

Práctica empresarial como auxiliar de apoyo en el proyecto la estrella de la empresa Alianza

Consultora & Ingeniería SAS

Diana Lizeth Cabrera Martínez

Trabajo de grado para optar al título de ingeniería civil

Director

Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

Doctor en Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica

Universidad Industrial de Santander

Facultad DE Ingenierías Físico - Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en este proceso académico y profesional.

En primer lugar, a Dios, cuya misericordia y guía han sido constantes en mi vida. Su amor y protección me han dado fuerzas para enfrentar cada desafío y perseverar en mi camino.

A mi abuela Martha, cuyo amor incondicional y sabiduría han dejado una huella imborrable en mi corazón. Aunque ya no esté físicamente conmigo, su legado de fortaleza y bondad continúa guiándome en cada paso que doy.

A mis queridos padres, Mauricio Cabrera y Sara Martínez, quienes han sido mi sostén y mi mayor fuente de amor y apoyo a lo largo de toda mi vida. A mi abuelo Elías, quien con su apoyo incondicional y respaldo económico ha hecho posible mi camino académico y profesional.

A mi director, el profesor Vladimir Merchán, agradezco su invaluable orientación, apoyo y paciencia durante esta etapa de mi formación. Su guía experta y disposición para resolver mis dudas han sido un regalo invaluable.

También quiero expresar mi profundo agradecimiento a la empresa que me brindó la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales. A los jefes y compañeros de trabajo que compartieron conmigo su conocimiento, experiencia y amabilidad, les estoy eternamente agradecido. Sus enseñanzas y apoyo han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional, y siempre llevaré conmigo los valiosos aprendizajes y recuerdos compartidos.

Finalmente, agradezco a la Universidad Industrial de Santander por proporcionarme los conocimientos y habilidades necesarios para alcanzar mis objetivos durante mis prácticas. Su excelente educación y dedicación me prepararon para enfrentar los desafíos del mundo laboral.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. Marco Teórico.....	13
3.1. Descripción de la empresa	13
3.1.1. Misión	13
3.1.2. Visión	13
4. Descripción del área de estudio	14
4.1. Unidades de geología para ingenieros (UGI).....	15
4.2. Elementos geomorfológicos.....	16
4.3. Cobertura de tierras.....	17
5. Actividades realizadas durante la practica	18
5.1. Exploración geotécnica	18
5.1.1. Ensayos de laboratorio.....	20
5.1.1.1. Contenido de humedad	20
5.1.1.2. Granulometría	20
5.1.1.3. Límites de Atterberg	20
5.1.1.4. Resultados obtenidos	21
5.1.2.2. Análisis deformacional mediante software de elementos finitos: Plaxis 2d.....	22
5.2. Amenaza por inundación	23

5.2.1. Metodología para la zonificación de amenaza por inundación.....	24
5.2.2. Hidrología y climatología	25
5.2.2.1. Unidad hidrográfica	25
5.2.2.2. Precipitación	26
5.2.2.3. Estaciones IDEAM	31
5.2.2.4. Isoyetas	33
5.2.2.5. Curvas de intensidad, duración y frecuencia – curvas IDF	34
5.2.2.6. Análisis morfológico de la unidad hidrográfica.....	38
5.2.2.6.1. Curva hipsométrica	38
5.2.2.7. Análisis de caudales.....	39
5.2.2.7.1. Periodos de retorno	39
5.2.2.7.2. Coeficiente de escorrentía.....	41
5.2.2.7.3. Tiempo de concentración.....	42
5.2.2.7.4. Estimación de caudal de diseño por método racional para obras de drenaje.....	44
5.2.3. Análisis hidráulico	46
5.2.3.1. Modelo hidráulico software IBER.....	47
5.2.3.1.1. Generación de malla	47
5.2.3.1.2. Coeficiente de Manning.....	49
5.2.3.1.3. Condiciones de contorno.....	49
5.2.3.2. Resultados hidráulicos de cota de inundación de los drenajes	50
5.2.3.3. Resultados hidráulicos de velocidad de flujo de los drenajes de quebrada Los Cacaos..	51
5.2.4. Zonificación de la menaza por inundación	52
5.2.4.1. Niveles de frecuencia de amenaza por inundación	52

5.2.4.2. Categorización e intensidad de la inundación.....	52
5.2.4.3. Plano de amenaza por inundación.....	54
5.3. Obra hidráulica para mitigar la amenaza por inundación	56
6. Conclusiones	59
Referencias Bibliográficas	60

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Resultados obtenidos en los ensayos de laboratorios</i>	21
Tabla 8 <i>Estaciones analizadas para datos de precipitación</i>	27
Tabla 9 <i>Estaciones analizadas para el análisis de Isoyetas</i>	32
Tabla 10 <i>parámetros de ajuste de la regresión</i>	35
Tabla 11 <i>Precipitación máxima promedio anual en 24 horas</i>	35
Tabla 12 <i>Tabla de intensidades – tiempo de duración</i>	36
Tabla 13 <i>Datos curva hipsométrica de la unidad hidrográfica asociada a los cursos intermitentes.</i>	38
Tabla 14 <i>Periodos de retorno Resolución 0330 de 2017</i>	40
Tabla 15 <i>Periodos de retorno</i>	40
Tabla 16 <i>Valores del coeficiente de escorrentía según el relieve, vegetación y textura del suelo.</i>	41
Tabla 17 <i>Tiempo de concentración en la Unidad Hidrográfica Q. Los Cacaos.</i>	44
Tabla 18 <i>Valores para cálculo del caudal de diseño para el predio finca La Estrella.</i>	45
Tabla 19 <i>Coeficiente de Manning</i>	49
Tabla 20 <i>Caracterización de la amenaza por inundación a partir de la frecuencia del evento amenazante.</i>	52
Tabla 21 <i>Categorías generales de intensidad en inundaciones para cada tiempo de retorno</i>	53
Tabla 22 <i>Categorización de la amenaza por inundación.</i>	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2 <i>Localización del predio</i>	14
Figura 3 <i>Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) del área de estudio</i>	15
Figura 4 <i>Elementos geomorfológicos</i>	16
Figura 5 <i>Cobertura de tierras</i>	17
Figura 6 <i>Localización de sondeos</i>	19
Figura 7 <i>Resultados de modelamiento según la modelación en software Plaxis 2D</i>	23
Figura 8 <i>Metodología para la zonificación de amenaza por inundación</i>	24
Figura 9 <i>Unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos</i>	26
Figura 10 <i>Localización de la estación Laguna La</i>	27
Figura 11 <i>Precipitación promedio anual</i>	28
Figura 12 <i>Precipitación mensual promedio</i>	29
Figura 13 <i>Precipitación promedio máxima en 24 horas</i>	30
Figura 14 <i>Precipitación total acumulada</i>	31
Figura 15 <i>Localización de las estaciones</i>	32
Figura 16 <i>Precipitación anual de las estaciones analizadas</i>	33
Figura 17 <i>Mapa de isoyetas</i>	34
Figura 18 <i>Curvas IDF</i>	37
Figura 19 <i>Curva hipsométrica de la unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos</i>	39
Figura 20 <i>Hidrograma unitario por método racional para el predio finca La Estrella</i>	45
Figura 21 <i>Plano topográfico del predio la Estrella</i>	46

Figura 22 <i>Mallas</i>	48
Figura 23 <i>Resultados hidráulicos de cota de inundación</i>	50
Figura 24 <i>Resultados hidráulicos de velocidad</i>	51
Figura 25 <i>Estimación de rango y valor para diferentes zonas de inundación.</i>	53
Figura 26 <i>Plano de amenaza de inundación en el predio de la finca La Estrella.</i>	55
Figura 27 <i>Parámetros de diseño para la cuneta disipadora de energía tipo escalonada.</i>	56
Figura 28 <i>Detalle geométrico de la cuneta disipadora en geomembrana con recubrimiento de concreto.</i>	58

Resumen

Título: Práctica empresarial como auxiliar de apoyo en el proyecto la estrella de la empresa Alianza Consultora & Ingeniería SAS.

Autor: Diana Lizeth Cabrera Martínez

Palabras Clave: Geotecnia, Estudio de suelos, Estudio hidrológico, Análisis hidráulico, Inundación.

Descripción: Este documento se enfoca en la práctica empresarial llevada a cabo en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería SAS (ALICONSAS). donde se participó en el proyecto denominado "La Estrella". Este proyecto tiene como objetivo principal llevar a cabo un Estudio Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo (A.V.R.) en un terreno destinado para la construcción de cabañas.

Durante este proceso, se brindó apoyo en la ejecución de ensayos de laboratorio, así como en la realización del estudio hidrológico, el análisis hidráulico y la generación del plano de amenaza por inundación. Además, se colaboró activamente en el diseño hidráulico y en la elaboración del informe correspondiente.

Esta práctica no solo proporciono una valiosa experiencia práctica en el campo de la ingeniería civil, sino que también permitieron comprender la importancia de la gestión de riesgos en proyectos de construcción.

*Trabajo de Ingeniería

** Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

Abstract

Title: Business internship as a support assistant in La Estrella project of the company Alianza Consultora & Ingeniería SAS.

Author(s): Diana Lizeth Cabrera Martínez

Key Words: Geotechnics, Soil study, Hydrological study, Hydraulic analysis, Flood

Description: This document focuses on the business practices carried out in the company Alianza Consultora & Ingeniería SAS (ALICONSAS). Where they participated in the project called "La Estrella". The main objective of this project is to carry out a Threat, Vulnerability and Risk (A.V.R.) Study on land intended for the construction of cabins.

During this process, support was provided in the execution of laboratory tests, as well as in carrying out the hydrological study, hydraulic analysis and generation of the flood threat plan. In addition, there will be active collaboration in the hydraulic design and in the preparation of the corresponding report.

These internships not only provided valuable practical experience in the field of civil engineering, but also provided an understanding of the importance of risk management in construction projects.

*Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

Introducción

El estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR) es un componente fundamental en la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil, especialmente aquellos que involucran la construcción de infraestructuras en entornos vulnerables. En este contexto, el proyecto La Estrella, en el municipio de Betulia, Santander, representa un caso que ilustra la importancia de este enfoque multidisciplinario.

El objetivo principal de este proyecto fue llevar a cabo un estudio de AVR para proporcionar una base técnica sólida que permitiera la viabilidad y seguridad de la construcción de cabañas para uso turístico. En este proceso, se participó como practicante en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería SAS (ALICONSAS), contribuyendo activamente en la evaluación de amenaza por inundación y estudios de suelo asociados al terreno.

La relevancia de este estudio radica en su capacidad para identificar y mitigar potenciales amenazas naturales y antropogénicas, así como en su capacidad para proporcionar recomendaciones específicas para la planificación y diseño de la infraestructura. Este enfoque preventivo no solo garantiza la seguridad de los futuros ocupantes de las cabañas, sino que también protege los recursos naturales y minimiza el impacto ambiental en la zona.

En este documento, se comparten las experiencias y aprendizajes obtenidos durante la participación en el proyecto La Estrella, destacando la importancia de la evaluación de riesgos en el campo de la ingeniería civil. A través del análisis detallado de metodologías, resultados y conclusiones, se pretende ofrecer una visión integral de los desafíos y oportunidades que enfrentan los profesionales en este campo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar actividades de apoyo como auxiliar de ingeniería en el proyecto La Estrella desarrollado por la empresa ALICON & ING S.A.S.

2.2 Objetivos Específicos

- Apoyar la ejecución, análisis e interpretación de ensayos geotécnicos de laboratorio.
- Apoyar el desarrollo del estudio hidrológico en sus diferentes fases para la zona de estudio del proyecto.
- Apoyar en las actividades de diseño geotécnico e hidráulico para asegurar las condiciones de estabilidad del proyecto.

3. Marco Teórico

3.1. Descripción de la empresa

Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S, brinda servicios profesionales en las diferentes áreas de la consultoría ambiental, minera, geológica, geotécnica y en procesos de ordenamiento territorial, y está comprometida con la satisfacción de sus clientes a través del cumplimiento de sus requisitos, ofreciéndoles servicios ágiles, confiables, oportunos y de calidad, sustentados en la utilización eficiente y productiva de cada recurso de la empresa, el equipo técnico de trabajo con que cuenta la organización están en constante crecimiento profesional, ético e innovador, y de esta forma mejorar continuamente los procesos y garantizar la calidad de los servicios prestados.

3.1.1. Misión

ALICON & ING. S.A.S, es una empresa que presta servicios profesionales en las diferentes áreas de la consultoría ambiental, minera, geológica, geotécnica, Gestión del riesgo & en Gestión Territorial, en los sectores de la minería, Construcción y diseño de obras civiles, proporcionando a nuestros clientes tanto a nivel privado como público, soluciones y alternativas en cada uno de nuestros servicios propuestos, asegurándonos de que sus proyectos sean exitosos desde la perspectiva económica y ambiental.

Generando satisfacción y confianza para obtener relaciones comerciales de largo plazo con nuestros clientes, mediante un servicio rápido, eficaz y de soluciones óptimas que rebasen sus perspectivas, con profesionalismo, experiencia y constante desarrollo de nuestro personal.

3.1.2. Visión

ALICON & ING. S.A.S, es una empresa que proyecta consolidarse para el 2025 como una empresa líder en servicios de competitividad a nivel nacional en la consultoría ambiental, minera, geológica, geotécnica, gestión de riesgos, Gestión Territorial, construcción y diseño de obras

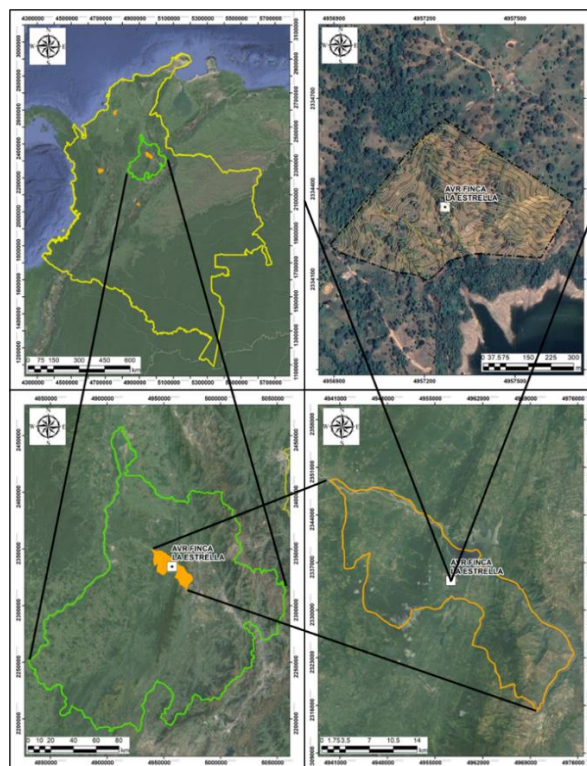
civiles, destacándonos por proporcionar soluciones económicas y sostenibles; a nuestros clientes además del cumplimiento de la normatividad y la confiabilidad y solidez de un equipo técnico interdisciplinario.

4. Descripción del área de estudio

El proyecto tiene por objetivo evaluar la viabilidad de construir cabañas en el terreno conocido como La Estrella, situado en el área rural del municipio de Betulia, Santander. Este predio se ubica en las coordenadas planas X: 4.957.269,07 & Y: 2.334.339,90 (ver Figura 2), con una extensión de 23.67Ha, un perímetro de 20.33 Ha y una longitud axial de 81.49 Ha.

Figura 1

Localización del predio



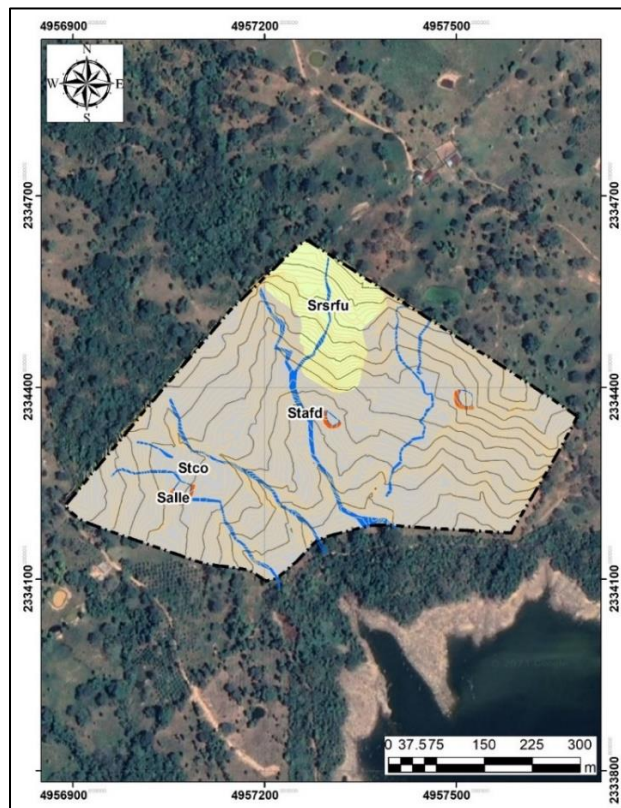
Nota. En la figura se observa la localización del predio denominado La Estrella, indicando el país, departamento, municipio y, por último, la zona específica. Tomado de ALICONSAS 2023.

4.1. Unidades de geología para ingenieros (UGI)

En el área de estudio se han definido cuatro unidades de geología para ingeniería (ver Figura 3), cada una caracterizada por diferentes tipos de suelos y depósitos. Esto incluye un suelo antrópico de llenos de escombros (Salle), un suelo aluvial de flujo de detritos (Stafd), un suelo coluvial limo arcilloso de la Formación Lisama (Stco), y un suelo residual saprolito a roca de la Formación Umir (Srsrfu).

Figura 2

Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) del área de estudio.



ORIGEN	TIPO	NOMBRE	CÓDIGO
Depósitos antrópicos	Llenos de excavación	Suelo antrópico de llenos de escombros	Salle
Depósitos aluviales	Cauce intermitente	Suelo transportado aluvial de flujo de detritos	Stafd
Depósitos de ladera - gravedad	Coluvial	Suelo transportado coluvial limo arcilloso de la Formación Lisama	Stco
Derivados de roca in situ	Suelo residual saprolito a roca	Suelo residual saprolito a roca de la Formación Umir	Srsrfu

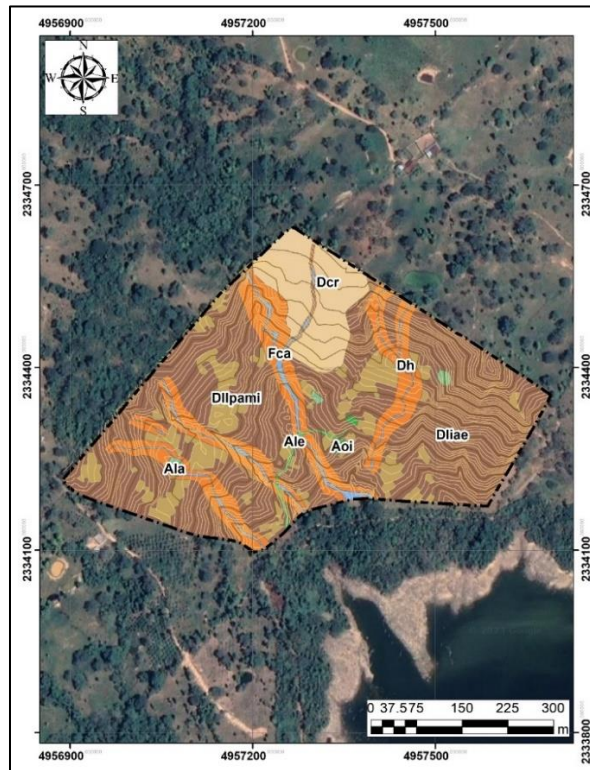
Nota. La figura presenta una clasificación de las UGI en el área de estudio, identificando su origen, tipo, nombre y código correspondiente. Cada unidad se encuentra representada por un código único para facilitar su identificación y análisis. Tomado de ALICONSAS 2023.

4.2. Elementos geomorfológicos

La clasificación de los elementos geomorfológicos del área de estudio se basa en su origen (ambiente morfogenético), nombre y acrónimo (ver Figura 4).

Figura 3

Elementos geomorfológicos



Origen	Tipo	Unidad	Acrónimo
Antropogénico	Intervención antrópica	Laderas explanadas	Ale
		Obras de ingeniería	Aoi
		Lago artificial	Ala
Denudacional	Lóbulos coluviales clasificados según la inclinación de la pendiente	Laderas ligeramente planas a moderadamente inclinadas	Dllpami
		Laderas inclinadas a empinadas	Dliae
	Conforme al tipo de relieve	Loma residual	Dcr
Fluvial	Depresiones en el terreno	Hondonadas	Dh
		Cauce de quebrada	Cauce actual intermitente y estacionario

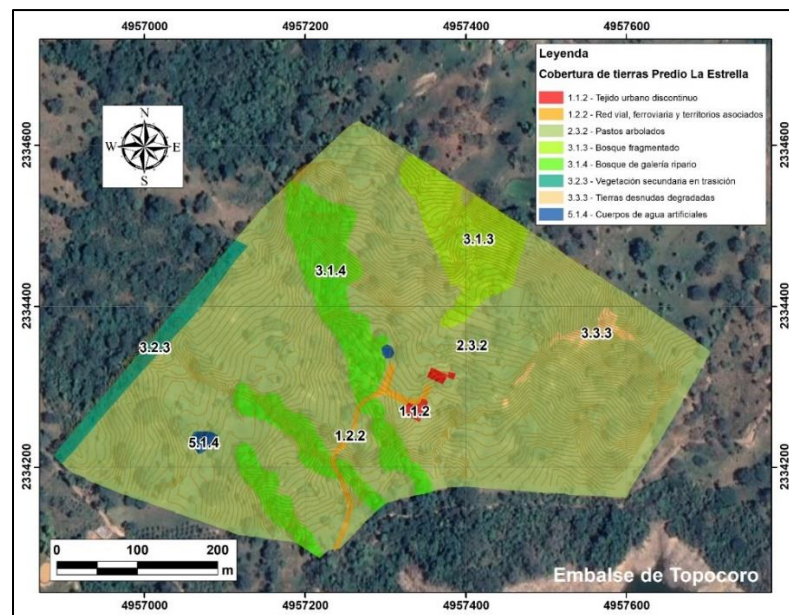
Nota. La figura proporciona una descripción detallada de los elementos geomorfológicos del área de estudio, organizados según su origen, tipo, unidad y acrónimo correspondiente. Tomado de ALICONSAS 2023.

4.3. Cobertura de tierras

Se identificaron ocho unidades de cobertura de tierras en el área de estudio mediante el análisis de imágenes satelitales Sentinel AIRBUS de 2018 y su posterior validación en el terreno. (ver Figura 5).

Figura 4

Cobertura de tierras



TIPO	NOMEN	COBERTURA	ÁREA (HA)	%
Territorios artificializados	1.1.2	Tejido urbano discontinuo	0,08	0,34
	1.2.2	Red vial, ferroviaria y territorios asociados	0,20	0,82
Territorios agrícolas	2.3.2	Pastos arbolados	20,53	83
	3.1.4	Bosque de galería y ripario	2,90	12,00
	3.2.3	Vegetación secundaria en transición	0,63	2,60
	3.3.3	Tierras desnudas degradadas	0,16	0,67
Cuerpos de agua	5.1.4	Cuerpos de agua artificiales	0,09	0,35
Total, cartografiado			24,6	100

Nota. La tabla proporciona una descripción de las diferentes unidades de cobertura de tierras presentes en el área de estudio. Incluye categorías como territorios artificializados, territorios agrícolas y cuerpos de agua, cada una con su respectiva denominación, área en hectáreas y porcentaje del área total cartografiada. Tomado de ALICONSAS 2023.

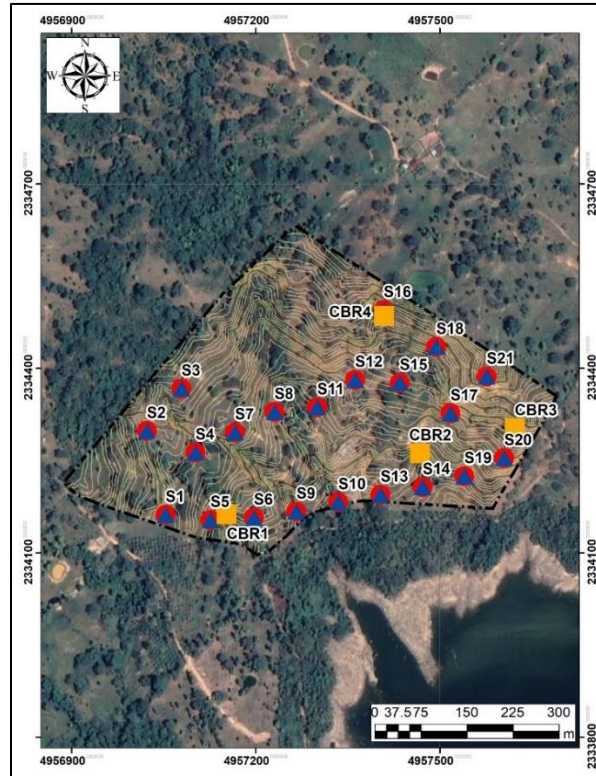
5. Actividades realizadas durante la practica

Durante las prácticas realizadas se apoyó en ensayos de laboratorio para caracterizar el tipo de suelo existente en el predio, y en la zonificación de amenaza por inundación para determinar las áreas que se encuentran en amenaza alta y media y deberán tener obras de mitigación y recomendaciones. También se apoyó en el diseño geotécnico e hidráulico necesario para que se puedan realizar las cabañas sin ningún riesgo futuro.

5.1. Exploración geotécnica

La exploración geotécnica desempeña un papel esencial en la ingeniería civil al involucrar la recolección de datos del suelo y las rocas a través de ensayos realizados tanto en el campo como en laboratorio. Estos datos son usados para el diseño y la construcción de obras civiles, ya que proporcionan información crucial sobre el comportamiento del suelo en diferentes condiciones.

Para el proyecto "La Estrella", se llevaron a cabo ensayos de campo en diferentes puntos estratégicos, como se puede observar en la figura 6. Estos ensayos permitieron recopilar datos sobre las características geotécnicas del terreno en el área de intervención, lo que contribuye a una comprensión más completa del comportamiento del suelo y a una planificación más precisa de las obras civiles a realizar.

Figura 5*Localización de sondeos*

Nota. La figura muestra la ubicación de los ensayos de campo realizados en la zona de estudio. Los círculos rojos indican los puntos de extracción de muestras inalteradas para ensayos de laboratorio, los triángulos azules señalan los sitios donde se llevaron a cabo ensayos SPT a profundidades entre 1 a 4,5 metros, y los cuadrados amarillos representan los lugares de los ensayos de penetrómetro dinámico de cono con extracción de muestra en bloque para el ensayo de CBR. Tomado de ALICONSAS 2023.

5.1.1. Ensayos de laboratorio

5.1.1.1. Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad de las muestras de suelo, se siguieron los procedimientos establecidos por la Norma INV E-122-13 del Invias. Este ensayo es fundamental para comprender las propiedades hidrológicas del suelo en el área de estudio.

Los resultados obtenidos revelan variaciones significativas en el contenido de humedad entre los diferentes sondeos. Por ejemplo, en el sondeo S1M1 se observa un contenido de humedad del 12.22%, mientras que en el sondeo S9M2 este valor asciende a un 27.44%. Estas disparidades reflejan la heterogeneidad del suelo en el área de estudio y tienen implicaciones importantes en su comportamiento hidrológico.

5.1.1.2. Granulometría

El ensayo de granulometría se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma INV E-123-13 del Invias. Este ensayo es crucial para comprender la distribución de tamaños de partículas en las muestras de suelo y su influencia en propiedades como la permeabilidad y la estabilidad.

Los resultados promediados de los 21 sondeos geotécnicos muestran una predominancia de partículas finas en las muestras analizadas. Con un promedio del 61% para limos arenosos con grava (ML), seguido por un 20% para arcilla mal gradada arenosa con grava (CL) y un 15% para limos arcillosos (CL-ML).

5.1.1.3. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, incluyendo el Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y el Índice de Plasticidad (IP), se determinaron siguiendo las directrices de las normas INV E-125-13

y INV E-126-13 del Invias. Estos límites son indicadores clave de la plasticidad y la consistencia del suelo.

Este ensayo se realiza para determinar la consistencia de las partículas finas que componen los suelos en el área de estudio. Los valores obtenidos, como el límite líquido promedio del 33%, el límite plástico promedio del 24% y el índice de plasticidad promedio del 9%, sugieren una plasticidad baja a mediana en estas partículas finas. Esto implica que los suelos no son deformables ante los cambios de humedad.

5.1.1.4. Resultados obtenidos

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos previamente mencionados.

Tabla 1

Resultados obtenidos en los ensayos de laboratorios

SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LÍMITES DE ATTERBERG			GRADACIÓN			PESO ESPECÍFICO KN/m ³
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %	
S1M1	0.00 - 1.00	ML	12.22	18.82	17.71	1.11	24.20	18.04	57.76	27.27
S1M2	1.00 - 2.00	ML	14.32	16.86	14.12	2.75	11.00	14.60	74.40	26.38
S1M3	2.00 - 3.00	CL	14.93	25.97	18.83	7.14	7.28	19.48	73.24	25.96
S2M1	0.00 - 2.00	CL-ML	11.35	23.56	17.60	5.95	1.44	19.04	79.52	28.15
S2M2	2.00 - 3.00	CL	12.11	24.84	17.46	7.37	0.84	19.44	79.72	22.96
S3M1	0.00 - 1.00	CL-ML	10.98	23.29	16.85	6.44	2.64	19.32	78.04	-
S3M2	1.00 - 3.00	CL	12.13	27.52	19.12	8.40	4.80	19.16	76.04	23.18
S4M1	0.00 - 1.00	CL	12.91	28.67	19.35	9.33	1.40	21.90	76.70	21.23
S4M2	1.00 - 3.00	CL	12.80	29.66	21.92	7.74	2.76	19.76	77.48	23.17
S5M1	0.00 - 1.00	ML	11.53	20.29	17.22	3.08	29.84	11.44	58.72	25.41
S5M2	1.00 - 3.00	CL-ML	15.56	24.72	19.76	4.96	5.76	18.32	75.92	25.05
S6M1	0.00 - 2.00	CL-ML	12.37	24.10	17.51	6.59	8.32	15.92	75.76	30.02
S6M2	2.00 - 3.00	CL-ML	13.19	24.62	19.13	5.50	13.80	12.32	73.88	17.95
S7M1	0.00 - 2.00	CL-ML	13.35	24.57	20.59	3.98	0.84	24.32	74.84	-
S7M2	2.00 - 3.00	CL-ML	12.93	24.56	18.79	5.77	0.88	19.44	79.68	22.91
S8M1	0.00 - 2.00	CL-ML	11.77	23.11	18.37	4.74	6.32	17.00	76.68	24.40
S8M2	2.00 - 3.00	ML	12.67	24.15	21.35	2.80	6.88	13.36	79.76	24.10
S9M1	0.00 - 1.00	CL	21.20	32.32	22.69	9.63	4.04	18.64	77.32	22.98
S9M2	1.00 - 3.00	ML	27.44	47.00	32.80	14.21	1.28	7.56	91.16	23.71
S9M3	3.00 - 4.50	ML	27.60	45.10	32.58	12.53	0.56	11.68	87.76	25.42
S10M1	0.00 - 1.00	CL	19.38	29.68	21.94	7.73	11.52	19.80	68.68	23.53
S10M2	1.00 - 3.00	ML	28.96	49.28	34.20	15.08	0.44	7.76	91.80	22.32
S10M3	3.00 - 4.00	ML	27.39	38.86	31.49	7.37	1.72	9.28	89.00	27.82
S11M1	0.00 - 1.00	ML	14.74	22.64	19.37	3.27	2.64	7.52	89.84	28.38
S11M2	1.00 - 2.00	ML	14.71	24.02	20.94	3.08	0.96	6.60	92.44	21.95

SONDEO	PROF (m)	USCS	WN	LÍMITES DE ATTERBERG			GRADACIÓN			PESO ESPECÍFICO
			%	LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %	KN/m ³
S11M3	2.00 - 3.00	ML	12.66	22.91	19.47	3.44	2.68	6.56	90.76	26.20
S12M1	0.00 - 1.00	ML	14.28	39.09	31.51	7.58	1.32	4.16	94.52	24.99
S12M2	1.00 - 3.00	ML	13.21	45.33	31.23	14.09	5.24	5.56	89.20	25.59
S12M3	3.00 - 3.50	ML	13.45	31.28	17.02	14.26	1.28	3.64	95.08	23.94
S13M1	0.00 - 1.00	SM	15.69	37.92	28.70	9.22	29.12	29.64	41.24	25.17
S13M2	1.00 - 2.00	CL	16.39	34.06	22.00	12.06	23.00	10.08	66.92	27.86
S13M3	2.00 - 4.50	ML	16.20	46.07	36.55	9.52	23.52	6.64	69.84	26.16
S14M1	0.00 - 1.00	ML	23.93	39.67	26.35	13.31	5.96	19.84	74.20	25.64
S14M2	1.00 - 3.00	ML	23.07	32.12	23.79	8.34	14.12	19.08	66.80	27.08
S14M3	3.00 - 4.00	ML	23.14	38.71	27.68	11.03	2.16	14.80	83.04	26.48
S15M1	0.00 - 1.00	SP-SM	13.69	37.71	27.63	10.07	42.60	49.72	7.68	25.34
S15M2	1.00 - 2.00	ML	34.08	38.40	30.02	8.38	18.20	13.20	68.60	27.79
S15M3	2.00 - 3.00	ML	17.55	42.36	27.98	14.38	7.64	8.44	83.92	26.21
S16M1	0.00 - 2.00	CL	14.58	32.14	22.27	9.87	10.12	15.20	74.68	30.83
S16M2	2.00 - 3.00	CL	17.88	29.21	20.21	9.01	18.04	14.76	67.20	29.02
S17M1	0.00 - 2.00	ML	17.03	40.83	30.02	10.81	5.92	10.36	83.72	26.69
S17M2	2.00 - 3.00	ML	16.49	38.07	32.16	5.91	6.44	7.64	85.92	25.62
S17M3	3.00 - 4.50	ML	18.56	39.44	30.53	8.91	0.64	9.52	89.84	28.67
S18M1	0.00 - 2.00	CL	16.55	30.55	22.13	8.42	5.56	16.96	77.48	25.55
S18M2	2.00 - 4.00	ML	17.16	41.62	26.34	15.29	8.68	6.08	85.24	32.10
S19M1	0.00 - 2.00	ML	19.09	43.44	31.71	11.73	14.20	12.96	72.84	25.76
S19M2	2.00 - 4.00	ML	23.74	40.79	31.76	9.03	3.56	6.04	90.40	25.41
S19M3	4.00 - 4.50	ML	19.31	30.04	23.98	6.06	14.44	6.44	79.12	30.30
S20M1	0.00 - 1.00	ML	18.32	30.56	23.03	7.53	12.36	7.76	79.88	-
S20M2	1.00 - 3.00	ML	23.59	48.12	31.09	17.03	3.48	8.28	88.24	26.15
S20M3	3.00 - 4.50	ML	22.36	43.71	31.61	12.09	12.04	4.52	83.44	27.90
S21M1	0.00 - 1.00	ML	14.44	32.78	24.17	8.61	6.76	18.64	74.60	-
S21M2	1.00 - 3.00	ML	14.02	34.24	25.33	8.91	15.96	15.32	68.72	26.32
S21M3	3.00 - 4.00	ML	29.21	36.06	26.10	9.96	22.24	19.08	58.68	-
Valores Máximos			34.08	49.28	36.55	17.03	42.60	49.72	95.08	32.10
Valores Promedios			17.37	32.88	24.33	8.54	9.06	14.12	76.81	25.78
Valores Mínimos			10.98	16.86	14.12	1.11	0.44	3.64	7.68	17.95

Nota. La tabla presenta los resultados de 54 muestras de suelo recolectadas a diversas profundidades. Cada muestra está clasificada según el sistema USCS y se caracteriza por su contenido de agua, límites de Atterberg y distribución granulométrica. Estos datos ofrecen una visión detallada de las propiedades de cada muestra, incluyendo su plasticidad, composición granulométrica y otras características relevantes para el análisis geotécnico.

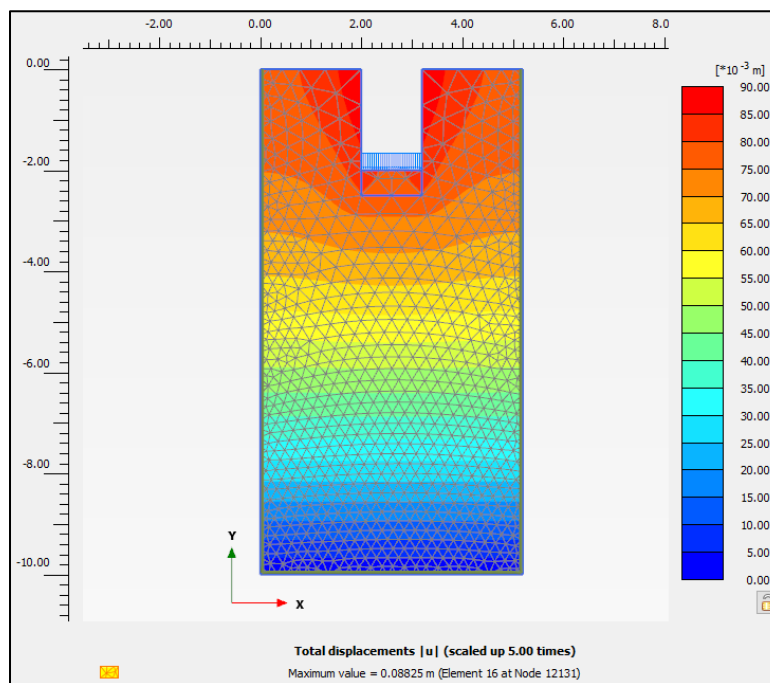
5.1.2.2. Análisis deformacional mediante software de elementos finitos: Plaxis 2d

El modelado de las cimentaciones se llevó a cabo utilizando el software Plaxis 2D. Se asumió una carga puntual de 80 kN/m² para cada zapata cuadrada, con dimensiones de 1.20 m x

1.20 m de lado, situadas a una profundidad de dos metros. Esta aproximación se adoptó debido a la falta de diseños específicos de las estructuras (cabañas) del proyecto. Esta metodología permitió analizar el comportamiento del suelo ante las cargas esperadas y prever posibles desplazamientos verticales.

Figura 6

Resultados de modelamiento según la modelación en software Plaxis 2D.



Nota. La figura presenta el asentamiento máximo anticipado, el cual se estima en 8.83 cm. Estos valores se encuentran dentro de los límites aceptables establecidos en el título H (H.4.9.2) de la NSR-10. Tomado de ALICONSAS 2023.

5.2. Amenaza por inundación

La amenaza por inundación representa uno de los riesgos naturales más significativos en diversas regiones del mundo, con el potencial de causar daños materiales, pérdidas humanas y

afectaciones al medio ambiente. En este contexto, la elaboración de planos de inundación se erige como una herramienta fundamental para comprender y mitigar este riesgo.

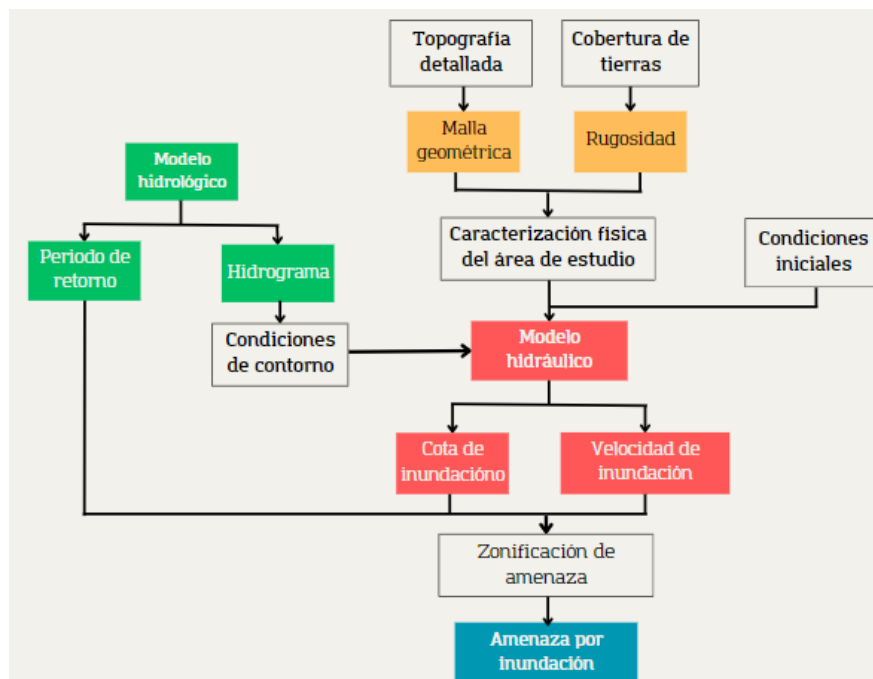
En esta sección, se detalla el trabajo realizado durante la práctica relacionada con la elaboración del plano de Amenaza por inundación. Se presentará la metodología seguida, los pasos llevados a cabo, así como los resultados y análisis obtenidos.

5.2.1. Metodología para la zonificación de amenaza por inundación

El plano de amenaza por inundación se genera a partir de la topografía, la cobertura del suelo y la hidrología. Estos elementos se utilizan como entradas en el modelo hidráulico para calcular la cota y velocidad de inundación, como se muestra en la figura 9.

Figura 7

Metodología para la zonificación de amenaza por inundación



Nota. En la figura se observa la metodología para realizar el plano de amenaza por inundación.

Tomado de ALICONSAS 2023.

5.2.2. Hidrología y climatología

El estudio hidrológico es necesario en el diseño de proyectos relacionados con el manejo de aguas superficiales, abordando la distribución, movimiento y comportamiento del agua en un área específica. Para el proyecto de construcción de cabañas en La Estrella, se lleva a cabo este estudio para evaluar y prever los efectos de las precipitaciones y el escurrimiento superficial.

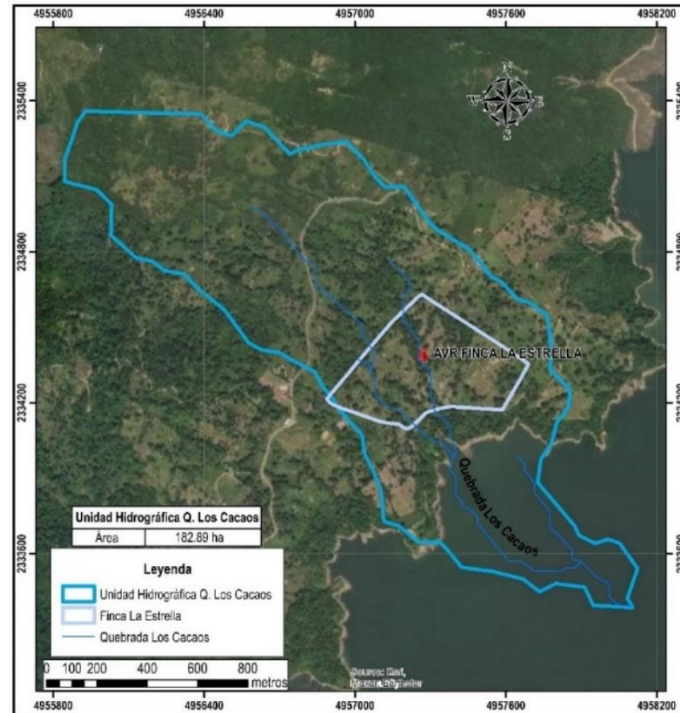
Las normativas empleadas para el análisis hidrológico de este estudio siguen los parámetros establecidos por el IDEAM, el Manual de Drenajes para Carreteras del INVIAS, El Título D – Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias de la RAS, y la resolución 0330 de 2017.

5.2.2.1. Unidad hidrográfica

El predio La Estrella se encuentra dentro de la unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos, que abarca 1.828 kilómetros cuadrados. La longitud axial de esta unidad es de aproximadamente 2.9311 kilómetros, con un perímetro de alrededor de 0.28 kilómetros y un ancho máximo de 0.62 kilómetros. Además, la unidad tiene un orden de drenaje de dos y su cauce principal tiene una longitud de 2.516 kilómetros, con una pendiente media de alrededor del 19.20%.

Figura 8

Unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos



Nota. En la figura se aprecia la delimitación de la unidad hidrográfica correspondiente a la quebrada Los Cacaos, así como la ubicación del predio La Estrella y la propia quebrada Los Cacaos.

5.2.2.2. Precipitación

Los datos de precipitación, que representan la cantidad de lluvia registrada en un área específica durante un intervalo de tiempo determinado, se analizan para comprender el comportamiento climático de una región. Estos datos son recopilados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), una institución encargada de monitorear y analizar las condiciones meteorológicas en Colombia.

Durante esta actividad, se llevó a cabo el análisis de datos meteorológicos, para lo cual se optó por la estación Laguna La (ver Tabla 8), localizada en Lebrija. Esta elección se basó en su

afinidad con las condiciones topográficas del área de estudio, dado que la altitud de la estación (150 msnm) guarda similitud con la altitud del terreno de investigación, estimada en aproximadamente 190 msnm. Además, la estación de Laguna La ofrece un registro histórico de datos de precipitación que abarca más de 52 años consecutivos, lo que brindó una base de datos sólida y confiable para el análisis.

Tabla 2

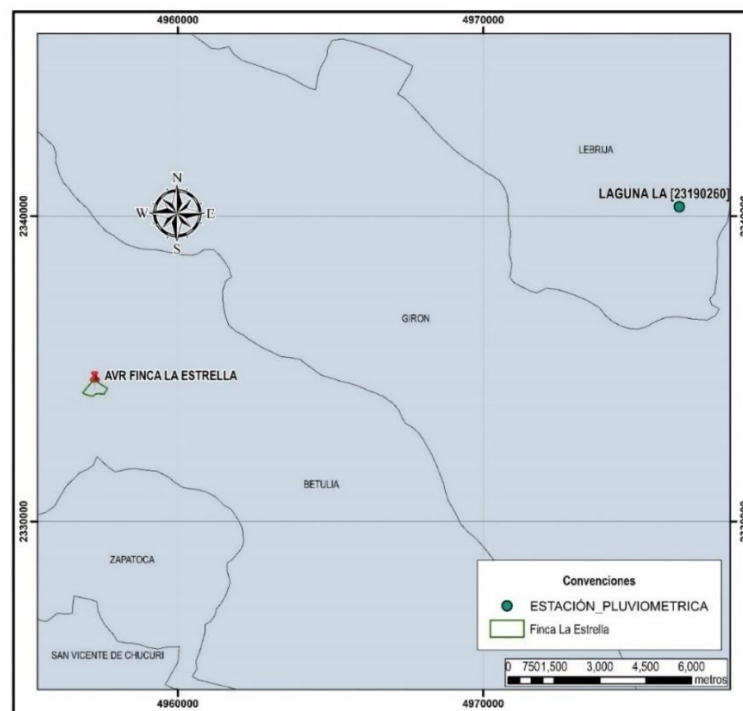
Estaciones analizadas para datos de precipitación

CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORÍA	FECHA_INST	ALTITUD	X	Y
23190260	Laguna La	PM	15/05/1967	150	497.641.984.667	234.030.369.475

Nota: La tabla proporciona información relevante sobre la estación "Laguna La", de la cual se recolectaron los datos utilizados en el análisis hidrológico. Modificada de (IDEAM, 2023).

Figura 9

Localización de la estación Laguna La



Nota. La figura ilustra la ubicación de la estación Laguna La con respecto al predio La Estrella, proporcionando una clara referencia visual de su proximidad relativa.

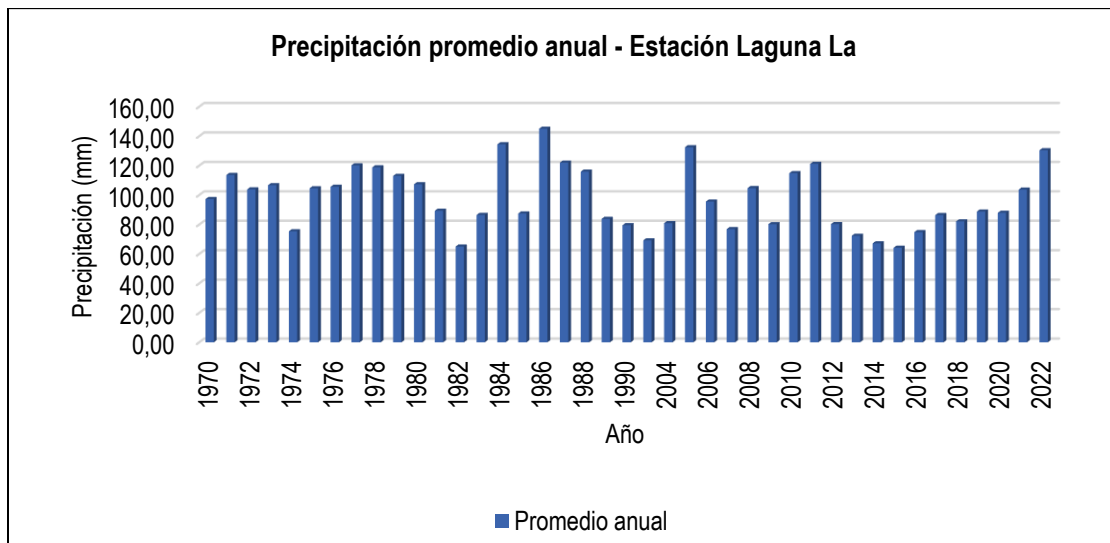
- **Precipitación total anual**

La precipitación total anual es la suma de la precipitación total diaria en un año y hace referencia a la lámina de agua de precipitación acumulada durante el transcurso de un año, medida en milímetros por metro cuadrado.

La precipitación total anual en la estación analizada tiene un comportamiento variado, ya que existen diferentes picos y valles de precipitación, siendo el año 1986 el de mayor precipitación (145.00 mm) y el 2015 el de menor precipitación (64.18 mm). En promedio la precipitación al año del área de influencia de la estación Laguna La es de 1084.73 mm

Figura 10

Precipitación promedio anual



Nota. La gráfica presenta el comportamiento de la precipitación promedio durante el periodo de los años 1970 a 2022.

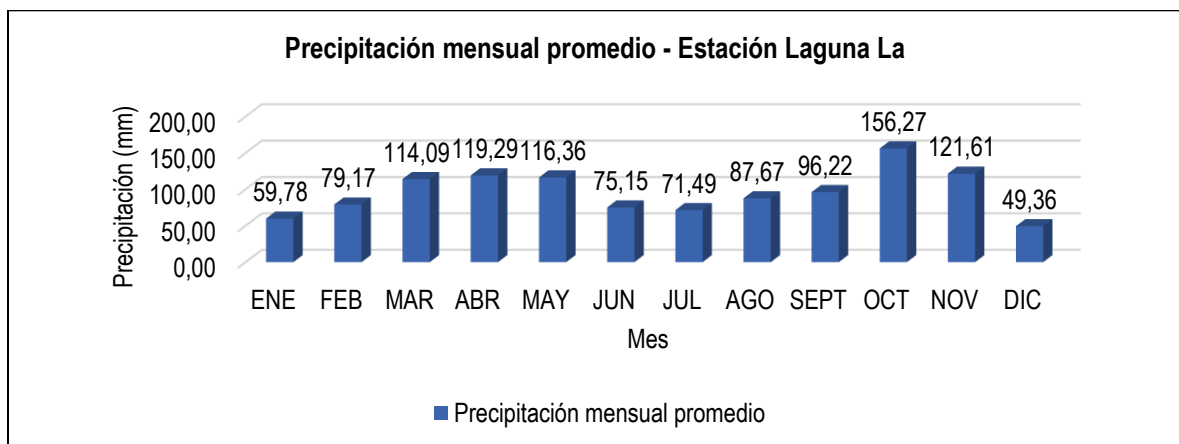
- **Precipitación media mensual**

La precipitación media mensual equivale a la doceava parte de la precipitación total anual y hace referencia a un valor promedio de precipitación total en el mes. En el cálculo de la precipitación media mensual se asume la hipótesis que todos los meses llueve la misma cantidad de agua.

La distribución de la precipitación media mensual en el área sigue un patrón bimodal, lo que significa que hay dos períodos principales de lluvia. El primer período comienza en marzo, alcanza su punto máximo en abril con 119.26 mm, y luego disminuye gradualmente hasta julio. El segundo período comienza en septiembre, con un aumento en la precipitación que culmina en octubre con 156.27 mm. Después de octubre, la precipitación disminuye nuevamente hasta diciembre. Los meses con mayor precipitación son abril y octubre, con 119.26 mm y 156.27 mm respectivamente.

Figura 11

Precipitación mensual promedio



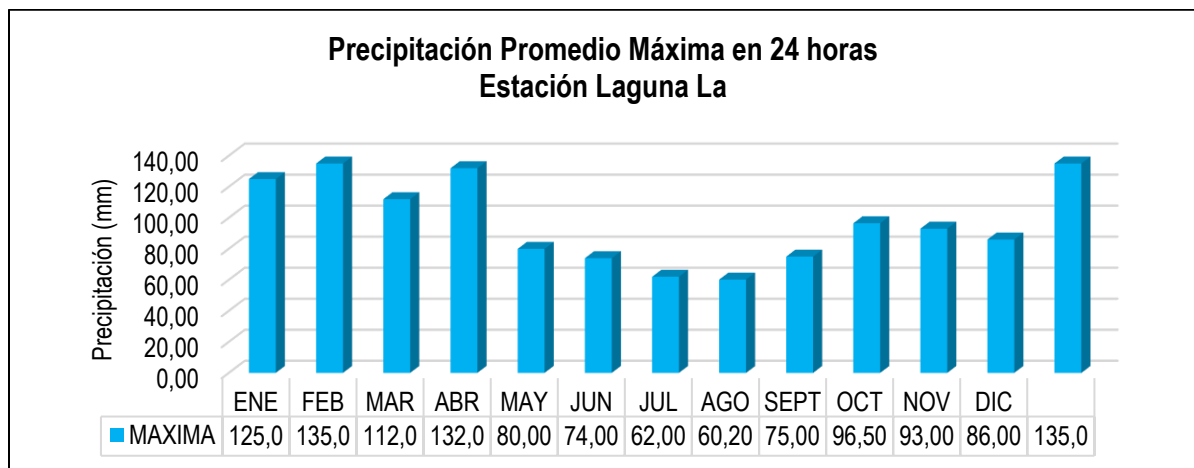
Nota: La grafica expresa el comportamiento de la precipitación promedio a lo largo de los meses.

- **Precipitación máxima en 24 horas**

Los datos de precipitaciones máximas en 24 horas son de gran utilidad para generar las curvas de intensidad, duración y frecuencia, utilizando el método de Díaz Granados y Rodrigo Vargas, que proporciona los datos más precisos para el análisis de registros reportados del IDEAM. Además, se considera importante el concepto de la precipitación máxima en 24 horas a nivel mensual y anual. A continuación, se presenta el histograma de precipitación máxima diaria.

Figura 12

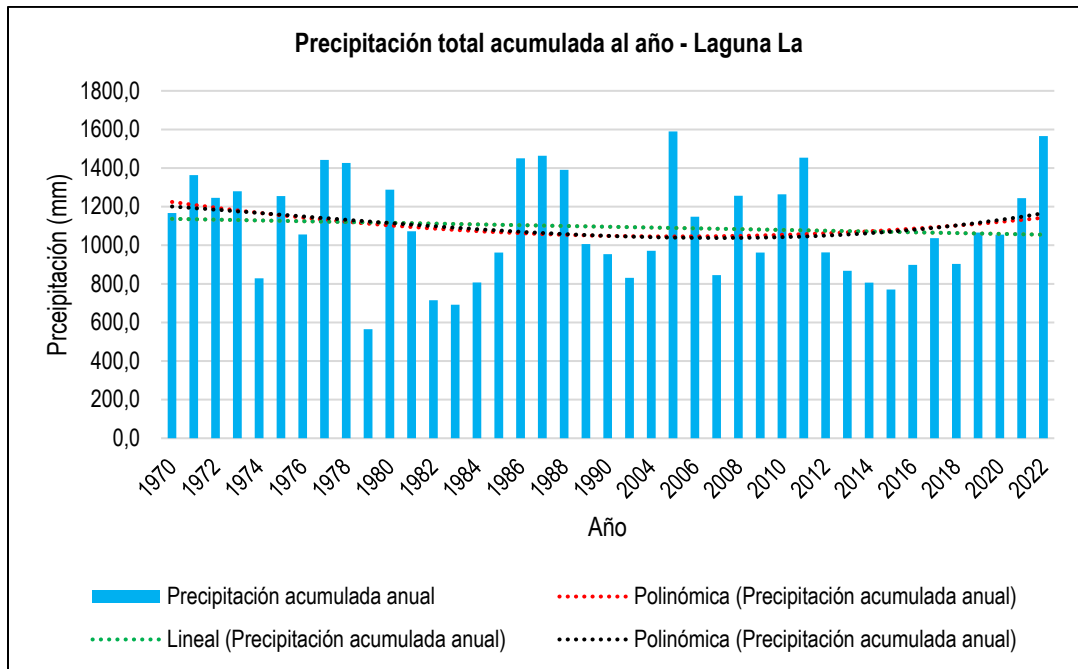
Precipitación promedio máxima en 24 horas



Nota: La grafica ilustra el comportamiento de la precipitación promedio máxima en 24 horas de cada mes.

- **Variación de precipitación total acumulada anual**

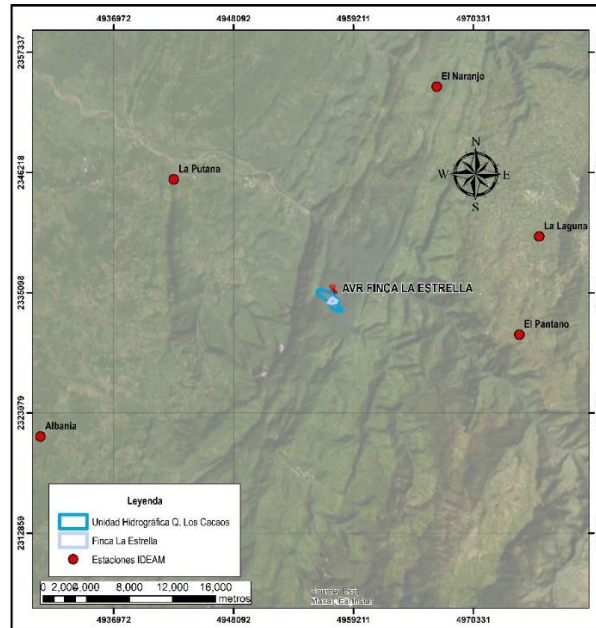
En la estación meteorológica Laguna La, en el municipio de Lebrija, se han identificado períodos de lluvia entre 1970-1978, 1986-1988, 2005-2011 y 2019-2022. El máximo registro de precipitación se observó en el año 2005, alcanzando los 1590 mm. Por otro lado, se han registrado periodos de sequía en los años 1979, 1982 y 1983, siendo el año 1979 el de menor precipitación con 565 mm.

Figura 13*Precipitación total acumulada*

Nota. En la gráfica se observa el comportamiento de la precipitación total acumulada por año, en el periodo de 1970 a 2022.

5.2.2.3. Estaciones IDEAM

Se realizó un análisis de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio para elaborar las isoyetas. Este análisis se centró en calcular la precipitación promedio anual máxima utilizando datos recopilados durante un periodo de más de 15 años. Las estaciones cercanas se encuentran en los municipios de San Vicente de Chucurí, Lebrija y Girón. (ver Figura 16).

Figura 14*Localización de las estaciones*

Nota: En la figura se observan las localizaciones de las estaciones cercanas al área de estudio.

Tabla 3*Estaciones analizadas para el análisis de Isoyetas*

Estación IDEAM	Código	Municipio	Intervalo (años)	Precipitación máxima promedio anual (mm)
Laguna	23190260	Lebrija	1970-2022	1084.73
Pantano	23190600	Girón	1970-2022	959.05
Putana	24050070	San Vicente de Chucurí	1974-2022	3018.87
Naranjo	23190440	Lebrija	1972-2022	1977.30
Albania	24050110	San Vicente de Chucurí	1974-2022	2369.86

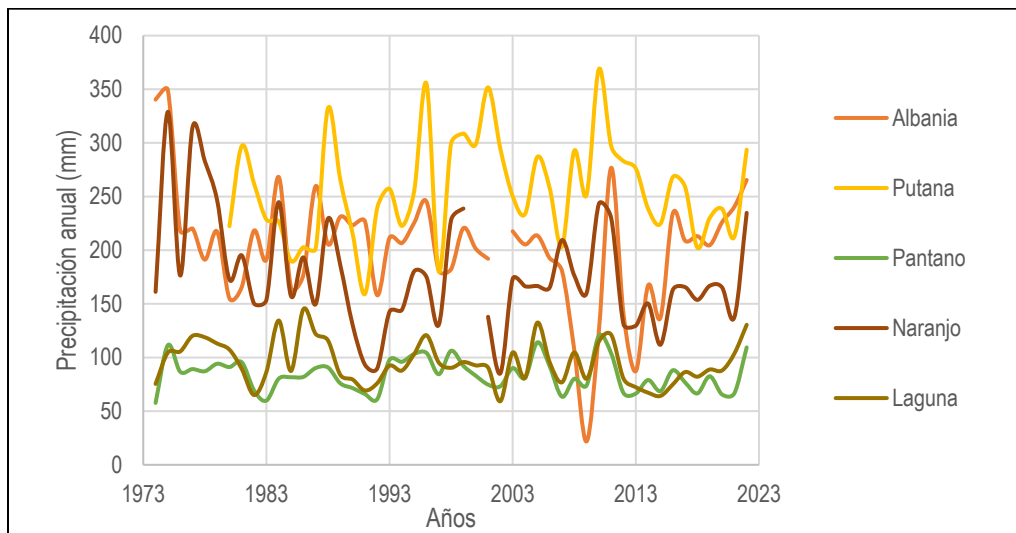
Nota. La tabla presenta información relevante sobre las estaciones cercanas al área de estudio.

Al analizar los datos de precipitación anual de las diferentes estaciones a lo largo de los años, se pueden observar ciertos patrones particulares. Por ejemplo, se observa una variabilidad significativa en los niveles de precipitación tanto entre las estaciones como a lo largo del tiempo.

En algunos años, como 2002 y 2000, se observa una ausencia de datos para las estaciones Albania y Naranjo respectivamente. Esto podría deberse a diversas razones, como posibles fallas técnicas en la estación o interrupciones en la recolección de datos en esas fechas.

Figura 15

Precipitación anual de las estaciones analizadas



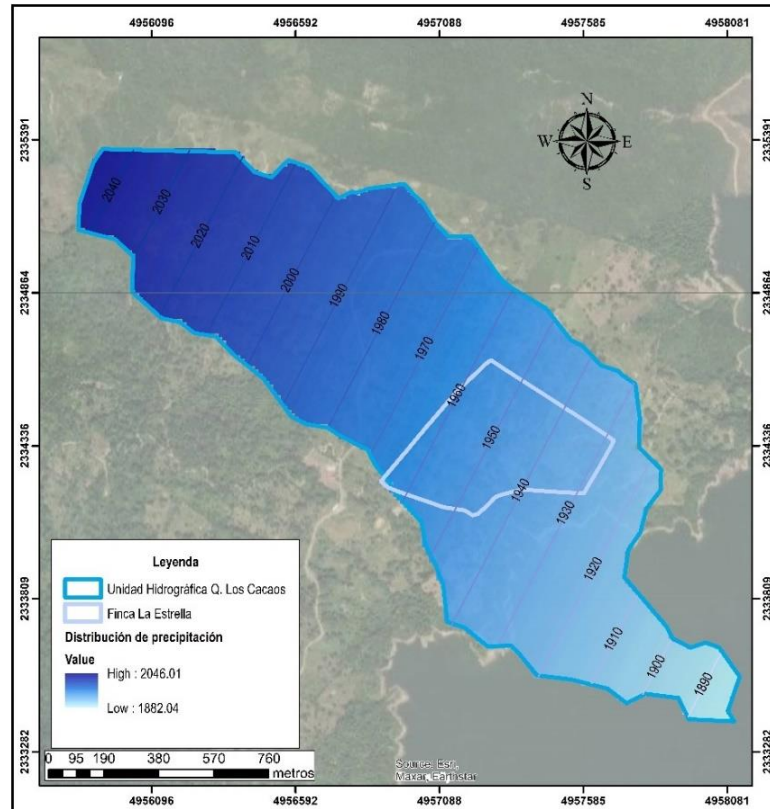
Nota: En el grafico se observa el comportamiento de la precipitación anual de cada estación analizada, en el periodo de 1973 a 2023.

5.2.2.4. Isoyetas

Las isoyetas son líneas que representan puntos de igual precipitación dentro de un área geográfica específica. Para trazar estas líneas en la unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos, se emplearon los datos obtenidos de las estaciones Albania, Putana, Pantano, Naranjo y Laguna. Las isoyetas resultantes muestran una variación en la precipitación anual máxima, que oscila entre 1882 y 2046 milímetros. Se observa una tendencia hacia mayores precipitaciones en las zonas elevadas del área estudiada, especialmente hacia la parte noroeste del predio, (ver Figura 18).

Figura 16

Mapa de isoyetas



Nota: En el mapa se observa la representación gráfica de las curvas de igual precipitación de la unidad hidrográfica, las cuales oscilan entre 1882 y 2046 milímetros.

5.2.2.5. Curvas de intensidad, duración y frecuencia – curvas IDF

Para elaborar las curvas IDF, se empleó el método simplificado mencionado en el manual de drenajes para carreteras del INVIAS. Este método se fundamenta en los datos de precipitación máxima promedio en 24 horas y en los coeficientes regionalizados correspondientes a las cuatro regiones de Colombia.

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c} \quad (1)$$

Donde:

I = Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T = Periodo de retorno, en años.

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual, (mm)

t = Duración de la lluvia en minutos (min)

a, b, c, d = Parámetros de ajuste de la regresión.

El área de estudio se encuentra localizada en la Región Andina, por tal motivo los valores de los coeficientes empleados para el cálculo de las curvas IDF son los siguientes:

Tabla 4

parámetros de ajuste de la regresión

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83

Nota: La tabla proporciona los parámetros de ajuste de la regresión para la región Andina.

Así mismo, los datos históricos de precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual de la estación pluviométrica Laguna La, localizada en el municipio de Lebrija en Santander, registra a través de un análisis de datos una precipitación de 76.988 mm.

Tabla 5

Precipitación máxima promedio anual en 24 horas

AÑO	Max	AÑO	Max
1970	50	1997	80
1971	74	1998	120
1972	57	1999	48
1973	79	2000	46
1974	60	2001	93
1975	86	2002	59
1976	82	2003	68
1977	100	2004	77

AÑO	Max	AÑO	Max
1978	110	2005	117
1979	132	2006	70.6
1980	125	2007	62.4
1981	90	2008	76.6
1982	67	2009	67.6
1983	65	2010	60
1984	50	2011	92.6
1985	135	2012	62.2
1986	50	2013	92.3
1987	112	2014	56.3
1988	100	2015	43.5
1989	95	2016	71.9
1990	65	2017	49.4
1991	49	2018	96.5
1992	57	2019	85.2
1993	91	2020	75
1994	50	2021	56.8
1995	73	2022	72.5
1996	77	Promedio	76.9886

Nota. La tabla presenta los datos de precipitación promedio anual en 24 horas para el periodo de 1970 a 2022, así como su promedio.

Las curvas IDF contemplan periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años y un periodo lluvia de 3 horas (180min) analizada. La siguiente figura presenta las curvas IDF.

Tabla 6

Tabla de intensidades – tiempo de duración

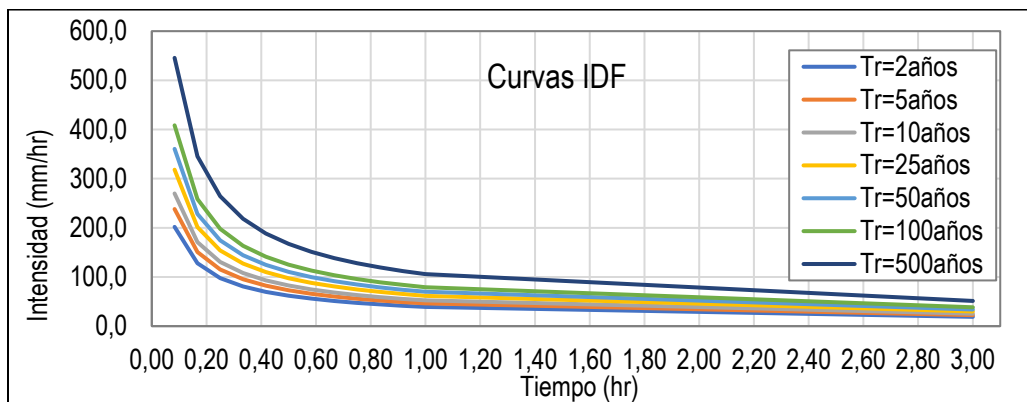
Tabla de intensidades - Tiempo													
Período de retorno	Frecuencia [minutos]												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	180
Años	Frecuencia [horas]												
	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	3.0
2	202.0	127.8	97.8	80.9	69.8	61.9	55.9	51.2	47.4	44.2	41.5	39.2	19.0

5	238. 2	150. 7	115. 4	95.4	82.3	73.0	65.9	60.4	55.9	52.1	48.9	46.2	22. 4
10	269. 8	170. 8	130. 7	108. 1	93.3	82.7	74.7	68.4	63.3	59.0	55.4	52.3	25. 3
25	318. 2	201. 4	154. 1	127. 5	110. 0	97.5	88.1	80.7	74.6	69.6	65.4	61.7	29. 9
50	360. 5	228. 2	174. 6	144. 4	124. 6	110. 5	99.8	91.4	84.6	78.9	74.1	69.9	33. 9
100	408. 4	258. 5	197. 8	163. 6	141. 2	125. 2	113. 1	103. 5	95.8	89.4	83.9	79.2	38. 4
500	545. 7	345. 3	264. 3	218. 6	188. 6	167. 2	151. 1	138. 3	128. 0	119. 4	112. 1	105. 8	51. 3

Nota. Proporciona información sobre las intensidades de precipitación y su respectivo tiempo de duración para diferentes períodos de retorno. Los períodos de retorno van desde 2 años hasta 500 años, con frecuencias expresadas en horas. Para cada período de retorno, se muestran las intensidades de precipitación en minutos, desde 5 minutos hasta 180 minutos.

Figura 17

Curvas IDF



Nota. La gráfica muestra la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y la frecuencia de ocurrencia de un evento de lluvia. En el eje vertical se representa la intensidad de la precipitación en milímetros por hora, en función de diferentes duraciones de la tormenta, mientras que en el eje horizontal se muestra la duración de la tormenta en horas.

5.2.2.6. Análisis morfológico de la unidad hidrográfica

5.2.2.6.1. Curva hipsométrica

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca (Strhaler, 1952). Se construye con valores de área en el eje X y altitudes en el eje Y. Su forma típica es sigmoidea, indicando variaciones en la topografía, (ver Figura 20 y Tabla 13).

Tabla 7

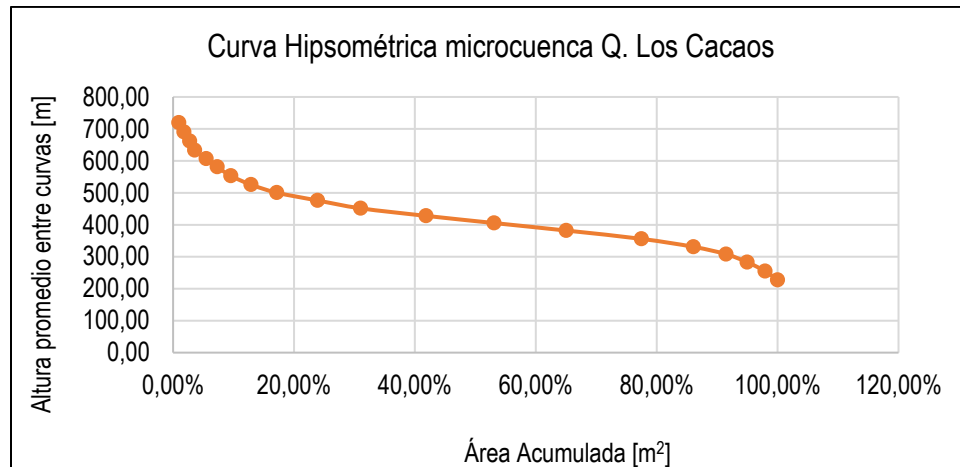
Datos curva hipsométrica de la unidad hidrográfica asociada a los cursos intermitentes.

No	COTAS			Cursos Intermitentes			
	Min	Max	Promedio	Área entre curvas (m2)	Acumulado	% acumulado	% Intervalo
1	215.00	240.00	227.50	37812.50	1832187.50	100.00%	2.06%
2	241.00	269.00	255.00	54218.75	1794375.00	97.94%	2.96%
3	270.00	296.00	283.00	63906.25	1740156.25	94.98%	3.49%
4	297.00	319.00	308.00	98906.25	1676250.00	91.49%	5.40%
5	320.00	342.00	331.00	157812.50	1577343.75	86.09%	8.61%
6	343.00	369.00	356.00	227656.25	1419531.25	77.48%	12.43%
7	370.00	394.00	382.00	219062.50	1191875.00	65.05%	11.96%
8	395.00	416.00	405.50	206093.75	972812.50	53.10%	11.25%
9	417.00	439.00	428.00	197968.75	766718.75	41.85%	10.81%
10	440.00	463.00	451.50	130625.00	568750.00	31.04%	7.13%
11	464.00	488.00	476.00	123593.75	438125.00	23.91%	6.75%
12	489.00	512.00	500.50	78281.25	314531.25	17.17%	4.27%
13	513.00	538.00	525.50	61093.75	236250.00	12.89%	3.33%
14	539.00	567.00	553.00	41250.00	175156.25	9.56%	2.25%
15	568.00	594.00	581.00	33437.50	133906.25	7.31%	1.83%
16	595.00	619.00	607.00	34687.50	100468.75	5.48%	1.89%
17	620.00	647.00	633.50	15156.25	65781.25	3.59%	0.83%
18	648.00	676.00	662.00	17500.00	50625.00	2.76%	0.96%
19	677.00	704.00	690.50	15312.50	33125.00	1.81%	0.84%
20	705.00	734.00	719.50	17812.50	17812.50	0.97%	0.97%

Nota. La tabla muestra la distribución de cursos intermitentes, donde se detallan las cotas mínimas, máximas y promedio de cada curso, así como el área entre las curvas correspondientes en metros cuadrados. Además, se proporciona información sobre el área acumulada, el porcentaje acumulado y el porcentaje del intervalo para cada curso.

Figura 18

Curva hipsométrica de la unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos.



Nota. En la gráfica se puede observar el comportamiento de las curvas hipsométricas en relación de su altura promedio entre curvas y el área acumulada.

A medida que una cuenca presenta un mayor porcentaje de área en altitudes elevadas, es posible afirmar que esta cuenca tiene un potencial erosivo (siguiendo una curva de ríos jóvenes). Por otro lado, cuando su porcentaje de área se concentra a menor altitud, predominan los procesos de sedimentación (siguiendo una curva de ríos viejos). Según esta característica, la curva hipsométrica del área de la unidad se asemeja a la curva de ríos maduros, en un proceso primario donde su potencial erosivo o su capacidad de sedimentación se encuentran regulados para alcanzar un equilibrio.

5.2.2.7. Análisis de caudales

5.2.2.7.1. Periodos de retorno

La metodología para calcular la intensidad de precipitación considera el periodo de retorno, que indica la probabilidad de que ocurra una tormenta específica dentro de un período de años determinado. El periodo de retorno que se analizó para las obras hidráulicas en los taludes fue de

50 años, dado que las obras corresponden a cunetas y el área de drenaje es inferior a 1000 hectáreas, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 138 de la resolución 0330 de 2017 que surge como actualización de la RAS. Además, se emplea un periodo de retorno de 5 años para la obtención de caudales de diseño, según el manual de drenajes del INVIAS.

Tabla 8

Periodos de retorno Resolución 0330 de 2017

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Nota: La tabla proporciona los valores de periodo de retorno correspondientes a las características del área de drenaje, tomado de (RAS, 2017).

Tabla 9

Periodos de retorno

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Nota: La tabla presenta los valores del periodo de retorno según el tipo de obra. Para el proyecto La Estrella, se seleccionó el periodo correspondiente a las cunetas, el cual es de 5 años, tomado de (Manual de drenaje para carreteras – INVIAS).

5.2.2.7.2. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional, que indica la relación entre el volumen de la escorrentía superficial (V_E) y el volumen de la precipitación total (V_P). Para la estimación de su valor se emplearon los valores del coeficiente de escorrentía del manual de drenajes para carreteras, teniendo en cuenta la textura del suelo reportada del estudio de suelos y el relieve del área de análisis. En el caso de estudio, el suelo identificado pertenece a la categoría de suelo franco limo-arcilloso con una cobertura predominante de pastos o vegetación baja en un terreno ondulado. A partir de dichas características se adopta un coeficiente de escorrentía de 0.36.

Tabla 10

Valores del coeficiente de escorrentía según el relieve, vegetación y textura del suelo.

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
<small>Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.</small>			

Nota. La tabla ofrece los valores del coeficiente de escorrentía para diferentes tipos de terreno. Para el proyecto La Estrella, se seleccionó pastos ondulados con un valor de 0.36, tomado de (Manual de Drenajes para Carreteras – INVIAS).

5.2.2.7.3. *Tiempo de concentración*

Cuando se utiliza la metodología del Hidrograma Unitario del *Soil Conservation Service*, se debe considerar que el caudal máximo generado por una intensidad específica de lluvia de diseño, sobre un área de drenaje determinada, es producido por dicha lluvia, el cual se prolonga durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración del flujo, en el punto bajo consideración. Técnicamente, se define este último como el tiempo de concentración, T_c , este representa el periodo requerido para que la escorrentía superficial alcance al punto más bajo de interés desde la zona más distante del área de drenaje. Para el tiempo de concentración, T_c , se analizarán las siguientes fórmulas:

✓ **Scs-Ranser**

$$T_c = 0.94K^{0.385} \quad (2)$$

$$\text{Siendo } K = \frac{L_c^3}{H} \quad (3)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (pies)

L_c = Longitud del cauce principal (Km)

✓ **California Culvert Practice (1942):**

$$T_c = \left(0.87 \frac{L_c^3}{H}\right) \quad (4)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (m)

L_c = Longitud del cauce principal (Km)

✓ **Kirpich (1942)**

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385} \quad (5)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (Km)

S = Pendiente de la cuenca en m/m

✓ **Témez (1978)**

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L_c}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (6)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

Lc = Longitud del cauce principal (Km)

So = Pendiente promedio del cauce principal (%)

✓ **Giandotti**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_c}{25.3\sqrt{L_c S_o}} \quad (7)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

Lc = Longitud del cauce principal (Km)

So = Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

A = Área de la cuenca (km²)

✓ **V.T Chow**

$$T_c = 0.87779 \left(\frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{CM_c - Cm_c}} \right)^{0.64} \quad (8)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

Lc = Longitud del cauce principal (Km)

CMc = Cota mayor del cauce principal (m.s.n.m)

Cmc = Cota menor del cauce principal (m.s.n.m)

✓ **Clark**

$$T_c = 0.335 \frac{A}{S^{0.5}} \quad (9)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

A = Área de la cuenca (Km²)

S = Pendiente de la cuenca (m/m)

Tabla 11

Tiempo de concentración en la Unidad Hidrográfica Q. Los Cacaos.

	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN							
	SCS-Ranser	Kirpich (1942)	Témez (1978)	Giandotti	V.T Chow	Clark	TC (hr)	Tc (min)
Cursos Intermitentes	0.246	0.056	0.295	0.346	0.288	0.072	0.217	13.037

Nota. La tabla presenta los resultados del tiempo de concentración obtenidos mediante los diversos métodos previamente explicados.

5.2.2.7.4. Estimación de caudal de diseño por método racional para obras de drenaje

La estimación del caudal de diseño para las obras hidráulicas se realiza mediante el método racional, que obedece al tamaño del área de drenaje de la unidad hidrográfica (1.828 Km²). El método racional parte de la suposición de que el caudal Q toma un valor de caudal máximo (pico) QP , cuando, debido a una cierta intensidad de lluvia sobre el área de drenaje, la precipitación presenta una duración igual al periodo de concentración, así mismo el método racional supone que la precipitación es igual en toda el área de drenaje. El referido método está expresado por la siguiente ecuación:

- Determinación de caudal máximo de descarga

$$Q = 0.278 * C * i * A \quad (10)$$

En la cual:

Q: Caudal máximo de descarga de escorrentía superficial, m³/s

C: Coeficiente de escorrentía, valor adimensional

i: Intensidad de lluvia, mm/h.

A: Área de drenaje, km².

La estimación del caudal de diseño para las obras de drenaje en el predio finca La Estrella se realizó utilizando el método racional, conforme al manual de drenajes para carreteras. Este método se aplica a áreas de drenaje inferiores a 80 hectáreas, según lo establecido en la Resolución 0330 del 2017 de la RAS. Cuando el área excede estos límites, se emplea modelamiento hidrológico en software especializado como HEC-HMS. Para la Unidad Hidrográfica de la quebrada Los Cacaos, se aplicará el método racional según el manual de drenajes para carreteras. (ver Tabla 18 y Figura 21).

Tabla 12

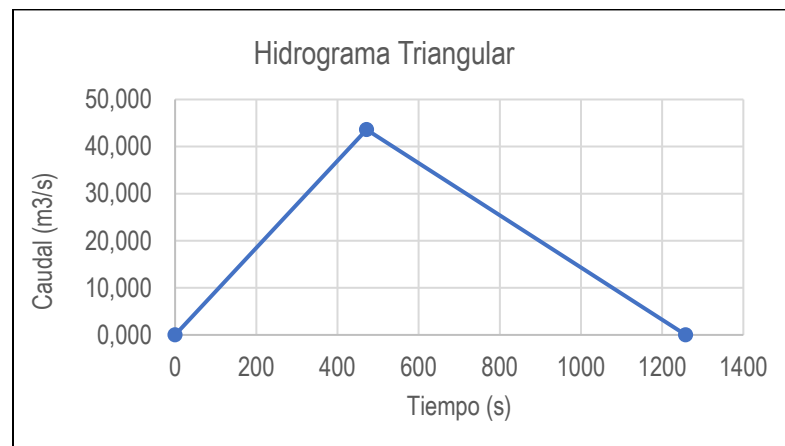
Valores para cálculo del caudal de diseño para el predio finca La Estrella.

Valores de interés		
I	238.20	(mm/hr)
C	0,36	---
A	1.828	km ²
Q	43.60	m ³ /s

Nota. En la tabla se muestran los valores de intensidad, coeficiente de rugosidad, área y caudal obtenidos para la unidad hidrográfica.

Figura 19

Hidrograma unitario por método racional para el predio finca La Estrella.



Nota: La gráfica muestra un hidrograma triangular que representa la distribución temporal de un flujo de agua en respuesta a una precipitación. El eje horizontal representa el tiempo, mientras que el eje vertical muestra el caudal o la descarga del agua.

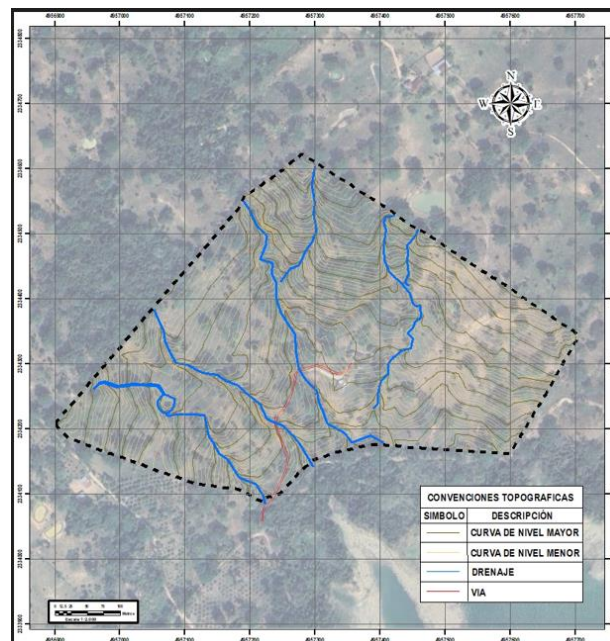
5.2.3. Análisis hidráulico

Después de completar el estudio hidrológico, se procede al análisis hidráulico del cauce principal. Este análisis busca identificar áreas propensas a inundaciones y estimar la profundidad del flujo durante eventos críticos. Se emplean principios de hidráulica de canales abiertos y modelos de tránsito de caudales, para comprender el comportamiento del agua ante cambios repentinos en el caudal. Este análisis es crucial para la planificación de infraestructuras hidráulicas y la gestión del riesgo de inundaciones.

Durante la inspección de campo y tras un análisis detallado de la topografía, se identificaron más ramificaciones de la unidad hidrográfica en el predio (ver Figura 22).

Figura 20

Plano topográfico del predio la Estrella



Nota. En el plano se observan las curvas de nivel, vías y drenajes del predio la Estrella.

El análisis hidráulico se llevó a cabo para las cinco quebradas, asegurando una representación completa y precisa de las condiciones hidrográficas.

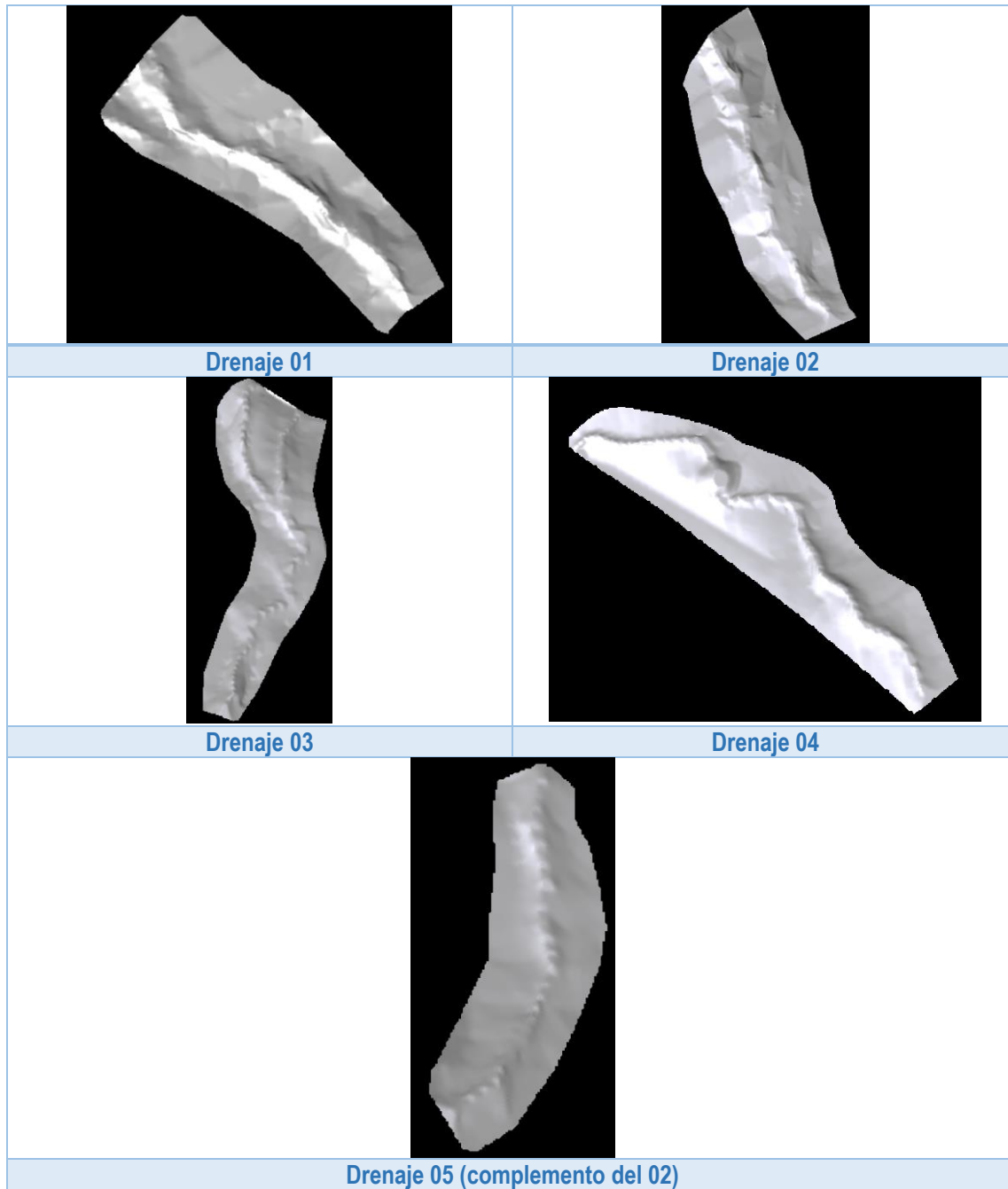
5.2.3.1. Modelo hidráulico software IBER

El modelado hidráulico de los cuerpos de agua en el predio se llevó a cabo utilizando el software IBER 2D, este software permite simular el comportamiento de flujos en dos dimensiones, lo que resulta fundamental para comprender la dinámica de inundaciones en diversas condiciones. Además de tener en cuenta los aspectos hidrológicos relevantes, se consideraron una serie de parámetros adicionales para garantizar la precisión y validez del modelo.

5.2.3.1.1. Generación de malla

La malla para el análisis hidráulico fue proporcionada por el cartógrafo, quien generó un modelo digital del terreno (MDT), a partir de datos topográficos detallados. Esta malla, con una resolución espacial de 0.5x0.5 metros, permitió capturar incluso las variaciones más sutiles del terreno, contribuyendo así a una representación precisa y detallada en el modelo hidráulico.

Se generaron cinco mallas específicas, una para cada una de las áreas de estudio identificadas. Cada malla se adaptó a las características topográficas y geográficas únicas de su respectiva zona de estudio, asegurando así que el modelo hidráulico reflejara con precisión las condiciones locales.

Figura 21*Mallas*

Nota. En la figura se observan las cinco mallas obtenidas para los drenajes delimitados en el área de estudio. Tomado de ALICONSAS 2023.

5.2.3.1.2. Coeficiente de Manning

La estimación del coeficiente de rugosidad de Manning es un proceso fundamental en el análisis hidráulico, ya que influye en las propiedades hidráulicas de las secciones consideradas en el proyecto actual. Se determinó el parámetro de rugosidad para cada una de las zonas de estudio, el cual se definió según las coberturas del suelo y los usos de la tierra. En el software utilizado, este coeficiente se asigna a las superficies que componen la malla. En el caso específico que se analizó, se utilizaron las coberturas dispersas y las áreas ribereñas para representar la sección correspondiente al tramo del río bajo estudio.

Tabla 13

Coeficiente de Manning

Tipo de Cobertura	Valor de Manning
Río	0.035
Suelo desnudo	0.023
Pradera	0.05
Bosque	0.12
Arena/arcilla	0.023
Arbustos	0.05
Arboles	0.12
Vegetación urbana	0.032
Vegetación dispersa	0.08
Vegetación densa	0.18
Hormigón	0.018
Infraestructura	0.02
Edificios aislados	0.08
Industrial	0.1
Residencial	0.15

Nota: En la tabla se muestra el valor del coeficiente de Manning correspondiente a cada tipo de cobertura. Para el proyecto La Estrella, se optó por el valor asociado a un río, es decir, 0,035.

5.2.3.1.3. Condiciones de contorno

En el análisis hidráulico, las condiciones de contorno se dividen en entrada y salida, marcando el inicio y el final del drenaje, respectivamente. Se identifican los elementos de la

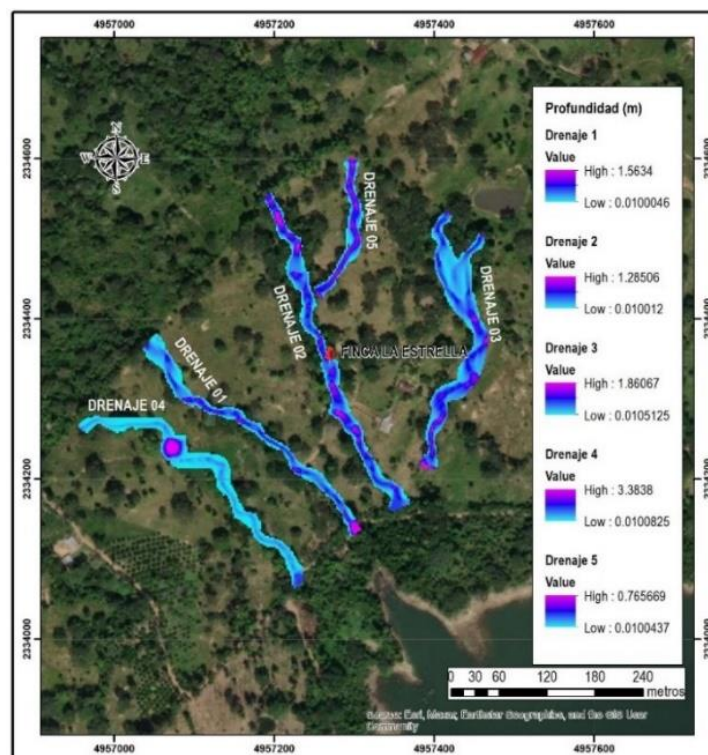
geometría que actuarán como entrada y salida del canal, y se introducen los caudales e hidrogramas obtenidos del análisis hidrológico previo. Además, se especifica el régimen del análisis, siendo predominante el régimen subcrítico para los escenarios de inundación estudiados.

5.2.3.2. Resultados hidráulicos de cota de inundación de los drenajes

Los cinco drenajes delimitados muestran un régimen intermitente, permitiendo el flujo de agua durante temporadas de lluvias intensas. Las alturas de la lámina de agua varían entre 1.56 y 0.01 metros para el primer drenaje (01), entre 1.28 y 0.01 metros para el segundo drenaje (02), y alcanzan 1.86 y 0.01 metros para el tercer drenaje (03). El cuarto drenaje (04) tiene un lago artificial con una profundidad máxima de 3.38 metros, mientras que el quinto drenaje (05) varía entre 0.76 y 0.01 metros y desemboca en el segundo drenaje (02).

Figura 22

Resultados hidráulicos de cota de inundación



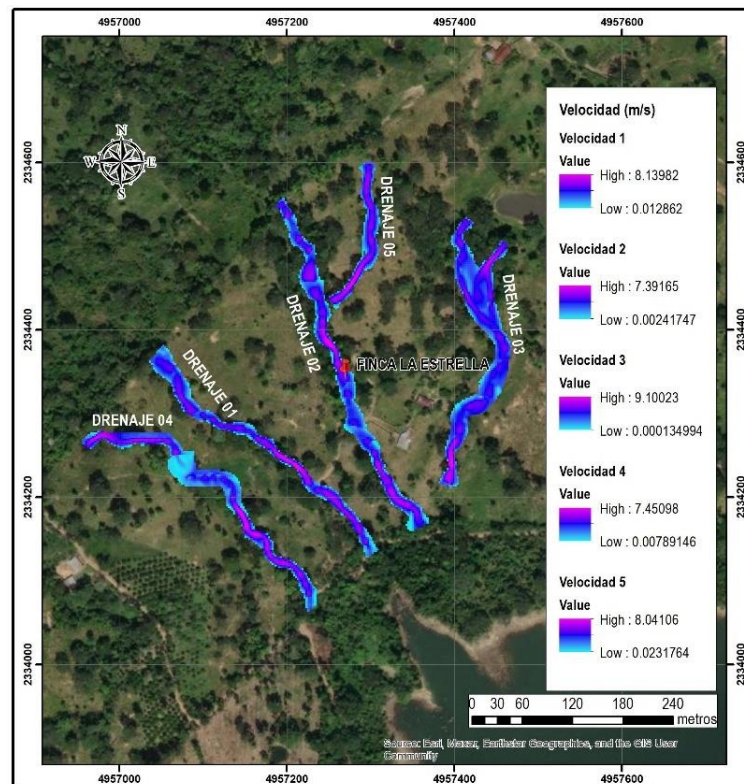
Nota. En la figura se visualizan las láminas de agua generadas por el software IBER para cada drenaje, junto con los respectivos valores de altura.

5.2.3.3. Resultados hidráulicos de velocidad de flujo de los drenajes de quebrada Los Cacaos

En el software, también se obtuvieron las velocidades erosivas de los drenajes modelados, resultando en: el drenaje uno (01) con una velocidad máxima de 8.13 m/s, el drenaje dos (02) con 7.39 m/s, el drenaje tres (03) con 9.10 m/s, el drenaje cuatro (04) con 7.45 m/s y, finalmente, el drenaje cinco (05) con 8.04 m/s. Todas estas velocidades superan los 5 m/s, lo que clasifica a los cauces como erosivos y con el potencial de arrastrar material granular y fino, según las características del suelo del cauce.

Figura 23

Resultados hidráulicos de velocidad



Nota: En la figura se visualizan las velocidades obtenidas mediante el modelado de los drenajes en IBER, junto con sus respectivos valores.

5.2.4. Zonificación de la amenaza por inundación

5.2.4.1. Niveles de frecuencia de amenaza por inundación

La determinación de los niveles de frecuencia de amenaza por inundación se basó en los caudales de los drenajes calculados para diferentes periodos de retorno, derivados del estudio hidrológico. Estos periodos se asignaron cualitativamente como alta, media o baja frecuencia en función de la probabilidad de recurrencia del cauce. La amenaza se interpreta como la probabilidad de que un evento de cierta intensidad ocurra en un periodo determinado, siendo inversamente proporcional al periodo de retorno en años. La caracterización de la amenaza se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 14

Caracterización de la amenaza por inundación a partir de la frecuencia del evento amenazante.

Periodo de Retorno	Frecuencia	Categorización
0-25 Años	0-4%	Alta
25-100 Años	4% -1%	Media
≥ 100 Años	< 1%	Baja

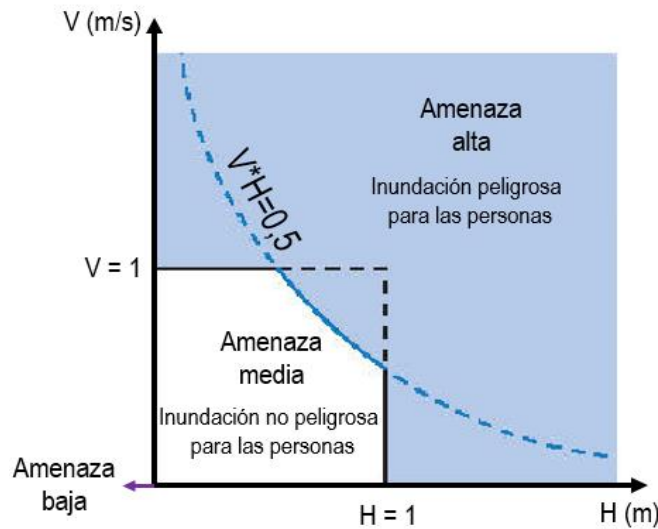
Nota. La tabla proporciona la categorización de la amenaza según su frecuencia.

5.2.4.2. Categorización e intensidad de la inundación

Para establecer el nivel de magnitud o intensidad de la inundación se seleccionaron parámetros hidráulicos y rangos que definen las características de los flujos en las áreas inundadas (altura de la lámina de agua y velocidad de flujo) y a partir de estos se asignaron niveles de seguridad, que son equivalentes a las categorías de amenaza baja, media y alta.

Figura 24

Estimación de rango y valor para diferentes zonas de inundación.



Nota. La gráfica muestra una estimación del rango y valor para categorizar la amenaza, Modificado de (Martín Vide, 2006).

Tabla 15

Categorías generales de intensidad en inundaciones para cada tiempo de retorno.

Categorización de la amenaza	Nivel de severidad	Altura lámina de agua H , inundaciones estáticas (m)	Relación $H \cdot V$, inundaciones dinámicas (m ² /s)
Alta	Severidad elevada. Alto riesgo para personas situadas en el exterior, arrastre de vehículos, daños estructurales a edificios.	$H \geq 1.0$	$H \cdot V \geq 0.5$
Media	Severidad media. Significativas pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia.	$0 < H < 1.0$	$H \cdot V < 0.5$
Baja	No se esperan víctimas. Severidad leve, peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad y dificultades para caminar.	$H \approx 0$	$H \cdot V \approx 0$

Nota. En la tabla se explica la categorización de la amenaza y su nivel de severidad. Modificado de (INETER 2005).

Para evaluar las amenazas de inundación en la finca La Estrella, se correlacionan los periodos de recurrencia de los eventos. Esta correlación se representa en la Tabla 22, que categoriza la amenaza según el tiempo de retorno para la velocidad y el calado del agua.

Tabla 16

Categorización de la amenaza por inundación.

		Tiempo de retorno velocidad (5 años) #2		
		ALTA	MEDIA	BAJA
Tiempo de retorno calado (5 años) #1	ALTA	Alta	Alta	Alta
	MEDIA	Alta	Media	Media
	BAJA	Alta	Media	Baja

Nota: La tabla presenta la correlación entre el tiempo de retorno de la velocidad (5 años) y el tiempo de retorno del calado (5 años), categorizando las zonas en alta, media y baja inundación. Cada celda indica el nivel de riesgo asociado con la combinación de estos factores. Modificado de (INETER 2005).

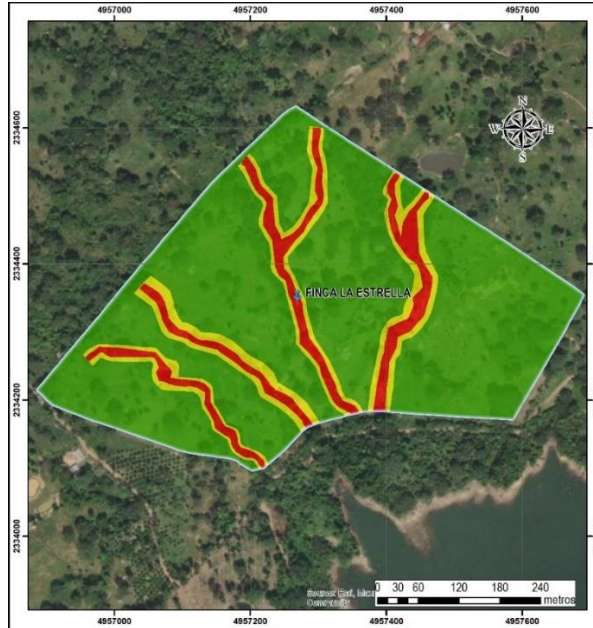
Se utilizan los tiempos de retorno calculados (TR 2) en la matriz de la anterior. El resultado final de la evaluación de la amenaza por inundación para cada zona de estudio se obtiene mediante el plano correlacionado del nivel del agua y la velocidad asociada al tiempo de retorno.

5.2.4.3. Plano de amenaza por inundación

A partir de los criterios mencionados anteriormente, se determinan las zonas de amenaza por inundación en la finca La Estrella. Se observa que el 9.23% del terreno (equivalente a 2.18 ha) se clasifica como amenaza alta, el 10.59% (2.50 ha) se considera amenaza media, mientras que el 80.18% (18.98 hectáreas) se cataloga como amenaza baja.

Figura 25

Plano de amenaza de inundación en el predio de la finca La Estrella.



LEYENDA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL PREDIO FINCA LA ESTRELLA						
COLOR	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	POSIBLES DAÑOS	RECOMENDACIONES	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
	Baja	Zonas con probabilidad baja de ocurrencia de inundaciones. Corresponde a geoformas altas por encima de valles de inundación y cerca de cauces, con densidad de drenaje baja, superficies con pendientes altas, asociados a geoformas de tipo ladera inclinada o de origen estructural, con coberturas altas de gran densidad con muy buenas capacidad de escurrimiento y absorción.	Afectación en coberturas de tierras naturales, agrícolas y territorios artificializados, daños en redes de acueducto y alcantarillado, redes eléctricas y de telecomunicaciones, pérdida parcial de la movilidad vehicular.	Mantener un buen control de escorrentia de aguas superficiales.	18.98 ha	80.18 %
	Media	Zonas con probabilidad media de ocurrencia de inundaciones. Corresponde a geoformas medias a altas de origen fluvial como terrazas de acumulación, con alta densidad de drenaje. Cobertura de tierras bajas que permiten la protección del suelo frente a la erosión, cauces principalmente de orden intermedio, que pueden presentar eventos de inundación.	Afectación en coberturas de tierras naturales, agrícolas y territorios artificializados, daños en redes de acueducto y alcantarillado, redes eléctricas y de telecomunicaciones, pérdida parcial de la movilidad vehicular, daños en elementos no estructurantes, pérdida de la habitabilidad de las viviendas.	Mantener un buen control de escorrentia de aguas superficiales y realizar estudios detallados para planear obras para la prevención de inundaciones en zonas con elementos expuestos	2.50 ha	10.59 %
	Alta	Zonas con una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones. Corresponde a geoformas principalmente fluviales con alturas bajas a medias con respecto al cauce, con gran probabilidad de inundarse o anegarse, de bajas pendientes asociadas a depósitos aluviales de cauces principales, con poca o nula cobertura de tierra y no presenta antecedentes de ocurrencia de inundación.	Afectaciones en coberturas de tierras naturales, agrícolas y territorios artificializados, daños en redes de acueducto y alcantarillado, redes eléctricas y de telecomunicaciones, pérdida parcial de la movilidad vehicular, daños en elementos no estructurales, pérdida de la habitabilidad de las viviendas	Realizar estudios detallados para planear obras para la prevención de inundaciones en zonas con elementos expuestos.	2.18 ha	9.23 %
ÁREA TOTAL DE AMENAZA POR INUNDACIÓN					23.67 ha	100.00%

Nota. El mapa muestra las zonas delimitadas en amenaza alta, media y baja. Además, proporciona una descripción detallada de los posibles daños que podrían ocurrir en cada área durante una inundación, junto con recomendaciones específicas y el área total ocupada por cada zona.

5.3. Obra hidráulica para mitigar la amenaza por inundación

Para abordar las intervenciones necesarias en los cauces dentro de la unidad hidrográfica de la quebrada Los Cacaos, se consideraron las características del terreno, las actividades existentes y las secciones hidráulicas evaluadas. El caudal pico registrado en la quebrada Los Cacaos asciende a 43.60 m³/s, con un pendiente promedio del cauce del 43.69% y una sección natural que supera un metro en la base del drenaje principal. En este contexto, se plantea la construcción de una obra de drenaje en forma de cuneta disipadora de energía, con un diseño escalonado. Esta cuneta tendría una huella de dos metros y una contrahuella de tres metros, en una sección transversal promedio de un metro.

Se destaca que la empresa proporcionó una herramienta en formato Excel programada específicamente para el diseño de la cuneta, simplificando el proceso al ingresar los parámetros de los drenajes estudiados. A continuación, se presentan los parámetros de diseño estimados para esta cuneta disipadora, la cual se propone construir en geomembrana con un recubrimiento de concreto.

Figura 26

Parámetros de diseño para la cuneta disipadora de energía tipo escalonada.

DISIPADORA DE ENERGIA ESCALONADA		
Datos de entrada diseño		Código:CD1
Q (m ³ /s)	43.600	
Diferencia de cotas (m)	20.000	
Pendiente terreno (i o h/l) en (m/m)	0.700	
Ángulo de inclinación del terreno (alfa)	43.690	
Ancho del canal "B" (m)	1.000	
Gravedad (m ² /s)	9.810	
qu (m ³ /sm)	43.600	Caudal Unitario
Yc (m) $Yc = ((qu^2)/g)^{1/3}$	5.787	
N coriolis	3.500	(Debe ser un valor entre 3,5 y 4 experimental)
α coriolis	1.140	Valor experimental
Yc/h (m), si $0,1 <= h/l <= 1,43$ (chanson & yasuda)	0.658	Si aplica
Yc/h (m) (chanson 2002)	0.610	
Yc/h (m) (Asumido)	0.658	Generalmente se usa chanson

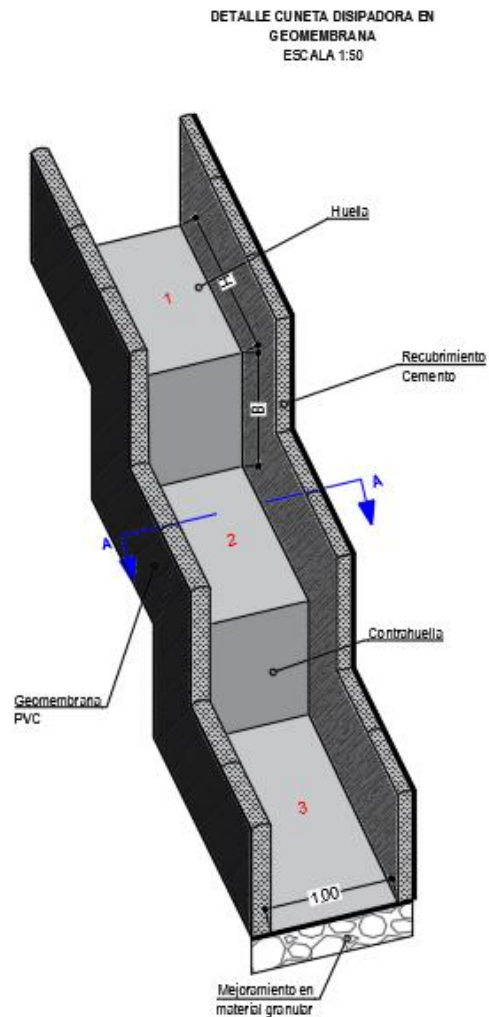
Altura de grada calculada "h" (m)	8.792	
Altura de grada óptima "h" (m) (Matos 2000)	1.736	
Altura de grada asumida "h" (m) contrahuella	2.000	Altura ok
Longitud de huella calculada (m)	2.857	
Longitud de huella asumida (m) huella	3.000	Longitud de Huella ok
Pendiente del fondo del canal escalonado (m/m)	0.667	
Ángulo de inclinación del perfil escalonado (°)	33.690	
# de contrahuellas	10.000	10
# de huellas	9.000	9
Hd (m), es la altura total	20.000	
Ld (m), es la distancia total horizontal	27.000	
Lr (hipotenusa en metros)	33.601	

Chequeo de flujo escalón por escalón		
Chanson 2002 Yc/h (m)	0.623	0.623333333
Calado en la orilla del escalón		
Yb (m) de Chanson 2002	4.138	
Longitud de la caída		
Lc (m) de chanson 2002	6.192	
Profundidad del flujo en el escalón		
Yp (m)	1.530	
Calado conjugado menor		
Ycm (m)	0.644	
Energía al inicio del dissipador		
E1 (m)	28.680	
Energía Disipada		
ΔE (m)	14.213	
Energía al pie del Dissipador		
E2 (m)	14.467	
% ΔE energía al pie del dissipador	49.558	
Altura de pared		Valor asumido, teniendo en cuenta los valores de Yc y YP (o sea que sea mayor que ellos)
hp (m)	0.800	Subele tantito a la altura de pared

Nota. La tabla presenta los datos de entrada utilizados, las dimensiones de la dissipadora y los chequeos correspondientes.

Figura 27

Detalle geométrico de la cuneta disipadora en geomembrana con recubrimiento de concreto.



Nota. La figura ilustra el diseño de la cuneta disipadora, junto con la identificación de sus partes constituyentes. Tomado de ALICONSAS 2023.

6. Conclusiones

El análisis de los suelos revela un elevado porcentaje de partículas finas, con un promedio del 76.81%, lo que indica una composición predominante de arcillas y limos. Es importante destacar la presencia dominante de limos arenosos con gravas (ML), con un promedio del 61%.

Con un promedio de límite plástico del 32.88% y un índice de plasticidad promedio del 8.54%, se infiere que el suelo del predio exhibe una plasticidad de moderada a baja. Esto indica una cierta susceptibilidad a cambios de consistencia bajo la influencia de la humedad, pero no una deformabilidad extrema.

Se recomienda implementar medidas específicas durante la construcción, como técnicas de compactación y sistemas de drenaje efectivos, para garantizar la estabilidad de las estructuras y mitigar el riesgo de colapso. Es fundamental tener en cuenta estos hallazgos al diseñar y ejecutar cualquier obra en el predio, con el fin de asegurar su durabilidad y seguridad a lo largo del tiempo.

Los resultados hidráulicos de la cota de inundación de los drenajes son esenciales para comprender, prevenir y mitigar los efectos de las inundaciones. Entre estos datos, destaca especialmente el cuarto drenaje, con una profundidad máxima de 3.38 metros. Además, las cotas mínimas de los drenajes, todas ellas de 0.01 metros, indican la persistencia de un nivel mínimo de agua incluso durante períodos de sequía o escasez de lluvia.

Los resultados hidráulicos de velocidad de flujo de los drenajes revelan que todos los drenajes modelados presentan velocidades erosivas que superan los 5 m/s. Destaca la velocidad máxima registrada en el drenaje tres (03) con 9.10 m/s, mientras que la mínima se observa en el drenaje dos (02) con 7.39 m/s. Esta situación señala un potencial significativo para el arrastre de material granular y fino en los cauces. Por consiguiente, es evidente que los cauces están expuestos a procesos erosivos que podrían incidir en la estabilidad del suelo en el área estudiada.

Referencias Bibliográficas

- ALICONSAS (2023), Alianza consultora & ingenierías S.A.S. Obtenido de <https://aliconingenieria.com/nosotros/>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10-Título H.
- Bateman (2007). Hidrología básica y aplicada.
- BRAJA M. DAS (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica.
- GOOGLE (2023). *Google Earth*. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- (IDEAM, 2023). Consulta y descarga de datos Hidrometeorológicos, Obtenido de: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- INETER (2005). Inundaciones fluviales Mapas de amenazas Recomendaciones técnicas para su elaboración.
- INVIAS (2009). Manual de drenaje para carreteras.
- INVIAS (2013). Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos INV E-123.
- INVIAS (2013). Determinación del contenido de humedad INV E-122-13.
- INVIAS (2013). Determinación del límite líquido de los suelos INV E-125.
- INVIAS (2013). Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E-126.
- INVIAS. (2019). Manual de drenajes para carreteras
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). Resolución 0330 de 2017-Artículo 138
- Vide, M. (2006). Ingeniería de ríos.