad de agua que llega al sistema de drenaje pluvial. (Ahiablame et al., 2012)

2.3.8. Sistemas de retención y tratamiento de agua de lluvia

Se refiere a un conjunto de técnicas y estrategias para recolectar, almacenar, tratar y descargar el agua de lluvia de manera segura y eficiente. Estos sistemas pueden incluir embalses, estanques de retención y sistemas de filtración, entre otros. (EPA, 2018)

2.3.9. Sistemas de control de inundaciones

Se refiere a un conjunto de técnicas y estrategias para reducir el riesgo de inundaciones y proteger las infraestructuras y los edificios en una determinada área. Estos sistemas incluyen medidas estructurales, como la construcción de muros de contención y canales de desvío de agua, así como medidas no estructurales, como la planificación del uso del suelo y la educación pública sobre la gestión de riesgos (Bubeck et al., 2012). Además, los sistemas de control de inundaciones pueden incluir la implementación de sistemas de alerta temprana y planes de evacuación para minimizar los efectos de las inundaciones en las personas y la propiedad (Mannina et al., 2013).

La implementación de sistemas de control de inundaciones es importante para mitigar los impactos negativos de las inundaciones, que pueden incluir daños a la propiedad, interrupciones del suministro de energía y agua potable, y riesgos para la salud pública (Kundzewicz et al., 2014). Por lo tanto, la identificación y evaluación de medidas efectivas de control de inundaciones es un aspecto clave en la planificación y diseño de un sistema de manejo de aguas lluvias en el campus universitario.

2.3.10. Diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias

El diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias se refiere a la planificación y diseño de sistemas de infraestructura verde y tecnologías de bajo impacto que pueden controlar la cantidad y calidad del agua de lluvia en el entorno construido. Estos sistemas incluyen técnicas como la captación de agua de lluvia, la infiltración, la retención y la filtración de agua, entre otros (Taff et al., 2018). El objetivo principal del diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias es reducir la cantidad de escorrentía y mejorar la calidad del agua en los cuerpos de agua naturales, como ríos y lagos (Wang et al., 2016).

Además, el diseño de sistemas de manejo de aguas lluvias puede incluir la implementación de prácticas de conservación del suelo y la vegetación, como la conservación de humedales y la creación de zonas verdes, para minimizar los impactos negativos de la urbanización en los ciclos hidrológicos (Li et al., 2019).

2.4. Marco contextual

La Universidad Francisco de Paula Santander se encuentra ubicada en la ciudad de Cúcuta, Colombia, en la región andina del país (Gobernación de Norte de Santander, 2019). Esta zona se caracteriza por un clima cálido y seco, con una temperatura promedio anual de 28°C y una precipitación promedio anual de 750 mm (IDEAM, 2021). La topografía de la región es montañosa, con una altitud promedio de 320 msnm en la ciudad de Cúcuta y una elevación máxima de 3.100 msnm en la Cordillera Oriental (Gobernación de Norte de Santander, 2019).

La hidrología de la región está influenciada por el río Pamplonita, que atraviesa la ciudad de Cúcuta y es un importante afluente del río Zulia (IDEAM, 2021). Además, la región cuenta

con varios ríos y quebradas de menor tamaño que contribuyen al abastecimiento de agua para la población (Gómez, 2016).

En cuanto a la geología, la región de Cúcuta está ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes, la cual se caracteriza por tener una geología compleja y diversa, con presencia de diferentes tipos de rocas y suelos (Gómez, 2016).

En cuanto a la demografía, la población de Cúcuta es de aproximadamente 750.000 habitantes, siendo la octava ciudad más poblada de Colombia (DANE, 2021). La Universidad Francisco de Paula Santander cuenta con una población estudiantil de alrededor de 20.000 estudiantes y una planta docente de aproximadamente 1.000 profesores (Universidad Francisco de Paula Santander, 2022).

En cuanto a estudios previos relacionados con el manejo de aguas lluvias en la Universidad Francisco de Paula Santander, se ha identificado la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible del agua en la universidad, teniendo en cuenta el cambio climático y la vulnerabilidad de la región ante eventos extremos de precipitación (Bastidas et al., 2019). Además, se ha identificado la necesidad de implementar técnicas de recolección y almacenamiento de agua de lluvia como una alternativa para reducir el consumo de agua potable en la universidad y contribuir al manejo sostenible del recurso hídrico (López, 2020).

2.5. Marco Legal

El marco legal es un aspecto importante a considerar en cualquier estudio que involucre el manejo de recursos naturales y el medio ambiente. En este sentido, se ha realizado una recopilación de las leyes y normativas que se relacionan con el manejo de aguas lluvias en

Colombia y en la región andina del país. En la Tabla 1 se presentan las principales leyes y normativas que regulan el manejo de aguas lluvias en Colombia, las cuales serán de gran relevancia para el desarrollo de esta tesis.

Tabla 1. Marco Legal

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la Ley 23 de 1973 sobre fauna silvestre.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se establecen normas para la prevención y control de la contaminación del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 273 de 1994	Por la cual se establece el Plan Nacional para el Manejo de Aguas Lluvias y se dictan otras disposiciones.
Decreto 605 de 1996	Por el cual se reglamenta la Ley 99 de 1993 en lo relacionado con la prevención y control de la contaminación del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones.
Ley 373 de 1997	Por la cual se regula el derecho fundamental de acceso al agua y se establecen los criterios para su uso y aprovechamiento.
Decreto 1640 de 2012	Por el cual se establece la regulación técnica para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de las infraestructuras para el manejo de aguas lluvias en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones.
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los criterios para el diseño, construcción y operación de las infraestructuras hidráulicas para el manejo de aguas lluvias en zonas urbanas y se dictan otras disposiciones.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describirán las diferentes fases que se llevarán a cabo para la realización de este estudio, así como las técnicas de recolección de datos y análisis que se utilizarán. Además, se discutirán las limitaciones y consideraciones éticas que deben tenerse en cuenta durante la investigación. Con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados, se seguirán los lineamientos y recomendaciones metodológicas propuestas por expertos en el campo de la investigación mixta.

3.1. Diseño de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación aplicada es el tipo de investigación más adecuado para abordar el problema del manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. Según Bernal (2010), la investigación aplicada se enfoca en la solución de problemas prácticos en un contexto específico, lo que la hace pertinente para abordar el problema planteado en este proyecto.

La investigación aplicada utiliza métodos y técnicas de investigación científica para abordar un problema real y ofrecer soluciones prácticas y aplicables. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), estos métodos pueden incluir estudios de caso, experimentos, encuestas, entrevistas, entre otros, dependiendo de la naturaleza del problema y los objetivos específicos de la investigación.

En el caso específico de este proyecto, se requiere realizar estudios de topografía y suelos, así como estudios hidrológicos para determinar los caudales que se reciben de las aguas

lluvias. Para ello, se utilizarán metodologías de investigación que permitan recolectar datos precisos y relevantes sobre el campus universitario y su entorno.

De acuerdo con Rodríguez, Cifuentes y Rodríguez (2016), los estudios de topografía y suelos son fundamentales para el diseño de obras de ingeniería civil, ya que permiten conocer las características del terreno y la resistencia de los materiales que lo conforman. Por su parte, los estudios hidrológicos permiten determinar los caudales que se reciben de las aguas lluvias y hacer el modelamiento hidráulico de las estructuras, lo que es fundamental para el diseño de un sistema de manejo y evacuación de aguas lluvias eficiente.

Para llevar a cabo la investigación aplicada, se utilizarán diferentes enfoques metodológicos según los objetivos específicos de la investigación. Por ejemplo, para el objetivo de consultar los referentes teóricos y legales relacionados con el objeto de estudio del proyecto, se utilizará una revisión bibliográfica exhaustiva que permita identificar las normativas y estándares internacionales para el manejo de aguas lluvias en campus universitarios.

En resumen, la investigación aplicada es el tipo de investigación más adecuado para abordar el problema del manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. Se utilizarán diferentes metodologías de investigación para recolectar datos precisos y relevantes sobre el campus universitario y su entorno, y se llevarán a cabo estudios de topografía y suelos, así como estudios hidrológicos para determinar los caudales que se reciben de las aguas lluvias. Además, se utilizará una revisión bibliográfica exhaustiva para identificar las normativas y estándares internacionales para el manejo de aguas lluvias en campus universitarios.

3.1.2. Enfoque de la investigación

En este caso, el enfoque de la investigación es mixto, ya que se combinarán elementos cuantitativos y cualitativos para responder a los objetivos específicos del proyecto.

Por un lado, se utilizarán métodos cuantitativos para realizar estudios hidrológicos que permitan medir de forma objetiva los caudales que se reciben de las aguas lluvias. Asimismo, se utilizarán técnicas cuantitativas para modelar hidráulicamente las estructuras y determinar la capacidad requerida para el sistema de manejo y evacuación de aguas lluvias.

Por otro lado, se emplearán métodos cualitativos para obtener información sobre la percepción y el uso del agua en el campus universitario, a través de entrevistas a los diferentes actores involucrados en el manejo del agua, como los encargados de mantenimiento y los usuarios de las áreas verdes. Además, se realizarán estudios de caso para analizar las mejores prácticas de manejo de aguas lluvias en otros campus universitarios y adaptarlas a las condiciones específicas de la Universidad Francisco de Paula Santander.

Según Creswell y Plano Clark (2018), la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos en una investigación mixta permite obtener una visión más completa y holística del problema de investigación, al integrar la medición objetiva con la interpretación subjetiva de los datos. En este sentido, el enfoque mixto de la investigación permitirá obtener una perspectiva más integral del manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, lo que contribuirá a proponer una solución más efectiva y sostenible.

3.1.3. Técnicas de recolección de datos

En relación a los objetivos específicos del proyecto, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para lograr su cumplimiento.

En primer lugar, se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva de los referentes teóricos y legales relacionados con el objeto de estudio del proyecto, con el fin de conocer los avances y las prácticas actuales en el manejo de aguas lluvias en contextos universitarios y de la normatividad vigente aplicable. Esta técnica será fundamental para cumplir con el primer objetivo específico del proyecto.

Además, se llevarán a cabo estudios de topografía y suelos en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, utilizando técnicas de medición como la teodolita y el GPS, lo que permitirá conocer las características del terreno y la resistencia de los materiales que lo conforman. Estos estudios se relacionan con el segundo objetivo específico del proyecto.

Por otra parte, se realizarán estudios hidrológicos para determinar los caudales que se reciben de las aguas lluvias y hacer el modelamiento hidráulico de las estructuras, utilizando técnicas como la medición de caudales y la simulación de escenarios. Estas técnicas permitirán cumplir con el tercer objetivo específico del proyecto.

Finalmente, se realizará un análisis económico y financiero para determinar el presupuesto y cronograma de la ejecución del proyecto. Para esto, se utilizarán técnicas como la elaboración de presupuestos y la evaluación financiera de proyectos, lo que permitirá cumplir con el cuarto objetivo específico del proyecto.

De acuerdo con Creswell y Plano Clark (2018), la combinación de diversas técnicas de recolección de datos en una investigación mixta permite obtener una visión más completa y holística del problema de investigación, al integrar la medición objetiva con la interpretación subjetiva de los datos. En este sentido, las técnicas de recolección de datos seleccionadas para este proyecto permitirán obtener información precisa y relevante sobre el manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, lo que contribuirá a proponer una solución más efectiva y sostenible.

3.2. Selección de la muestra

La población en este proyecto de investigación está conformada por todas las áreas del campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander que son susceptibles de recibir aguas lluvias. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población en una investigación hace referencia a un conjunto de individuos, objetos, eventos o situaciones que comparten características comunes y que son de interés para el estudio. En este caso, la población está conformada por todas las áreas del campus universitario que presentan una problemática relacionada con el manejo y evacuación de aguas lluvias.

La población se dividirá en tres categorías: áreas administrativas, áreas académicas y áreas deportivas. De cada categoría se tomará una muestra representativa para realizar la recolección de datos. Según Montero y León (2017), la muestra es un subconjunto representativo de la población que se selecciona para estudiarla y obtener información relevante. La selección de una muestra adecuada permitirá obtener resultados más precisos y confiables, evitando errores que puedan afectar la validez y la confiabilidad de los datos.

La selección de la muestra se realizará mediante un muestreo aleatorio simple. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el muestreo aleatorio simple es una técnica de selección de la muestra que garantiza la representatividad y la imparcialidad de la muestra. Además, permite controlar los sesgos y las limitaciones que puedan afectar la validez y la confiabilidad de los datos recolectados.

3.3. Técnicas y herramientas de análisis de datos

Para analizar los datos recopilados en este proyecto, se utilizarán diferentes técnicas y herramientas de análisis de datos, dependiendo de la naturaleza de los datos y los objetivos específicos de la investigación.

En primer lugar, para el objetivo de determinar las características topográficas y de los suelos del campus universitario, se utilizarán técnicas de análisis geoespacial, como el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permite integrar y analizar datos geográficos de diferentes fuentes para generar mapas temáticos y visualizar la distribución espacial de los datos. También se utilizarán técnicas de análisis estadístico, como el análisis de varianza (ANOVA), para determinar si hay diferencias significativas en las características topográficas y de los suelos en diferentes áreas del campus universitario.

Para el objetivo de determinar los caudales de las aguas lluvias en el campus universitario, se utilizarán técnicas de análisis hidrológico, como el método del hidrograma unitario, que permite estimar el caudal de un río o canal en función de la precipitación y la duración de la tormenta. Además, se utilizarán técnicas de análisis estadístico para determinar la frecuencia y duración de las lluvias en la zona del campus universitario, lo que permitirá estimar el volumen total de agua que se debe manejar.

Por último, para el objetivo de diseñar un sistema de manejo y evacuación de aguas lluvias eficiente, se utilizarán técnicas de análisis hidráulico, como el modelamiento hidráulico, que permite simular el comportamiento del agua en diferentes estructuras y evaluar el rendimiento del sistema de manejo y evacuación de aguas lluvias propuesto. También se utilizarán técnicas de análisis económico, como el análisis costo-beneficio, para evaluar la rentabilidad del sistema propuesto y determinar si su implementación es factible desde un punto de vista financiero.

En conclusión, la combinación de estas técnicas y herramientas de análisis de datos permitirá obtener una visión integral y detallada del manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander, lo que contribuirá a proponer una solución sostenible y efectiva para este problema ambiental.

3.4. Fases de la investigación

Este proyecto de investigación se desarrollará por fases, las cuales estarán alineadas con los objetivos específicos planteados y se espera que, al finalizar cada fase, se hayan cumplido satisfactoriamente dichos objetivos. A continuación, se presenta la Tabla 2 la cual contiene las fases de la investigación, las actividades que se desarrollarán en cada una y las herramientas que se utilizarán.

Tabla 2. Fases de la investigación

FASES	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS
Fase 1: Identificación del problema	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión bibliográfica - Análisis de documentos institucionales - Observación del sitio 	<ul style="list-style-type: none"> - Bases de datos en línea - Documentos institucionales - Registro fotográfico
Fase 2: Caracterización del problema	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del sistema de recolección actual 	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas de muestreo

FASES	ACTIVIDADES	HERRAMIENTAS
Fase 3: Propuesta de solución	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de alternativas de solución - Selección de la mejor alternativa - Diseño de la propuesta 	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz de decisión - Software de diseño asistido por computadora
Fase 4: Evaluación financiera	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de los costos y beneficios - Análisis de la rentabilidad de la propuesta 	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas de análisis financiero - Software especializado en análisis de inversiones

En la primera fase se llevará a cabo una revisión bibliográfica, análisis de documentos institucionales y observación del sitio para identificar y comprender el problema del manejo de aguas lluvias en el campus universitario. En la segunda fase se realizará un análisis del sistema actual para caracterizar el problema. En la tercera fase se propondrán alternativas de solución, se seleccionará la mejor opción y se diseñará la propuesta. Finalmente, en la cuarta fase se llevará a cabo una evaluación financiera para identificar los costos y beneficios y analizar la rentabilidad de la propuesta.

Es importante destacar que cada una de estas fases está estrechamente relacionada con los objetivos específicos establecidos al inicio del proyecto, y se espera que, al completarlas, se hayan cumplido dichos objetivos.

3.5. Limitaciones y consideraciones éticas

En cualquier investigación, es importante considerar las limitaciones y las consideraciones éticas que pueden surgir durante el proceso. En el caso de esta investigación, se han identificado algunas limitaciones que podrían afectar la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Una de las limitaciones es que la investigación se limita al campus

universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander y no se considerarán otras zonas de la ciudad. Además, se puede presentar una limitación en cuanto a la accesibilidad a la información requerida para la investigación.

Por otro lado, es importante tener en cuenta las consideraciones éticas durante todo el proceso de investigación. En este sentido, se garantizará la confidencialidad de la información recopilada y se respetará la privacidad de los participantes. Además, se procurará obtener el consentimiento informado de los participantes antes de su participación en la investigación. En caso de presentarse situaciones imprevistas o conflictivas, se tomarán las medidas necesarias para resolverlas de manera ética y justa.

En conclusión, esta investigación es consciente de las posibles limitaciones y consideraciones éticas que puedan surgir, y se tomarán las medidas necesarias para minimizar su impacto en la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos y en el respeto a los derechos de los participantes.

CAPITULO IV: RESULTADOS

El presente capítulo de resultados aborda de manera integral el desarrollo del proyecto, desde la identificación del problema inicial hasta la planeación y ejecución de la solución propuesta. En primer lugar, se realiza una detallada descripción del problema identificado, analizando sus causas y consecuencias. Posteriormente, se aborda la obtención de la topografía y el estudio de suelos, que brindaron información crucial para el diseño y la implementación de la solución. A continuación, se presenta la propuesta solución, detallando las medidas y estrategias planteadas para resolver el problema. Por último, se describe en detalle la planeación y ejecución del proyecto, incluyendo la secuencia de actividades, la asignación de recursos y los resultados obtenidos. Este capítulo constituye un paso fundamental en el proceso de investigación, proporcionando una visión clara y concisa del desarrollo y los logros alcanzados en el proyecto.

4.1. Identificación del problema

La identificación del problema es un paso crucial en cualquier proyecto, y en el caso de la Universidad Francisco de Paula Santander, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo para identificar los desafíos relacionados con el manejo de las aguas pluviales. Durante esta etapa, se ha observado que existen áreas específicas que experimentan dificultades debido a la falta de un sistema adecuado de drenaje. Estos problemas incluyen la acumulación de agua en el estacionamiento central y en las áreas cercanas al edificio de Fundadores. Estas situaciones no solo dificultan el acceso y la movilidad de las personas, sino que también representan riesgos para la seguridad y la integridad de la comunidad universitaria. Con el fin de abordar estos desafíos y encontrar soluciones efectivas, es fundamental comprender en detalle la

magnitud del problema y sus implicaciones. Mediante una identificación precisa del problema, se podrá desarrollar un plan de acción que permita mejorar el manejo de las aguas pluviales y garantizar un entorno seguro y funcional en la universidad.

4.1.1. Geolocalización

Es fundamental establecer la ubicación geográfica precisa de la universidad en relación con la ciudad de Cúcuta debido a la relevancia que tiene para comprender y abordar los problemas relacionados con el manejo de aguas lluvias. Conocer la ubicación exacta nos permite analizar las características geográficas y climáticas de la zona, así como identificar posibles fuentes de agua y los patrones de drenaje natural. Además, esta información nos ayuda a entender cómo las condiciones geográficas pueden influir en la vulnerabilidad de los diferentes edificios y áreas de la universidad ante eventos de lluvia intensa. Establecer una geolocalización precisa nos brinda una base sólida para el análisis y diseño de soluciones efectivas que aborden los problemas existentes y contribuyan a la resiliencia de la institución frente a las precipitaciones.

4.1.1.1. Descripción de la ubicación

La Universidad Francisco de Paula Santander se encuentra estratégicamente ubicada en la ciudad de Cúcuta, en el departamento de Norte de Santander, Colombia. Situada en la zona nororiental del país, esta institución académica se localiza en un entorno de gran importancia geográfica y económica. Rodeada por majestuosas montañas y atravesada por el río Pamplonita, la universidad se sitúa en una región caracterizada por su belleza natural y su clima tropical. Además, su cercanía con el centro de Cúcuta, uno de los principales núcleos urbanos de la región, la convierte en un punto de referencia clave para la educación superior

en el área. Esta ubicación estratégica no solo proporciona una conexión directa con la comunidad local, sino que también establece una relación estrecha con el desarrollo social, cultural y económico de la ciudad.

4.1.1.2. Geolocalización

Con el fin de facilitar la ubicación precisa de la Universidad Francisco de Paula Santander en un mapa, es fundamental incluir coordenadas geográficas precisas. Estas coordenadas, ya sea en formato de latitud y longitud o utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS), proporcionan una referencia cartográfica concreta que permite identificar con exactitud la ubicación de la institución en relación con su entorno geográfico. Al contar con estas coordenadas geográficas, tanto los miembros de la comunidad universitaria como los visitantes pueden utilizar herramientas de navegación y mapas digitales para encontrar fácilmente la universidad y planificar rutas de acceso. Esta información geográfica que se muestra en la Tabla 3, no solo facilita la orientación espacial, sino que también promueve una mejor comunicación y colaboración al brindar referencias geográficas comunes a todos los involucrados en el proyecto.

Tabla 3. Coordenadas de la universidad

TIPO DE COORDENADA	VALOR
Geográficas WGS84	7.898418042055109N, 72.48866932044396W
Origen nacional	2430802.548 Norte (m), 5056340.256 Este (m)

4.1.1.3. Mapa

Para una representación visual clara de la ubicación de la Universidad Francisco de Paula Santander en relación con la ciudad de Cúcuta, es recomendable adjuntar un mapa o una

imagen que ilustre esta relación geográfica. El mapa mostrará la posición exacta de la universidad en el contexto de la ciudad, lo que permitirá una comprensión más precisa de su ubicación. Al observar el mapa, se podrá apreciar la distribución espacial de la universidad en relación con los principales puntos de referencia de Cúcuta, como calles principales, parques u otros hitos destacados. Además, el mapa ayudará a visualizar la proximidad de la universidad a las vías principales de acceso y a otras áreas de interés en la ciudad. Al proporcionar este mapa detallado en la Figura 1, se facilitará a los lectores una referencia visual efectiva para comprender la ubicación exacta de la universidad y su relación geográfica con Cúcuta.

Figura 1. Mapa



Nota: imagen proporcionada por Google maps (Google maps, 2023)

4.1.2. Composición de la universidad

La Universidad Francisco de Paula Santander es una prestigiosa institución educativa que se destaca por su excelencia académica y su compromiso con la formación integral de sus

estudiantes (UFPS, 2023). Esta universidad, ubicada en la ciudad de Cúcuta, cuenta con una sólida estructura física y organizativa que la respalda.

En cuanto a su estructura física, la universidad está compuesta por diversos edificios que albergan aulas, laboratorios, bibliotecas y áreas administrativas. Estos espacios están diseñados para brindar un ambiente propicio para el aprendizaje, la investigación y el desarrollo de actividades académicas (UFPS, 2023). Además, la universidad cuenta con amplias áreas verdes, jardines y zonas recreativas que contribuyen a crear un entorno favorable para el bienestar de la comunidad universitaria (UFPS, 2023).

En cuanto a su organización, la Universidad Francisco de Paula Santander se rige por una estructura jerárquica que garantiza una gestión eficiente. Cuenta con diversas facultades y departamentos académicos que abarcan una amplia gama de disciplinas, lo que permite ofrecer una oferta educativa diversa y de calidad (UFPS, 2023). Asimismo, cuenta con un equipo administrativo y directivo que vela por el buen funcionamiento de la universidad y la implementación de políticas y programas que promueven el desarrollo académico y la proyección social (UFPS, 2023).

En resumen, la Universidad Francisco de Paula Santander se caracteriza por su sólida estructura física y organizativa, que proporciona un entorno propicio para el crecimiento y desarrollo de la comunidad universitaria (UFPS, 2023). Su compromiso con la excelencia académica y su enfoque integral en la formación de sus estudiantes la convierten en una institución educativa de referencia en la región.

4.1.2.1. Número de edificios

La Universidad Francisco de Paula Santander cuenta con un impresionante conjunto de edificios que conforman su campus universitario. En total, la universidad se compone de 38 edificios, cada uno con su propia funcionalidad y contribución a la vida académica y administrativa de la institución. En la Figura 2 podemos observar con más detalle esta información

Figura 2. Infraestructura de la universidad

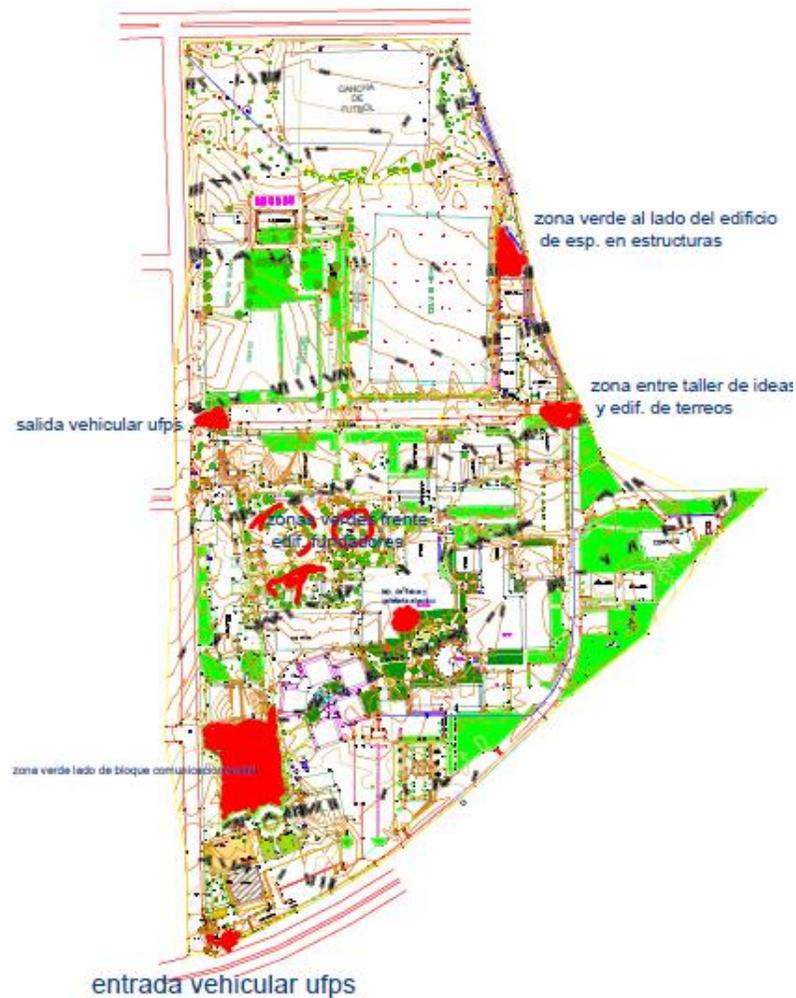


Nota: el plano de la infraestructura fue proporcionado por la pagina de la universidad (UFPS, 2023)

4.1.2.2. Áreas más afectadas

El manejo inadecuado de las aguas pluviales ha generado problemas significativos en varias áreas de la Universidad Francisco de Paula Santander. Tras un análisis exhaustivo de la situación, se han identificado zonas que se ven especialmente afectadas por estos problemas. En la Figura 3 se ven localizadas las áreas más afectadas en la universidad.

Figura 3. Identificación de las zonas más afectadas



Como se puede apreciar en la Figura 3 las zonas afectadas son:

Tabla 4. Vista grafica de las zonas afectadas

SITIO	IMAGEN
<p>Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.</p>	
<p>Zona entre taller de ideas y edif. de terreatos</p>	
<p>Zona verde frente a edificio fundadores</p>	

SITIO	IMAGEN
Salida vehicular UFPS	
Zona verde lado del bloque comunicación social	
Lab. de física y cafetería abanico	
Entrada vehicular	

La Tabla 4 muestra visualmente como están afectadas las zonas de la universidad.

En resumen, se identifican las siguientes deficiencias en el sistema de drenaje de la zona:

- La Zona verde al lado del edificio de estructuras carece de un sistema de desagüe, lo que está causando afectaciones en dicha área.
- En la zona entre el taller de ideas y el edificio de terrenos no se ha instalado un desagüe en la zona asfáltica, lo cual representa un problema.
- La Zona verde frente al edificio fundadores también carece de un sistema de desagüe en la zona verde, lo que está generando inconvenientes.
- En la salida vehicular de la UFPS no se ha implementado un desagüe en la zona asfáltica, lo cual es una carencia que debe ser atendida.
- La Zona verde ubicada al lado del bloque de comunicación social tampoco cuenta con un sistema de desagüe en la zona verde, lo cual es una situación problemática.
- En la zona verde del Laboratorio de física y la cafetería abanico, tampoco se ha instalado un sistema de desagüe en la zona verde, lo cual representa una deficiencia.
- Finalmente, en la entrada vehicular de la UFPS se identifica la ausencia de un desagüe en la zona asfáltica, lo cual es necesario para un adecuado drenaje.

Es importante abordar estas deficiencias en el sistema de drenaje para evitar problemas como acumulación de agua, inundaciones o daños en las estructuras y áreas adyacentes.

4.2. Obtención de la topografía y el estudio de suelos

La obtención de la topografía y el estudio de suelos son pasos fundamentales para abordar eficazmente los desafíos relacionados con el manejo de aguas lluvias en la Universidad

Francisco de Paula Santander. A través de estos procesos, se busca comprender en detalle las áreas afectadas y recopilar información precisa sobre la configuración del terreno y las características del suelo.

4.2.1. Obtención de la topografía del campus universitario

Para comprender la configuración del terreno y las características geográficas del campus, se obtiene la topografía precisa del lugar. Esto se logra mediante la obtención de planos existentes en la biblioteca de la universidad para levantar la información necesaria. Los planos proporcionarán detalles sobre las curvas de nivel, las elevaciones y las pendientes del terreno, lo que permitirá identificar las áreas propensas a la acumulación de agua y el flujo natural del agua.

El plano (anexo 1) muestra la topografía detallada de toda la universidad. A continuación se muestra al detalle la información obtenida de la topografía de cada zona afectada en específico y sus características principales.

Tabla 5. Datos obtenidos de la topografía

SITIO	COTA BATEA SUPERIOR (msnm)	COTA BATEA INFERIOR (msnm)	LONGITUD MÁXIMA (m)	ÁREA (Ha)	% PENDIENTE (s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	295	294,6	13	0,0243	3,0769
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	295,6	295,4	10,3	0,0072	1,9417
Zona verde frente a edificio fundadores	297	296,4	21	0,1244	2,8571
Salida vehicular UFPS	296,2	296	8	0,0159	2,5

SITIO	COTA BATEA SUPERIOR (msnm)	COTA BATEA INFERIOR (msnm)	LONGITUD MÁXIMA (m)	ÁREA (Ha)	% PENDIENTE (s)
Zona verde lado del bloque comunicación social	298	297,8	30	0,1076	0,66666
Lab. de física y cafetería abanico	297,2	297	8	0,007	2,5
Entrada vehicular UFPS	299,4	299,2	7	0,005	2,8571

Los datos recopilados en la Tabla 4 nos permiten realizar una caracterización topográfica detallada de cada una de las zonas, lo cual resulta esencial para considerar estos aspectos como factores clave en el diseño del proyecto. Estos datos proporcionan información precisa sobre la elevación del terreno, la presencia de pendientes pronunciadas o áreas planas, y la ubicación de cursos de agua naturales. Al tomar en cuenta esta caracterización topográfica como factor de diseño, podemos asegurarnos de desarrollar soluciones adecuadas y adaptadas a las particularidades de cada zona. Esto nos permite optimizar la eficiencia del sistema de manejo de aguas lluvias, garantizando un flujo adecuado y minimizando los riesgos de inundaciones o problemas de drenaje. Utilizar estos datos como base para la toma de decisiones en el diseño nos permite una planificación precisa y efectiva del proyecto de manejo de aguas lluvias en el campus universitario.

4.2.2. Estudio de suelos del campus universitario

El estudio de suelos es un componente fundamental en la propuesta de manejo de aguas lluvias del campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. Este estudio permitirá obtener información precisa sobre las características y propiedades del suelo en el

área de intervención, lo cual es esencial para diseñar y dimensionar adecuadamente las infraestructuras de drenaje y manejo de aguas pluviales. Mediante la evaluación de la permeabilidad, capacidad de retención de agua, erosión y compactación del suelo, se podrán identificar las necesidades específicas de cada zona y determinar las mejores soluciones para prevenir inundaciones, mejorar la infiltración del agua y minimizar los impactos ambientales. El análisis detallado del suelo proporcionará una base sólida para la toma de decisiones, asegurando una gestión eficiente y sostenible de las aguas lluvias en el campus universitario.

La tesis de grado “CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN LOS PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER” (GOMEZ, CHACÓN, CARREÑO, & TORRADO, 1999) revela datos importantes para el diseño del sistema de alcantarillado.

Respecto a la permeabilidad del suelo, se estima que las zonas verdes presentan una capacidad de infiltración de aproximadamente 1 cm/hora. (GOMEZ, CHACÓN, CARREÑO, & TORRADO, 1999) Esta cifra indica que el suelo tiene la capacidad de permitir que el agua se infiltre a una tasa de 1 centímetro por hora. Por otro lado, las zonas asfálticas, diseñadas para soportar el tránsito vehicular, presentan una permeabilidad despreciable debido a su función principal de proporcionar una capa impermeable.

En cuanto a la capacidad de retención de agua, se considera que las zonas verdes tienen una capacidad de retención mínima del 30%. (GOMEZ, CHACÓN, CARREÑO, & TORRADO, 1999) Esto significa que el suelo puede absorber y retener al menos el 30% de su volumen en forma de agua de lluvia. Por el contrario, en las zonas asfálticas, debido a su naturaleza impermeable, la capacidad de retención de agua es aproximadamente del 0%. Para

evitar problemas de inundación en áreas asfaltadas, es fundamental implementar medidas adicionales, como sistemas de recolección y almacenamiento temporal, que permitan el manejo adecuado de las aguas pluviales.

En relación con la erosión del suelo, tanto en las zonas verdes como en las zonas asfálticas de la universidad, se ha logrado minimizar su impacto. Se han aplicado técnicas de conservación del suelo, como la construcción de terrazas, la revegetación y el control de la escorrentía, con el fin de reducir al máximo la erosión y proteger la integridad del sistema de alcantarillado (GOMEZ, CHACÓN, CARREÑO, & TORRADO, 1999).

Además, se ha realizado una compactación adecuada del suelo en las zonas verdes y asfálticas de la universidad. Esta medida busca evitar cualquier afectación a la permeabilidad y la infiltración del agua. Se han seguido prácticas idóneas de construcción y mantenimiento para garantizar una compactación óptima del suelo, evitando problemas como la reducción del flujo del agua en el sistema de alcantarillado (GOMEZ, CHACÓN, CARREÑO, & TORRADO, 1999).

4.2.3. Estudio hidrológico

Un estudio hidrológico desempeña un papel fundamental al momento de comprender y evaluar el comportamiento del agua en un área específica (EPM, 2009). Para llevar a cabo dicho estudio, se emplean diversas metodologías y técnicas que permiten recopilar y analizar los datos necesarios para el diseño de una red de alcantarillado eficiente. A continuación, se describen algunas de las principales metodologías y técnicas utilizadas en un estudio hidrológico:

- La recopilación de **datos climáticos** constituye una metodología esencial, ya que implica recolectar información histórica sobre el clima local, incluyendo datos de precipitación (EPM, 2009). Estos datos resultan indispensables para estimar la cantidad e intensidad de las precipitaciones en el área de estudio, los cuales pueden obtenerse a partir de curvas IDF de la estación meteorológica correspondiente, como la estación Camilo Daza.
- El **análisis topográfico** es otra técnica relevante que implica obtener datos acerca de la elevación del terreno, las pendientes, la dirección de flujo y la localización de cuerpos de agua (EPM, 2009). Estos datos se obtienen mediante la utilización de tecnología GPS y levantamientos topográficos. Su propósito radica en comprender el comportamiento de la escorrentía y determinar las rutas de drenaje natural. En este sentido, cabe mencionar que los datos topográficos están obtenidos previamente en el apartado 3.7.1.
- La recopilación de información sobre el **uso del suelo y las características de la superficie** es también de vital importancia (EPM, 2009). Esta información detallada permite identificar áreas urbanizadas, zonas verdes, áreas pavimentadas y otras características relevantes. Esto posibilita evaluar el impacto del uso del suelo en la infiltración y escorrentía del agua. Asimismo, es importante destacar que este aspecto ya fue abordado en el apartado 3.7.2.
- El estudio hidrológico involucra el **análisis de la hidrografía**, es decir, la respuesta del sistema de drenaje ante eventos de precipitación (EPM, 2009). A través de modelos matemáticos y técnicas de análisis estadístico, se obtienen datos sobre el tiempo de concentración, la magnitud de las crecidas y los tiempos de pico

de flujo. Estos datos resultan fundamentales para comprender el comportamiento del sistema de drenaje y diseñar una red de alcantarillado adecuada.

- Por último, se realiza un **análisis de capacidad**, el cual tiene como objetivo evaluar la capacidad actual y futura del sistema de alcantarillado para manejar el flujo de agua (EPM, 2009). En este análisis, se comparan los caudales de diseño con la capacidad de los conductos existentes y se determina la necesidad de mejoras o ampliaciones en el sistema.

Estas metodologías y técnicas se aplican de manera conjunta y complementaria en un estudio hidrológico, permitiendo obtener datos precisos y relevantes acerca del comportamiento del agua en un área específica. La información recopilada y analizada mediante estas técnicas facilita el diseño de una gestión eficiente del flujo de agua, previniendo problemas como inundaciones y daños en la infraestructura.

4.3. Propuesta de solución

El objetivo específico de realizar estudios hidrológicos para determinar los caudales que se reciben de las aguas lluvias y hacer el modelamiento hidráulico de las estructuras implica llevar a cabo las siguientes actividades:

- **Recopilar datos:** Recopilar datos sobre las precipitaciones históricas en la zona de estudio, ya sea a través de estaciones meteorológicas cercanas, registros pluviométricos o fuentes confiables de información climática. Esta actividad tiene como finalidad obtener información precisa sobre las cantidades de lluvia recibidas en el área.

- Realizar **análisis de áreas tributarias**: Identificar y delimitar las áreas hidrográficas que abarcan el campus universitario y sus alrededores. Esto implica comprender cómo fluye el agua a través del terreno y las áreas de captación de agua.
- Estimar **caudales**: Utilizar métodos hidrológicos para calcular los caudales máximos generados debido a las precipitaciones. Esto implica aplicar modelos matemáticos o utilizar fórmulas específicas que consideren las características de la cuenca y las condiciones hidrológicas del área.
- **Proponer soluciones**: Elaborar propuestas de solución para el manejo de las aguas lluvias, considerando sistemas de drenaje, sumideros, canalizaciones, reservorios, entre otros elementos. Cada propuesta será evaluada en términos de su eficacia, costo y factibilidad técnica.
- Seleccionar la **solución óptima**: Evaluar y calificar las propuestas de solución, tomando en cuenta aspectos como la efectividad para mitigar los problemas identificados, el impacto ambiental, la viabilidad económica y la facilidad de implementación. Seleccionar la solución que mejor cumpla con los requisitos establecidos.
- Realizar el **diseño final**: Proceder al diseño detallado de las estructuras y sistemas de manejo de aguas lluvias seleccionados. Esto implica determinar las dimensiones de los sumideros, la red de tuberías, los diámetros y los materiales de construcción adecuados. Además, se elaborará una tabla que contenga la cantidad de material necesario para la ejecución de la obra.

4.3.1. Datos recopilados

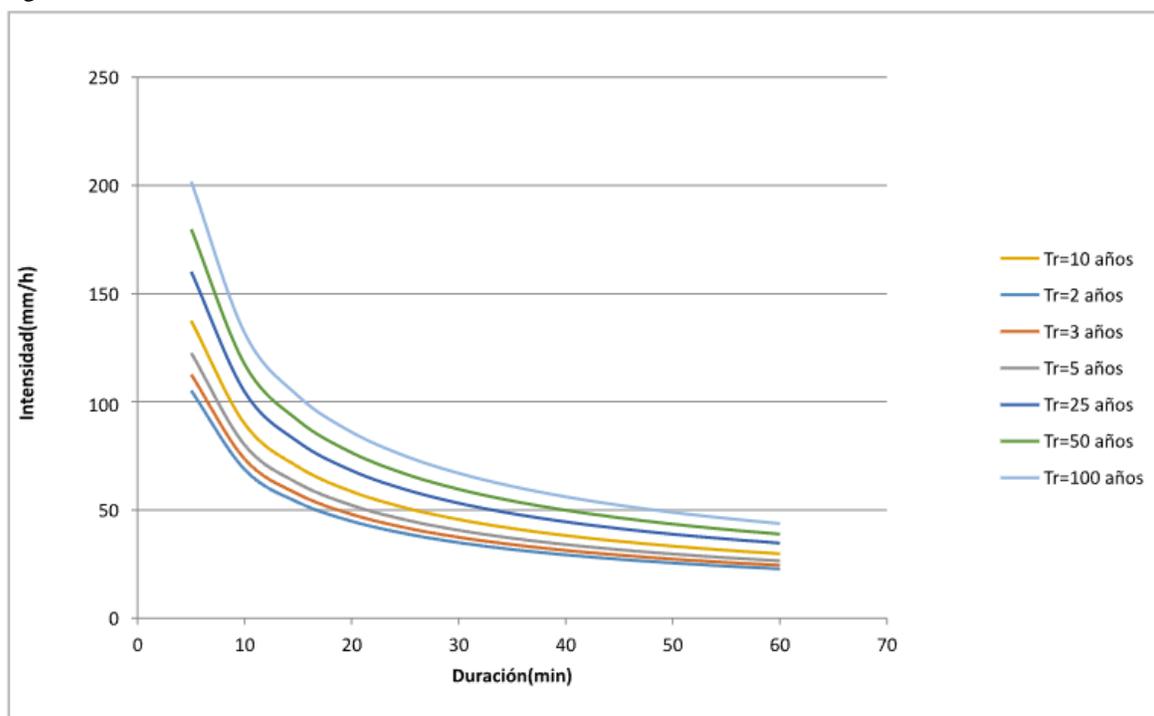
Para el diseño de un sistema de manejo de aguas lluvias, es importante considerar las características de las lluvias en la zona de estudio. Estas características dependen del nivel de protección deseado, el cual se determina en función de la importancia del proyecto y su uso, teniendo en cuenta consideraciones económicas.

Una de las características a considerar es la intensidad de la lluvia, que se define como el volumen de agua que precipita por unidad de tiempo. Generalmente, se expresa en milímetros por hora (mm/hr) o litros por hectárea por segundo (l/ha/s). Es útil recordar que 1 mm/hr es igual a 2.78 l/s/ha.

Otra característica relevante es la duración de la lluvia, que es el tiempo transcurrido desde el inicio hasta el final de la precipitación. El final de la lluvia puede ser considerado como el momento en que cesa por completo o hasta donde es apreciable para efectos prácticos.

En el caso específico del proyecto en estudio, se utilizará información local de la Estación Camilo Daza para obtener datos sobre las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Estas curvas representan la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y la frecuencia de ocurrencia de eventos lluviosos.

Figura 4. Curvas IDF Estación Camilo Daza



Fuente: IDEAM (IDEAM, 2022)

La Figura 4 muestra las curvas IDF obtenidas a partir de la información de la Estación Camilo Daza. Estas curvas son utilizadas como referencia para determinar las intensidades y duraciones de las lluvias en el diseño del sistema de manejo de aguas lluvias del proyecto.

Tabla 6. Relaciones IDF Para Estación Camilo Daza

DURACION EN MINUTOS	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	3	5	10	25	50	100
5	105.16	112.51	122.50	137.50	160.18	179.80	201.81
10	68.60	73.39	79.91	89.69	104.49	117.28	131.64
15	53.43	57.16	62.24	69.86	81.38	91.35	102.53
20	44.74	47.87	52.13	58.51	68.16	76.50	85.87
25	38.99	41.72	45.43	50.99	59.40	66.67	74.83
30	34.85	37.29	40.60	45.57	53.09	59.59	66.88
35	31.69	33.91	36.92	41.44	48.27	54.18	60.82
40	29.19	31.23	34.00	38.16	44.46	49.90	56.01

45	27.14	29.04	31.62	35.49	41.35	46.41	52.09
50	25.44	27.21	29.63	33.26	38.75	43.49	48.81
55	23.99	25.66	27.94	31.36	36.54	41.01	46.03
60	22.73	24.32	26.48	29.72	34.63	38.87	43.63

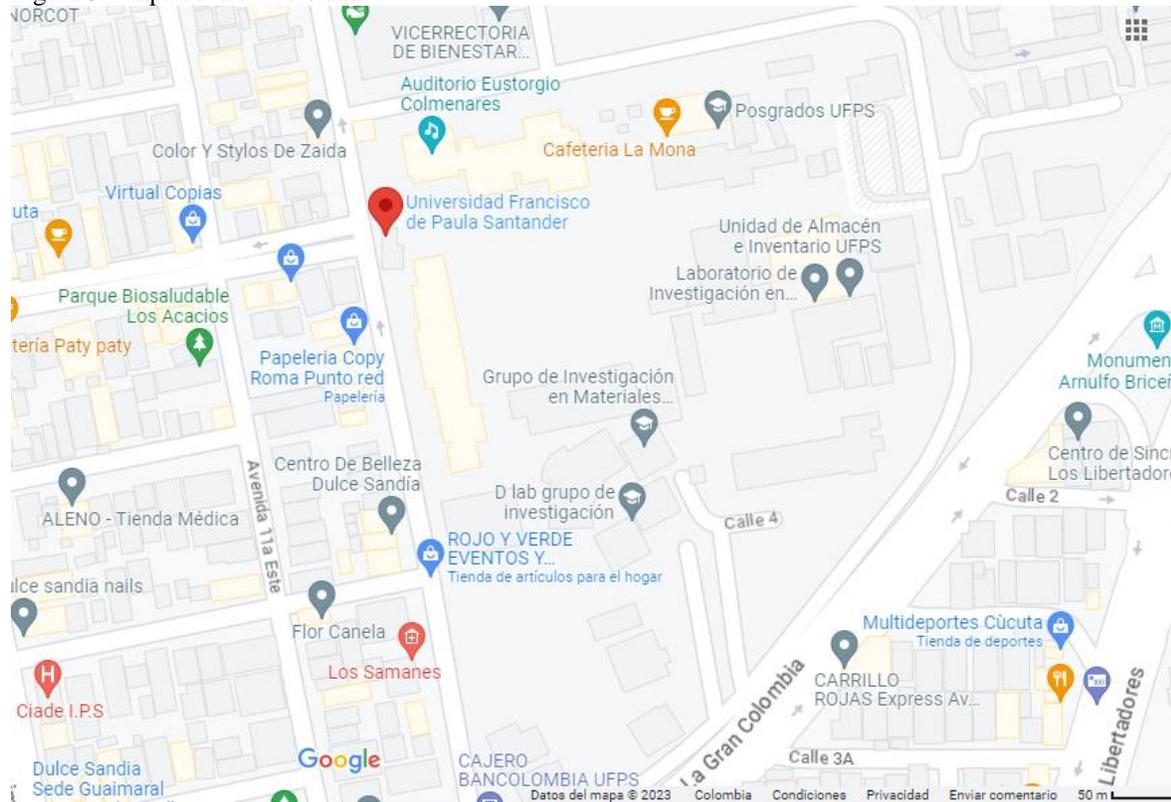
Fuente: Generadas de datos de precipitación IDEAM (IDEAM, 2022)

Al utilizar la información local obtenida en la Tabla 6, se garantiza que las características de las lluvias consideradas en el diseño sean relevantes y específicas para el área de estudio. Esto permite tomar decisiones adecuadas en cuanto a la capacidad de los sistemas de drenaje, el dimensionamiento de las estructuras y la planificación del manejo de las aguas pluviales en el proyecto.

4.3.2. Áreas tributarias

El análisis de áreas tributarias implica identificar y delimitar las áreas hidrográficas que abarcan un campus universitario y sus alrededores, con el objetivo de comprender cómo fluye el agua a través del terreno y determinar las áreas que contribuyen al suministro de agua en esa zona específica (ver Figura 5).

Figura 5. Mapa de la universidad



Nota: tomado de Google Maps (Google maps, 2023)

Para lograr esto, se utilizan curvas de nivel para identificar la dirección del flujo del agua.

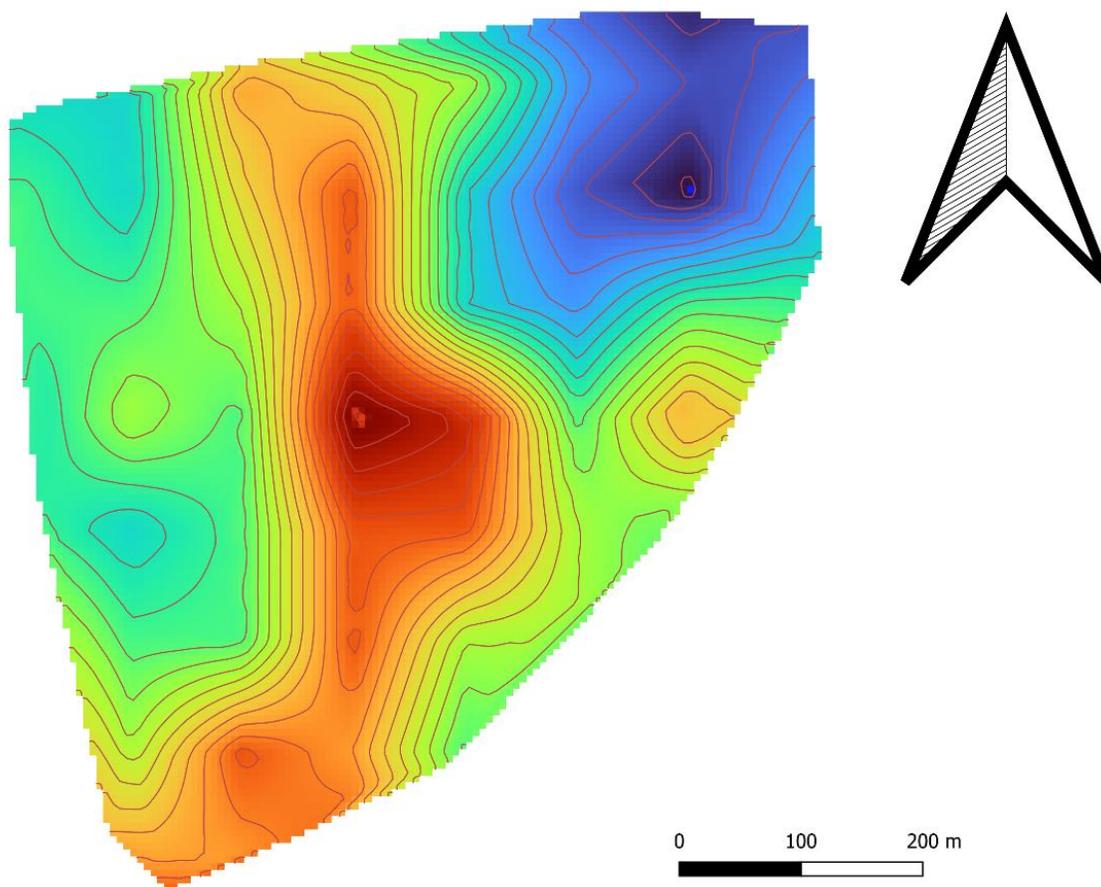
Figura 6. Curvas de nivel de la universidad



Nota: elaboración propia

La Figura 6 muestra las curvas de nivel de la universidad, que ayudan a visualizar la topografía y el relieve del terreno. Con el uso de herramientas como QGIS, un Sistema de Información Geográfica de software libre, se puede realizar una clasificación por colores para destacar las zonas altas de la universidad (ver Figura 7).

Figura 7. Nivel por colores



En la Figura 7 se puede observar que el punto más alto se encuentra en el centro de la universidad, y se identifican dos zonas hacia donde se dirigirá el flujo del agua: la zona este y oeste de la universidad. Además, a partir de la topografía obtenida, también es posible determinar las áreas tributarias de las zonas de estudio (Tabla 7).

Tabla 7. áreas tributarias

SITIO	ÁREA (HA)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0.0243
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244
Salida vehicular UFPS	0,0159
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,10767

SITIO	ÁREA (HA)
Lab. de física y cafetería abanico	0,007
Entrada vehicular UFPS	0,005

Este análisis detallado de las áreas tributarias es esencial para comprender la dinámica del agua en el campus universitario y sus alrededores. Proporciona información valiosa para la planificación y gestión del agua, así como para la identificación de áreas propensas a inundaciones o problemas relacionados con la calidad del agua. Además, este análisis ayuda a establecer medidas de conservación y protección para preservar los recursos hídricos en la zona de estudio.

4.3.3. Caudales

La estimación de caudales se realiza mediante el uso de métodos hidrológicos que permiten calcular los caudales máximos generados como consecuencia de las precipitaciones. Estos métodos se basan en modelos matemáticos y fórmulas específicas que toman en consideración las características de la cuenca y las condiciones hidrológicas del área.

Uno de los métodos más utilizados es el método racional, el cual establece que la cantidad de agua que fluye hacia un punto de drenaje en un determinado tiempo es proporcional a la precipitación en dicha área y a la superficie de la cuenca que contribuye al flujo. (EPM, 2009).

El método racional utiliza la siguiente fórmula para calcular el caudal máximo:

$$Q = C i A$$

Donde:

- Q es el caudal máximo estimado (volumen de agua que fluye por unidad de tiempo).
- C es el coeficiente de escorrentía, que representa la fracción de la precipitación que efectivamente se convierte en escorrentía superficial.
- i es la intensidad de la precipitación, es decir, la cantidad de lluvia que cae por unidad de tiempo.
- A es el área de la cuenca de drenaje que contribuye al flujo.

En esta fórmula, el coeficiente de escorrentía (C) representa la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial, y depende del coeficiente de impermeabilidad y de la pendiente promedio de la cuenca de drenaje. El coeficiente de impermeabilidad (I) está relacionado con el tipo de superficie presente en el área de drenaje y representa la proporción de esa superficie que no permite la infiltración del agua. La pendiente promedio del área tributaria (S) también influye en el coeficiente de escorrentía.

$$C = 0.14 + 0.65 * I + 0.05 * S$$

donde,

- I = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).
- S = Pendiente promedio del área tributaria (m/m).

El coeficiente de impermeabilidad, I, es función del tipo del suelo de la cuenca, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos otros factores que determinan qué parte de la precipitación se convierte en escorrentía. También se deben

tener en cuenta las consideraciones expuestas en el Numeral 6.2.7 de la norma (EPM, 2009). El diseñador debe hacer uso de los coeficientes de impermeabilidad que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Coeficientes de impermeabilidad

TIPO DE SUPERFICIE	I
Cubiertas	0,9
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,9
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,9
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,6
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,3
Laderas sin vegetación	0,6
Laderas con vegetación	0,3
Parques recreacionales	0,3

Nota: elaborado por EPM (EPM, 2009)

Para calcular la intensidad de la precipitación (i), es necesario determinar el tiempo de concentración (TC), que está relacionado con los tiempos de entrada y de tránsito del flujo superficial en la cuenca de drenaje. El tiempo de entrada (T_e) corresponde al tiempo que tarda el flujo en viajar desde la parte más alejada del área tributaria hasta el punto de entrada o sumidero más cercano. El tiempo de tránsito (T_t) es el tiempo que tarda el flujo en recorrer

un tramo de la red de drenaje. Estos tiempos se calculan en función de la longitud y la velocidad media del flujo en cada tramo. (EPM, 2009).

$$TC = T_e + T$$

donde,

- TC = Tiempo de concentración (min).
- Te = Tiempo de entrada (min).
- Tt = Tiempo de recorrido (min).

Para el cálculo del tiempo de entrada se utiliza la ecuación de la FAA3 de los Estados Unidos como se muestra

$$T_e = \frac{0.707 (1.1 - I)\sqrt{L}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

donde,

- Te = Tiempo de entrada (min).
- T = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).
- L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
- S = Pendiente promedio entre punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).

Para la estimación del tiempo de recorrido se utiliza la siguiente expresión que es función de la velocidad media de flujo en cada tramo.

$$T_t = \frac{L}{60v}$$

donde,

- T_t = Tiempo de recorrido (min).
- L = Longitud de tramo de red (m).
- v = Velocidad media del flujo (m/s).

Por último, la estimación de la intensidad media de la precipitación se realiza utilizando la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la estación meteorológica más cercana al área de proyecto. El período de retorno que se utiliza para estimar la intensidad media depende del tipo de proyecto y está determinado por las regulaciones y normas correspondientes.

En resumen, la estimación de caudales mediante métodos hidrológicos y fórmulas específicas permite obtener valores confiables de los caudales máximos generados por las precipitaciones. Estas estimaciones son esenciales para el diseño y la planificación de infraestructuras hidráulicas, así como para evaluar y gestionar los riesgos asociados a eventos extremos de lluvia en las cuencas hidrográficas.

4.3.3.1. Cálculo del caudal de agua lluvia

A continuación, se procederá al cálculo del caudal de agua lluvia para diferentes periodos de retorno, considerando los parámetros de diseño y las características de la zona del proyecto:

1. Se establecerá un tiempo de concentración mínimo de 5 minutos, según lo recomendado en el Manual de drenajes INVIAS, para tener en cuenta el tiempo necesario para que el agua se concentre en una hoyo y evitar una sobreestimación de la intensidad de precipitación.
2. Se utilizarán los valores de intensidad de precipitación obtenidos de la Tabla 6, correspondientes a un tiempo de concentración de 5 minutos.

DURACION EN MINUTOS	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	3	5	10	25	50	100
5	105.16	112.51	122.50	137.50	160.18	179.80	201.81

3. Los principales parámetros de diseño considerados son:
 - Período de retorno: 5 años.
 - Tiempo de concentración mínimo: 5 minutos.
 - Método utilizado para el cálculo de caudales: Racional.
 - Curva Intensidad-Frecuencia-Duración: Estación Camilo Daza IDEAM.
 - Coeficiente de escorrentía: 0.90 (zonas asfálticas) y 0.3 (zonas verdes).
4. Se describen las características de la zona del proyecto:
 - Clima característico: cálido, con temperaturas que oscilan entre 24 y 35 °C, y un promedio de 29 °C. En algunos meses del año, la temperatura bajo sombra puede alcanzar los 35 °C al mediodía.
 - Relieve: terreno plano con una suave pendiente en sentido occidente-oriente, y hacia el oriente se encuentra el río Pamplonita y Táchira.
 - Suelo: compuesto por sedimentitos marinos y continentales (arcillas, conglomerados, areniscas).

- Profundidad del nivel freático: a más de 2 metros.
- Servicios públicos: disponibilidad de acueducto, alcantarillado sanitario y recolección de residuos sólidos.
- Ubicación: la zona del proyecto se encuentra dentro del perímetro urbano del Municipio de Cúcuta, lo que garantiza la disponibilidad de todos los servicios públicos y un fácil acceso a zonas comerciales e institucionales. También cuenta con acceso a las vías de salida y llegada al interior del país.

Con estas condiciones, se realizará el cálculo del caudal para los periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Tabla 9. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 2 años.

PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,2757
Zona entre taller de ideas y edif. de terrenos	0,0072		0,9	0,2451
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	1,4117
Salida vehicular UFPS	0,0159	37,8273	0,9	0,5413
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	1,2218
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,0794
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,1702

Tabla 10. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 3 años.

PERIODO DE RETORNO 3 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,2950
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,2622
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	1,5103
Salida vehicular UFPS	0,0159	40,4712230	0,9	0,5791
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	1,3072
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,0849
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,1821

Tabla 11. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 5 años.

PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,3212
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,2855
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	1,6444
Salida vehicular UFPS	0,0159	44,064748	0,9	0,6305
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	1,4233
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,0925
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,1982

Tabla 12. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 10 años.

PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,3605
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,3205
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	1,8458
Salida vehicular UFPS	0,0159	49,4604316	0,9	0,7077
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	1,5976
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,1038
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,2225

Tabla 13. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 25 años.

PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,4200
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,3733
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	2,1503
Salida vehicular UFPS	0,0159	57,6187050	0,9	0,8245
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	1,8611
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,1209
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,2592

Tabla 14. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 50 años.

PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,4714
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,4191
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	2,4137
Salida vehicular UFPS	0,0159	64,6762589	0,9	0,9255
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	2,0891
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,1358
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,2910

Tabla 15. Caudal para cada zona con un periodo de retorno de 100 años.

PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS				
Sitio	Área (ha)	Intensidad (l/s/ha)	Coefficiente de escorrentía	Caudal (l/s)
Zona verde al lado del edificio de esp. en estructuras.	0,0243		0,3	0,5292
Zona entre taller de ideas y edif. de terreos	0,0072		0,9	0,4704
Zona verde frente a edificio fundadores	0,1244		0,3	2,7091
Salida vehicular UFPS	0,0159	72,5935251	0,9	1,0388
Zona verde lado del bloque comunicación social	0,1076		0,3	2,3448
Lab. de física y cafetería abanico	0,007		0,3	0,1524
Entrada vehicular UFPS	0,005		0,9	0,3266

Al analizar las tablas anteriores, se observa que los caudales más altos se encuentran en dos áreas específicas: la zona verde junto al edificio de espacios en estructuras y la zona verde al lado del bloque de comunicación social. Esto confirma la necesidad de implementar un sistema de drenaje para prevenir posibles daños en el futuro.

4.3.4. Soluciones

Se proponen las siguientes soluciones para el manejo de las aguas lluvias:

- Diseñar e implementar un sistema de drenaje pluvial adecuado, que involucre la construcción de canales y tuberías para captar y conducir el agua de lluvia hacia áreas de descarga o almacenamiento. Esto permitirá controlar y direccionar eficientemente el flujo de agua, evitando problemas de inundaciones y protegiendo la infraestructura urbana.
- Instalar sumideros en puntos estratégicos para recolectar el agua de lluvia y prevenir su acumulación en superficies urbanas. Estos sumideros actuarán como puntos de recolección, evitando que el agua se estanque y causando posibles daños. Esto contribuirá a mantener las áreas urbanas libres de inundaciones y garantizará un correcto drenaje de las aguas pluviales.
- Implementar canalizaciones eficientes mediante el uso de técnicas de ingeniería hidráulica. Estas canalizaciones permitirán dirigir y controlar el flujo de agua de lluvia de manera efectiva, evitando su acumulación en zonas vulnerables y minimizando los riesgos de inundaciones. El diseño y la construcción de estas canalizaciones deben tener en cuenta las características topográficas y la infraestructura existente en la zona.

- Construir reservorios o sistemas de almacenamiento para captar y retener el agua de lluvia. Estos reservorios serán utilizados para almacenar el agua recolectada y podrán ser utilizados posteriormente en diversas actividades, como el riego de áreas verdes o la limpieza de calles. Esto no solo ayudará a reducir el impacto de las lluvias, sino que también promoverá la reutilización de recursos hídricos y la conservación del agua.

Cada una de estas propuestas será evaluada en términos de su eficacia, costo y factibilidad técnica, considerando las características específicas de la zona y los parámetros de diseño establecidos.

4.3.5. Solución óptima

Para evaluar y calificar las propuestas de solución para el manejo de las aguas lluvias, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Efectividad para mitigar los problemas identificados:** Se debe analizar cómo cada propuesta aborda y resuelve los desafíos específicos relacionados con el manejo de las aguas lluvias. Se evaluará la capacidad de cada solución para prevenir inundaciones, proteger la infraestructura urbana y garantizar un adecuado drenaje de las aguas pluviales.
- **Impacto ambiental:** Es importante considerar el impacto que cada propuesta pueda tener en el medio ambiente. Se evaluará si las soluciones propuestas promueven la conservación del agua, la protección de los ecosistemas acuáticos y la minimización de la contaminación.

- **Viabilidad económica:** Se analizará el costo asociado a la implementación de cada propuesta, incluyendo la construcción, el mantenimiento y cualquier otro gasto relacionado. Se buscará seleccionar soluciones que sean económicamente viables y que ofrezcan una relación costo-beneficio favorable.
- **Facilidad de implementación:** Se evaluará la factibilidad técnica y logística de cada propuesta. Se considerará si es posible llevar a cabo la construcción y puesta en marcha de la solución de manera efectiva y en el tiempo previsto, teniendo en cuenta los recursos humanos, materiales y técnicos necesarios.

Basándose en esta evaluación, se seleccionará la solución que mejor cumpla con los requisitos establecidos y que presente un equilibrio entre efectividad, impacto ambiental, viabilidad económica y facilidad de implementación. Es importante tener en cuenta que la elección final puede requerir la combinación de diferentes propuestas o adaptaciones específicas para satisfacer las necesidades y características de la zona en particular.

Tabla 16. Comparativa de propuestas

PROPUESTA	EFFECTIVIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	VIABILIDAD ECONÓMICA	FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
Diseño e implementación de un sistema de drenaje pluvial adecuado	8	7	6	7
Instalación de sumideros	9	8	7	8
Canalizaciones eficientes	9	7	6	7
Construcción de reservorios	7	9	8	6

La propuesta de instalar sumideros en puntos estratégicos para recolectar el agua de lluvia en conjunto con la implementación de canalizaciones eficientes se destaca como la mejor opción. A continuación, se argumenta esta elección:

- **Efectividad:** Esta propuesta obtiene una calificación alta (9) en efectividad, ya que los sumideros permiten recolectar de manera eficiente el agua de lluvia y evitar su acumulación en superficies urbanas, mientras que las canalizaciones eficientes dirigen y controlan el flujo de agua de lluvia de manera efectiva, evitando su acumulación en zonas vulnerables.
- **Impacto ambiental:** La propuesta también obtiene una calificación positiva (8) en impacto ambiental, ya que al recolectar el agua de lluvia mediante los sumideros, se evita la acumulación y el estancamiento de agua en superficies urbanas, lo cual reduce el riesgo de contaminación y minimiza el impacto en los ecosistemas acuáticos. Asimismo, las canalizaciones eficientes contribuyen a controlar el flujo de agua y evitar inundaciones, lo que protege el entorno natural.
- **Viabilidad económica:** En términos de viabilidad económica, la propuesta también es favorable (7). La instalación de sumideros y la implementación de canalizaciones eficientes pueden ser menos costosas en comparación con otras alternativas, como la construcción de reservorios o sistemas de almacenamiento.
- **Facilidad de implementación:** La propuesta obtiene una calificación alta (8) en cuanto a la facilidad de implementación. Tanto la instalación de sumideros como la construcción de canalizaciones eficientes son técnicamente factibles y

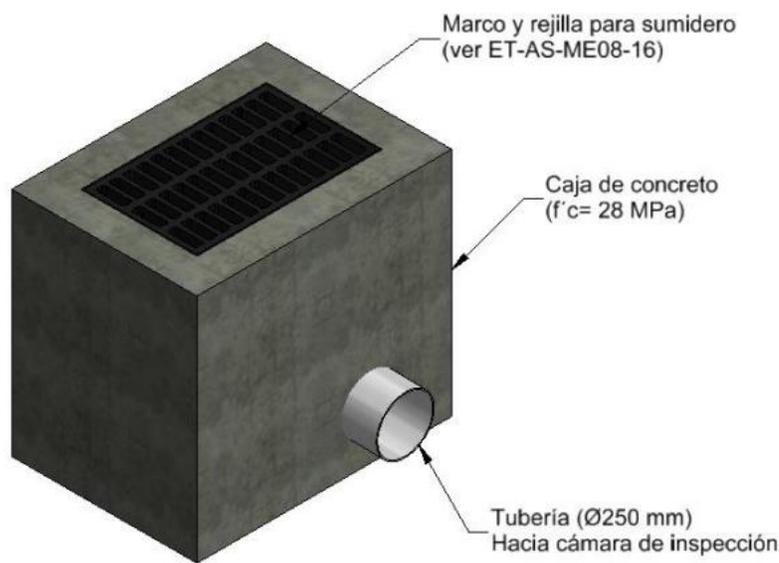
pueden ser implementadas con relativa facilidad, especialmente si se cuenta con un plan de diseño y ejecución adecuado.

En conclusión, la propuesta de instalar sumideros en puntos estratégicos para recolectar el agua de lluvia en conjunto con la implementación de canalizaciones eficientes es la mejor opción debido a su alta efectividad, impacto ambiental positivo, viabilidad económica y facilidad de implementación. Estas soluciones permitirán gestionar de manera eficiente las aguas lluvias, evitando problemas de inundaciones y protegiendo la infraestructura.

4.3.6. Diseño final

En el diseño final del sistema de manejo de aguas lluvias, se ha determinado la utilización de sumideros tipo rejilla tipo B en las zonas asfálticas y sumideros lineales en las zonas verdes de la universidad. Estos sumideros desempeñarán un papel crucial en la recolección y drenaje eficiente del agua de lluvia en sus respectivas áreas.

Figura 8. isométrico sumidero de rejilla

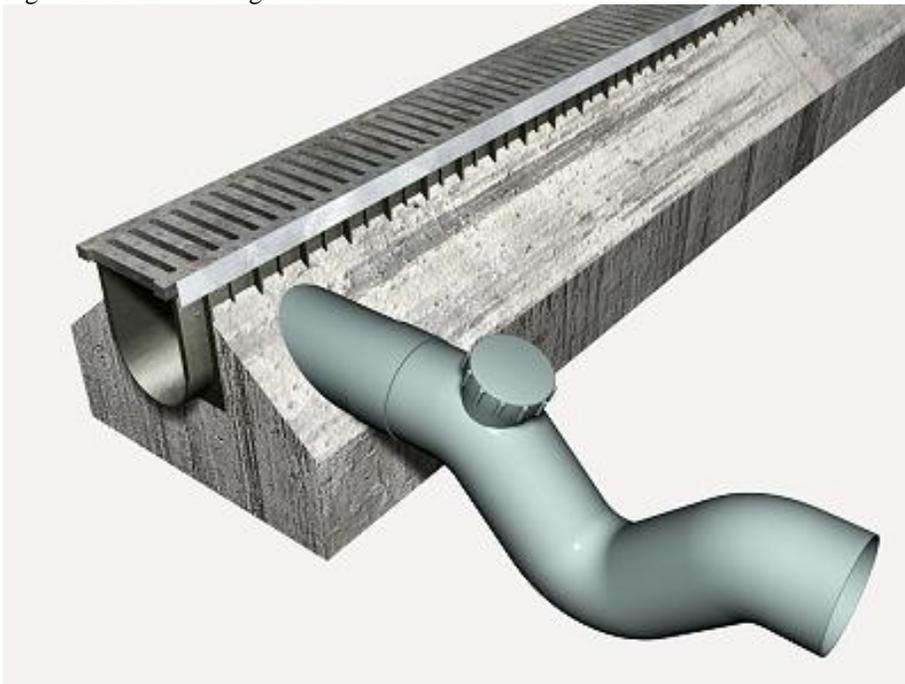


Nota: tomado de EPM (EPM, 2009).

Los sumideros tipo rejilla tipo B (ver Figura 8) son ideales para las zonas asfálticas debido a su capacidad para captar grandes volúmenes de agua en un corto período de tiempo. Estos sumideros están diseñados con una rejilla resistente que permite la entrada del agua mientras evita la obstrucción por sedimentos u otros desechos. Al conectar los sumideros a las redes de alcantarillado de la universidad mediante tuberías de PVC, se garantizará un flujo constante y rápido de agua hacia los puntos de descarga.

Por otro lado, los sumideros lineales serán instalados en las zonas verdes, donde la vegetación es más abundante. Estos sumideros se caracterizan por tener una estructura alargada y estrecha que permite la captación eficiente del agua a lo largo de su extensión. Al colocar estos sumideros estratégicamente en las áreas verdes, se evitará la acumulación de agua y se promoverá un drenaje efectivo, manteniendo así el buen estado de la vegetación y previniendo problemas de encharcamiento.

Figura 9. Sumidero longitudinal



Nota: tomado de CYPE ingenieros S.A. (CYPE Ingenieros, S.A., 2022)

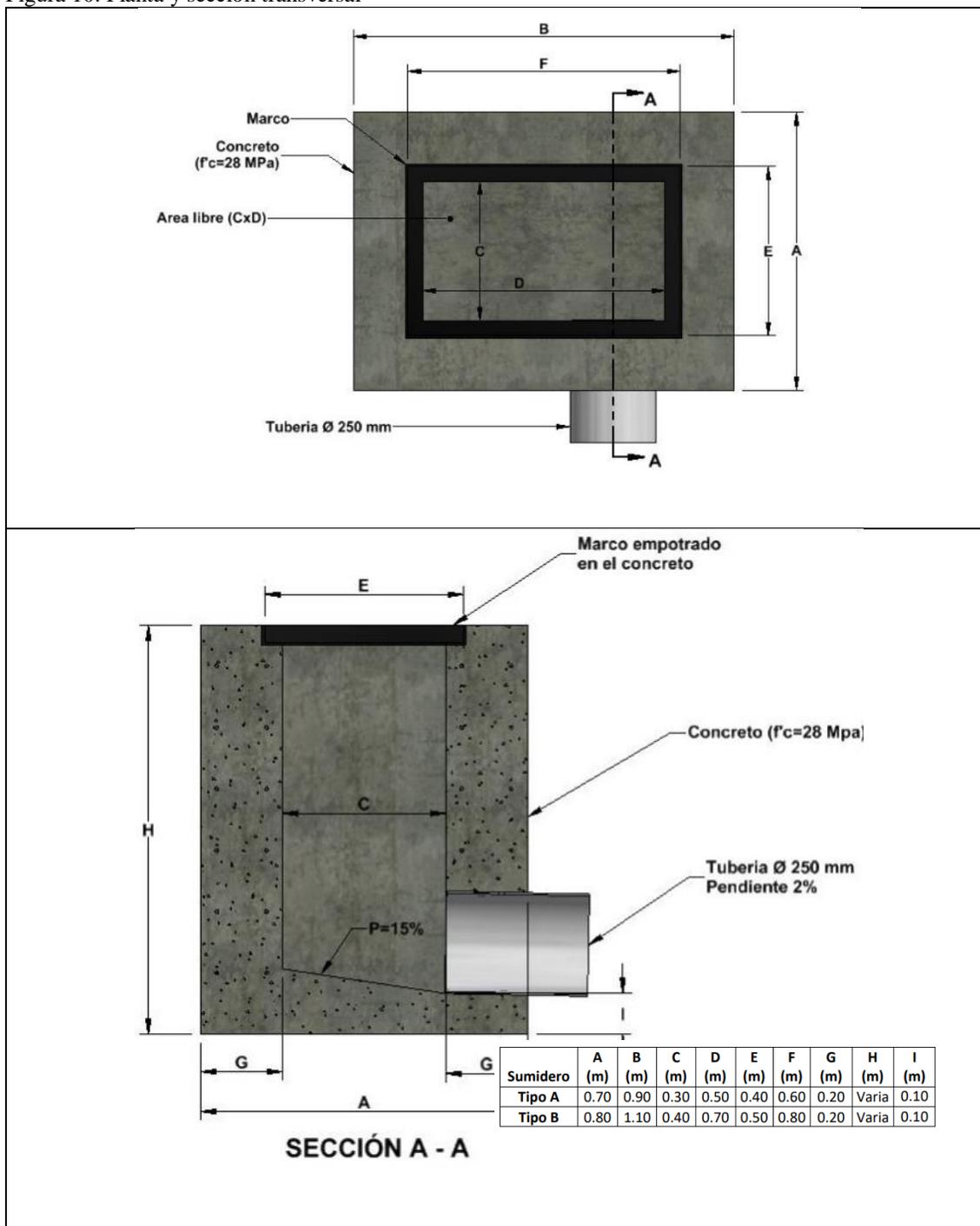
La Figura 9 corresponde a una canaleta prefabricada de drenaje para uso público de polipropileno, con refuerzo lateral de acero galvanizado, de 1000 mm de longitud, 100 mm de ancho y 170 mm de alto, con rejilla de fundición dúctil carga de rotura 400 kN.

Es importante destacar que el diseño final también contempla la selección de tuberías de PVC para conectar los sumideros a las redes de alcantarillado de la universidad. El uso de este material garantiza su resistencia a la corrosión, su durabilidad y su capacidad para soportar el flujo constante de agua de lluvia.

Con la implementación de estos sumideros y la conexión adecuada a las redes de alcantarillado, se asegurará un sistema de manejo de aguas lluvias eficiente y efectivo en la universidad. Esto permitirá prevenir problemas de inundaciones, proteger la infraestructura y mantener un entorno seguro y funcional durante las precipitaciones.

Las medidas de los sumideros tipo rejilla son proporcionadas por EPM (EPM, 2009) en la

Figura 10. Planta y sección transversal



Nota: tomado de EPM (EPM, 2009).

La altura H depende de la profundidad de la tubería, en general se recomienda una altura de 1.00 m (EPM, 2009).

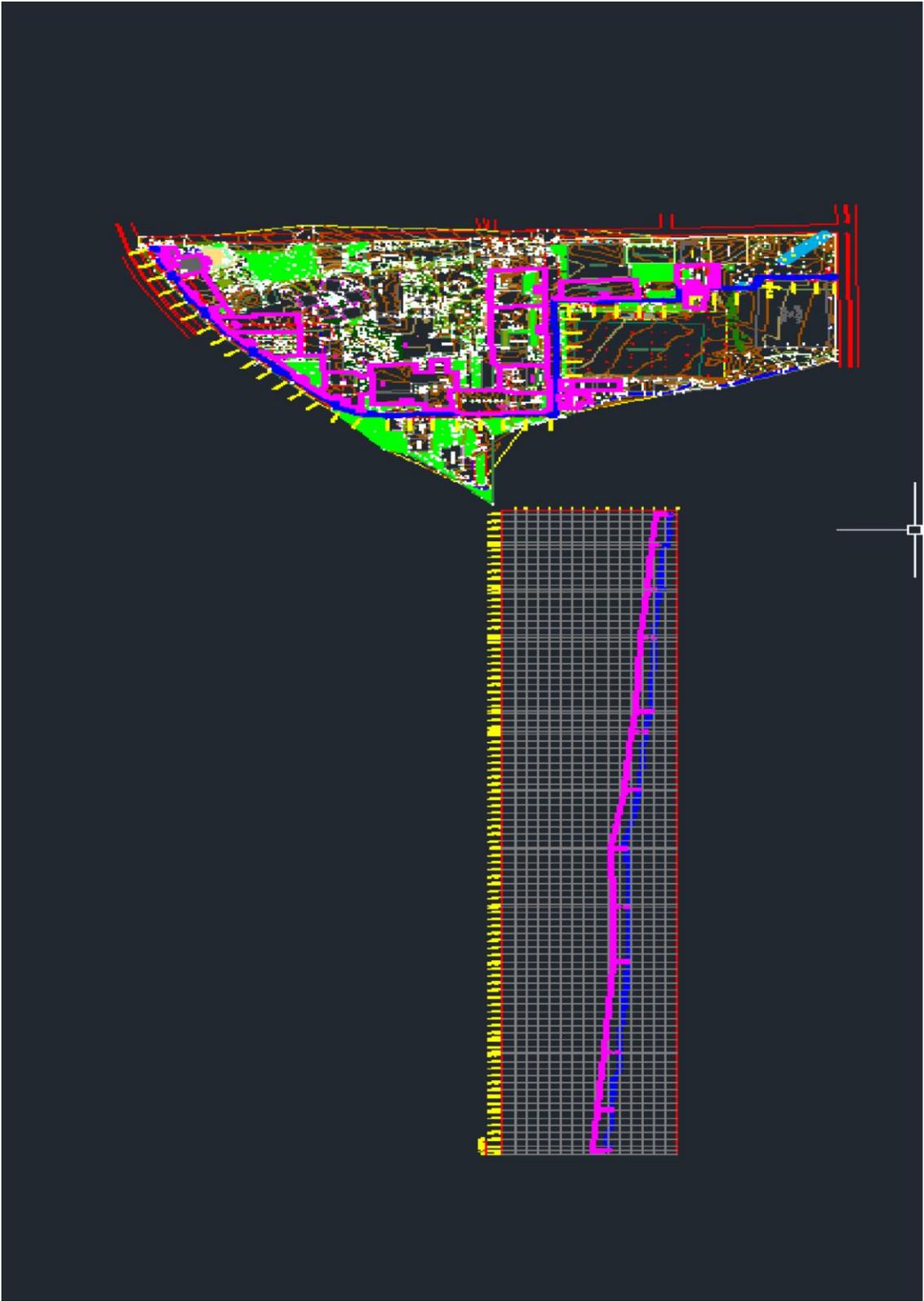
A continuación se presenta la tabla con las cantidades de sumideros a utilizar en cada zona, considerando el caudal, el área y la ubicación. Estas cantidades han sido seleccionadas con el objetivo de garantizar un adecuado drenaje de las aguas pluviales y evitar problemas de acumulación o inundaciones en cada zona específica:

Tabla 17. Cantidad de accesorios

SITIO	ACCESORIO	CANTIDAD
Zona verde al lado del edificio de esp. En estructuras.	Sumidero lineal	2
Zona entre taller de ideas y edif. De terreos	Sumidero de rejilla	1
Zona verde frente a edificio fundadores	Sumidero lineal	1
Salida vehicular UFPS	Sumidero de rejilla	1
Zona verde lado del bloque comunicación social	Sumidero lineal	2
Lab. De física y cafetería abanico	Sumidero de rejilla	1
Entrada vehicular UFPS	Sumidero de rejilla	1

Es importante mencionar que estas cantidades son aproximadas y se basan en el análisis de las características de cada zona, considerando factores como el caudal esperado, el tamaño del área a drenar y las necesidades de cada ubicación en particular.

Con esta propuesta de solución, se busca asegurar un adecuado drenaje de las aguas lluvias en cada zona de la universidad, evitando problemas de acumulación de agua y preservando la integridad de la infraestructura. La distribución de los sumideros, tanto en las zonas asfálticas como en las zonas verdes, ha sido planificada para garantizar una cobertura efectiva y un flujo adecuado del agua hacia las redes de alcantarillado.



4.4. Planeación de la ejecución

4.4.1. Etapas del proyecto

La planeación por etapas es una estrategia esencial para el desarrollo exitoso de un proyecto. En el caso del manejo de aguas pluviales, esta metodología resulta especialmente importante para garantizar una ejecución coherente y eficiente. A continuación se describe con más detalle cómo se implementa la planeación por etapas en este contexto.

La primera etapa consiste en dividir el proyecto en etapas secuenciales y lógicas, teniendo en cuenta la secuencia de actividades y los requisitos previos para cada una. Por ejemplo, se pueden establecer fases como preparación del terreno, construcción de sumideros, instalación de la red de tuberías, entre otras. Esta división permite organizar y estructurar el proyecto de manera ordenada y coherente.

En la etapa de preparación del terreno, se llevan a cabo actividades como el levantamiento topográfico, la limpieza y nivelación del área de trabajo, y la identificación de posibles obstáculos o limitaciones que puedan afectar el desarrollo del proyecto.

La siguiente etapa implica la construcción de sumideros. En esta fase se determina la ubicación precisa de cada sumidero, teniendo en cuenta el caudal de agua a captar y los requisitos de drenaje. Se realizan las excavaciones necesarias y se instalan los sumideros tipo rejilla o sumideros lineales, según corresponda a las zonas asfálticas o zonas verdes respectivamente.

Una vez finalizada la construcción de los sumideros, se procede a la instalación de la red de tuberías. Esta etapa implica la selección adecuada de los materiales de tubería, como el

PVC, y la realización de las conexiones necesarias para asegurar un correcto flujo de agua hacia los sumideros. Es importante garantizar la correcta pendiente de las tuberías para facilitar el drenaje eficiente.

Además de estas etapas principales, también se pueden considerar otras actividades necesarias para el proyecto, como pruebas de funcionamiento, monitoreo de caudales, implementación de sistemas de control y mantenimiento, entre otros. Estas actividades adicionales contribuirán a asegurar el correcto desempeño y la durabilidad del sistema de manejo de aguas pluviales.

En resumen, la planeación por etapas en el proyecto de manejo de aguas pluviales implica una división lógica y secuencial del trabajo, considerando las actividades específicas a realizar en cada etapa. Esta metodología permite una gestión más eficiente, facilita el seguimiento y control del proyecto, y garantiza una ejecución coherente y de calidad.

Con el fin de proporcionar una representación visual más clara de las etapas del proyecto, se presenta a continuación un diagrama de Gantt. Este diagrama permite una mejor comprensión de la secuencia de actividades y su duración:

Figura 11. Diagrama de Gantt del proyecto

	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
ETAPA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Preparación del terreno	■	■	■													
Construcción de sumideros				■	■	■	■	■								
Instalación de la red de tuberías					■	■	■	■	■	■						
Pruebas y puesta en marcha											■	■	■	■		

El diagrama de Gantt muestra la planificación de las etapas del proyecto en un formato de barras horizontales, donde cada etapa se representa mediante una barra y su longitud corresponde a su duración en semanas. Esto facilita la visualización de la secuencia y duración de las actividades, lo que ayuda a gestionar el proyecto de manera eficiente y garantizar su cumplimiento dentro del plazo establecido.

4.4.2. Recursos requeridos

A continuación se presenta una lista de los recursos requeridos para el desarrollo de las etapas del proyecto:

Preparación del terreno:

- Maquinaria de excavación
- Herramientas de mano (palas, picos, rastrillos)
- Materiales de construcción (cemento, arena, grava)
- Personal de construcción (operadores de maquinaria, trabajadores)

Construcción de sumideros:

- Materiales para los sumideros (rejillas, estructuras de concreto, tuberías)
- Equipos de instalación
- Personal de construcción (trabajadores especializados en construcción de sumideros)

Instalación de la red de tuberías:

- Tubos de PVC o materiales similares (tuberías, codos, conexiones)

- Equipos de instalación (cortadores de tuberías, herramientas de unión)
- Personal de construcción (trabajadores especializados en instalación de tuberías)

Pruebas y puesta en marcha:

- Personal técnico (ingenieros, especialistas en pruebas)
- Materiales de prueba (agua, dispositivos de medición)

Es importante realizar un análisis detallado de los recursos requeridos para cada etapa, considerando las especificaciones técnicas y los estándares de calidad necesarios. Además, se debe tener en cuenta la disponibilidad y la programación de los recursos, asegurándose de contar con ellos en el momento adecuado para evitar retrasos en el proyecto.

4.4.3. Presupuesto

A continuación se presenta un presupuesto estimado en moneda colombiana (COP) para el desarrollo del proyecto:

Preparación del terreno:

- Maquinaria de excavación: 20,000,000 COP
- Herramientas de mano: 5,000,000 COP
- Materiales de construcción: 15,000,000 COP
- Personal de construcción: 30,000,000 COP
- Total: 70,000,000 COP

Construcción de sumideros:

- Materiales para los sumideros: 25,000,000 COP
- Equipos de instalación: 10,000,000 COP
- Personal de construcción: 15,000,000 COP
- Total: 50,000,000 COP

Instalación de la red de tuberías:

- Tubos de PVC o materiales similares: 30,000,000 COP
- Equipos de instalación: 10,000,000 COP
- Personal de construcción: 20,000,000 COP
- Total: 60,000,000 COP

Pruebas y puesta en marcha:

- Equipos de prueba: 8,000,000 COP
- Personal técnico: 15,000,000 COP
- Materiales de prueba: 5,000,000 COP
- Total: 28,000,000 COP

Presupuesto total del proyecto: 208,000,000 COP

Es importante tener en cuenta que estos valores son estimaciones y pueden variar dependiendo de diversos factores, como los precios de los materiales y la disponibilidad de los recursos en el mercado. Se recomienda realizar un análisis detallado de los costos y obtener cotizaciones actualizadas de los proveedores y contratistas antes de iniciar el proyecto.

Con la finalización del presupuesto, se logra un avance significativo en la elaboración del presente trabajo de grado. Este capítulo de resultados ha sido cuidadosamente desarrollado, teniendo en cuenta diversos aspectos y considerando los recursos necesarios para la implementación del proyecto. La inclusión del presupuesto nos permite tener una visión clara de los costos asociados y nos brinda una base sólida para la toma de decisiones.

Conclusiones

La presente investigación ha puesto de manifiesto la importancia de implementar un plan integral de manejo de aguas lluvias en el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander. A través de un minucioso análisis de la problemática actual y la identificación de las zonas más vulnerables, se ha logrado desarrollar una propuesta adaptada y precisa que aborda de manera efectiva los desafíos asociados al manejo de las aguas pluviales en este entorno académico.

La propuesta presentada contempla diversas intervenciones estratégicas, entre las que se destacan el diseño y la implementación de sistemas de drenaje pluvial, la instalación estratégica de sumideros y la construcción de canalizaciones eficientes. Estas medidas contribuirán significativamente a un manejo más eficiente y responsable de las aguas lluvias en el campus universitario, minimizando el riesgo de inundaciones y protegiendo las estructuras existentes.

Asimismo, es importante destacar que la propuesta va más allá de la resolución de los problemas existentes, buscando fomentar una cultura de manejo responsable del agua y promover la sostenibilidad ambiental en la comunidad universitaria. A través de la implementación de estas medidas, se espera generar un impacto positivo a largo plazo en la calidad de vida de los miembros de la comunidad, así como en la preservación del entorno natural.

Para asegurar el éxito de la propuesta, se recomienda la colaboración activa entre diferentes actores involucrados, como autoridades universitarias, personal administrativo, docentes, estudiantes y expertos en el campo del manejo de aguas lluvias. Además, es crucial

llevar a cabo un monitoreo constante de las intervenciones implementadas y realizar ajustes según sea necesario, para garantizar la eficacia y la sostenibilidad a largo plazo del plan de manejo de aguas lluvias.

En resumen, la propuesta de manejo de aguas lluvias para el campus universitario de la Universidad Francisco de Paula Santander es una iniciativa integral que busca prevenir inundaciones, proteger las estructuras existentes y promover prácticas sostenibles. A través del diseño e implementación de sistemas de drenaje pluvial, sumideros estratégicos y canalizaciones eficientes, se espera lograr un manejo responsable del agua y generar un impacto positivo en la comunidad universitaria y el entorno natural. La colaboración y el monitoreo constante son clave para el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de esta propuesta.

Recomendaciones

Se sugiere realizar un seguimiento y monitoreo constante del sistema de manejo de aguas lluvias implementado en el campus universitario. Este monitoreo permitirá evaluar su desempeño, identificar posibles áreas de mejora y realizar ajustes necesarios para garantizar su eficacia a largo plazo. Asimismo, se recomienda llevar a cabo estudios periódicos para evaluar el impacto del sistema en la prevención de inundaciones y la protección de las estructuras existentes.

Es fundamental involucrar a todos los miembros de la comunidad universitaria en programas de concientización y educación sobre el manejo adecuado de las aguas lluvias. A través de actividades de sensibilización, talleres y campañas informativas, se puede promover la importancia de prácticas sostenibles y responsables, como la recolección de aguas pluviales, el uso eficiente del agua y la correcta disposición de los desechos. Estas iniciativas pueden fomentar una cultura de cuidado del medio ambiente y generar un cambio de actitud hacia el manejo responsable del agua.

Se recomienda establecer alianzas y colaboraciones estratégicas con entidades gubernamentales, organizaciones ambientales y otras instituciones académicas. Estas alianzas pueden facilitar el intercambio de experiencias y conocimientos en el campo del manejo de aguas lluvias, así como la búsqueda de soluciones conjuntas a desafíos comunes. Además, estas colaboraciones pueden abrir oportunidades para acceder a recursos adicionales, como financiamiento, tecnologías innovadoras y expertos especializados, que pueden fortalecer la implementación y el desarrollo del plan integral de manejo de aguas lluvias.

Es importante considerar la implementación de tecnologías y sistemas innovadores en el manejo de aguas lluvias. Por ejemplo, se puede explorar la captación y reutilización de agua de lluvia en actividades como el riego de áreas verdes o la limpieza de espacios comunes. Estas prácticas permitirían maximizar el aprovechamiento de este recurso natural, reducir la dependencia de fuentes externas y promover la sostenibilidad en el campus universitario. Además, se recomienda evaluar la viabilidad económica y técnica de estas tecnologías, considerando su potencial impacto en la eficiencia y la resiliencia del sistema de manejo de aguas lluvias.

Se sugiere realizar estudios periódicos de evaluación y actualización del plan integral de manejo de aguas lluvias, teniendo en cuenta posibles cambios en las condiciones climáticas y las necesidades del campus universitario. Estos estudios permitirán ajustar y adaptar el plan a medida que surjan nuevos desafíos o se identifiquen áreas de mejora. Además, se recomienda mantenerse actualizado con respecto a las regulaciones y políticas relacionadas con el manejo de aguas pluviales, a fin de garantizar el cumplimiento de los estándares y normativas vigentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahiablame, L., Shakya, R., & Adams, E. (2012). Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253-4273.
- Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse: issues, technologies, and applications*. McGraw-Hill Education.
- Bastidas, J., Ramírez, J., & Arias, J. (2019). Diagnóstico ambiental de la Universidad Francisco de Paula Santander. *Ingeniería Solidaria*, 15(27), 55-68.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson.
- Brilly, M., Rusjan, S., & Vidmar, A. (2015). Runoff coefficient variability in small urban catchments with different land use. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(3), 223-231.
- Bubeck, P., Kreibich, H., Penning-Rowsell, E., & Botzen, W. (2012). Explaining differences in flood management approaches in Europe and the USA—a comparative analysis. *Journal of Water and Climate Change*, 3(3), 165-182.
- Casas-Matiz, E., & Malagón-Micán, M. (2019). Manejo del agua lluvia en el campus de la Universidad de América. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 9-17.
- CEMAGREF. (2009). *Modelos hidráulicos y de calidad del agua en sistemas de saneamiento*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research*. SAGE Publications.

CYPE Ingenieros, S.A. (2022). *Sumidero longitudinal*. Obtenido de <http://www.colombia.generadordeprecios.info/>:
http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Urbanizacion_interior_d_el_terreno/Alcantarillado/Sumideros_e_imbornales_urbanos/Sumidero_longitudinal_0_4_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0.html

DANE. (2021). *Proyecciones de población nacional, departamental y municipal 2020-2050*.

DANE. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

EPA. (2018). *National Menu of Best Management Practices (BMPs) for Stormwater, Version 2*. United States Environmental Protection Agency.

EPM. (2009). *Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado*. Medellín .

Estupiñán, J., & Zapata, H. (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad Javeriana.

Fernández, V., Aguirre, P., Cabrera, M., & López, D. (2016). Análisis hidrológico de cuencas hidrográficas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(3), 37-52.
doi:10.1016/j.rhi.2016.05.001

Fletcher, T., Andrieu, H., Hamel, P., & Reverchon, B. (2013). State of the art of rainwater management in Europe. *Water Science and Technology*, 68(9), 1955-1962.

- García, C., Rodríguez, E., & Barragán, A. (2015). Evaluación de los parámetros hidrológicos en la subcuenca del río Laja, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 121-133.
- Gelderman, R. (2011). Rainwater harvesting for drylands and beyond. En *Volume 2: Water-harvesting earthworks*. Rainsource Press.
- Getter, K., & Rowe, D. (2006). The role of extensiveness, substrate and depth in vegetated roof performance. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2273-2282. Obtenido de <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0109>
- Ghimire, S., & Kansakar, S. (2020). One-dimensional unsteady flow simulation for irrigation and drainage canals: A review. *Agricultural Water Management*, 231, 105987.
- Gobernación de Norte de Santander. (2019). *Plan de desarrollo Norte de Santander 2020-2023: "Unidos por la vida"*. Cúcuta: Gobernación de Norte de Santander. Obtenido de <https://www.nortedesantander.gov.co/Portals/0/PLAN%20DE%20DESARROLLO%202020-2023%20-%20NORTE%20DE%20SANTANDER.pdf?ver=2021-08-02-143704-890>
- Gómez, J. (2016). Geología de la Cordillera Oriental de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(157), 330-347. Obtenido de <https://doi.org/10.18257/raccefyn.318>
- GOMEZ, S., CHACÓN, J., CARREÑO, M., & TORRADO, E. (1999). *CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN LOS PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD*

FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. CUCUTA: UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER.

Google maps. (2023). *Universidad Francisco de Paula Santander*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Francisco+de+Paula+Santander/@7.8995826,-72.4890046,15z/data=!4m6!3m5!1s0x8e6645102f9b7269:0xab4b03ed6c85830e!8m2!3d7.8981152!4d-72.4887029!16zL20vMGd4MjFq?hl=es>

Gutiérrez, S., Gutiérrez, J., & Rodríguez, L. (2015). Evaluación económica del aprovechamiento de aguas lluvias en la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(1), 33-46.

Hatt, B., Deletic, A., & Fletcher, T. (2007). The importance of sediment and nutrient removal in urban stormwater management. *Ecological Engineering*, 29(4), 293-298.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.a ed.)*. McGraw-Hill Education.

IDEAM. (2012). *AERÓDROMO CAMILO DAZA SKCC - CUCUTA*. CUCUTA.

IDEAM. (2018). *Guía para la gestión de aguas lluvias en zonas urbanas*. Obtenido de https://www.ideam.gov.co/documents/710966/913648/guia_gestion_aguas_lluvias_zonas_urbanas.pdf/cf8dbb02-d9e9-4d60-8f8a-ff09ca04b173

IDEAM. (2021). *Atlas climatológico de Colombia*. IDEAM. Obtenido de <https://www.ideam.gov.co/atlas-climatologico/>

- IDEAM. (2022). *Informe Nacional de Cambio Climático 2021*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.: <https://www.ideam.gov.co/documents/10184/5632333/INFORME+NACIONAL+D+E+CAMBIO+CLIM%C3%81TICO+2021.pdf/cefe6fc7-bc22-0a8a-794d-56d0f3564ab4>
- Kumar, A., Dhinwa, P., Sharma, A., & Singh, R. (2018). Evaluation of flood inundation using bidimensional hydraulic model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 23(9), 04018033.
- Kumar, P., Ahmad, S., & Meena, R. (2021). Rainwater Harvesting: A Sustainable Approach for Water Management. *In Green Technology Applications for Environmental Management*, 169-187.
- Kundzewicz, Z., Kanae, S., Seneviratne, S., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., & Huang, J. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological sciences journal*, 59(1), 1-28.
- Li, Z., Gao, J., Wu, L., Cheng, X., & Gao, Y. (2019). Planning and design of sponge cities: A review. *Science of The Total Environment*, 662, 901-914.
- Liu, Y., Sun, Z., Li, J., & Li, Y. (2016). Effects of green roofs on building energy performance and mitigation of urban heat island: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1009-1019.

López, L. (2020). *Propuesta para la implementación de un sistema de recolección y almacenamiento de agua lluvia en la Universidad Francisco de Paula Santander*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.

Maidment, D. (2002). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill.

Mannina, G., Viviani, G., & Cosenza, A. (2013). Flood risk management strategies in urban areas: the case study of Palermo, Italy. *Water Resources Management*, 27(6), 1879-1894.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía para el diseño de infraestructuras hidráulicas para el manejo de aguas lluvias en áreas urbanas y centros poblados*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Guia_Dise%C3%B1o_Infraestructuras_Hidraulicas_Manejo_Aguas_Lluvias.pdf

Montero, I., & León, O. (2017). A guide for naming research studies in Psychology. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 17(2), 231-238. doi:10.1016/j.ijchp.2017.03.002

Nguyen, T., Thai, P., & Kan, C. (2016). Sustainable rainwater harvesting system at the University Town in National University of Singapore. *Journal of environmental management*, 169, 108-115.

Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®) (6ta ed.)*. Project Management Institute.

- Quiroz, J. (2015). Red de estaciones meteorológicas automáticas para el monitoreo de variables climáticas. En *En La meteorología y los recursos hídricos en América Latina* (págs. 85-95). Springer.
- Rodríguez, H. E., Cifuentes, L. C., & Rodríguez, M. V. (2016). Evaluación de la resistencia del terreno mediante estudios de mecánica de suelos y topografía. *Revista Científica de Ingeniería Civil*, 13(1), 10-18.
- Santos, M., & Oliveira, T. (2017). Rainwater management in urban areas: A review. . *Water Resources and Industry*, 39-54.
- Scheuer, S., Haase, D., & Volk, M. (2014). *Can green infrastructure help to mitigate urban heat stress? In Ecosystem Services for Well-Being in Densely Populated Landscapes*. Cham: Springer.
- Smith, C., & Wang, L. (1999). Unsteady flow modeling in storm sewers using a full dynamic wave approach. *Journal of hydraulic engineering*, 125(2), 115-124.
- Taff, G., Roy-Poirier, A., & Vogel, R. (2018). Low impact development for stormwater management in the United States: A state-of-the-art review. *Journal of Environmental Management*, 211, 358-373.
- Talei, A., Van der Sterren, M., & Van der Bolt, F. (2017). Hydrological simulation model for sustainable urban planning: A case study in Delft, the Netherlands. *Water*, 9(4), 245.
- UCLA Sustainable LA Grand Challenge. (2020). *Campus sustainability: Stormwater management*. Los Ángeles: Universidad de California, Los Ángeles.

- UFPS. (2023). *UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER*. Obtenido de Información institucional: <https://ww2.ufps.edu.co/>
- UNE. (2016). *Norma Técnica Colombiana NTC 1500: Manejo de aguas lluvias*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Obtenido de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.: <https://www.icontec.org/documentos-normativos/manejo-de-aguas-lluvias/>
- Universidad Francisco de Paula Santander. (2022). *Estadísticas institucionales*. Cúcuta: UFPS. Obtenido de <https://www.ufps.edu.co/portal/page/portal/PortalUfps/institucional/estadisticas>
- Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Esteve, P., & Bharati, L. (2016). Water harvesting from rainwater in Spain: An analysis of economic feasibility and potential impacts at basin level. *Journal of Environmental Management*, *166*, 618-628.
- Vargas, C., Morera, S., & Sánchez-Murillo, R. (2010). Determinación de la escorrentía directa en cuencas hidrográficas utilizando un enfoque de balance de agua en el suelo. *Revista Tecnología en Marcha*, *23*(2), 63-75.
- Wang, W., Li, Y., Li, H., Li, W., Li, Z., & Li, X. (2016). Simulation of hydrological processes and sediment transport in the Yellow River Basin using the SWAT model. *Environmental Earth Sciences*, *75*(9), 1-14. doi:10.1007/s12665-016-5481-1
- Wanielista, M., Kersten, R., & Eaglin, R. (2012). *Hydrology water quantity and quality control (Vol. 2)*. John Wiley & Sons.

Wong, T., Fletcher, T., & Duncan, H. (2016). *Design of sustainable urban drainage systems*.
John Wiley & Sons.