

Modelo de la amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín, Santander, a escala 1:25 000 mediante la simulación con los programas HEC-HMS y HEC-RAS.

John Diego Pérez Alquichire y Andrés Ríos Robles

Trabajo de grado para optar por el título de geólogo

Director

Joaquín Andrés Valencia Ortiz

Doctor en Geología

Codirector

Leonardo Palmera Sánchez

Magíster en Geociencias

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios por permitirme llegar a este punto y permitirme cumplir uno de mis tantos sueños, en especial quiero dedicarle este trabajo a mi abuelo Dagoberto que está en el cielo, darle las gracias por todos sus años de amor y cariño. Agradecer también a mis dos madres Farina y Elvia por apoyarme y darme siempre ánimos para seguir adelante. Por su paciencia y su incondicional amor han sido mi inspiración más grande para llegar hasta este punto.

Gracias a mi padre Omar por siempre creer en mí por formarme como hombre y persona, a mi hermana Isabella por tomarme como inspiración, quiero darle las gracias al resto de mis familiares que me han dado su granito de arena para llegar hasta aquí mi abuelo Ismael, mi tío Edwin, Mi tío Dago y mi abuela Aida.

Agradecer a todos los compañeros y amigos que formaron parte de este proceso, pero en especial a mi compañero, amigo y co-autor de tesis John Diego.

Andrés Ríos

A Dios, por darme fortaleza, sabiduría y la oportunidad de tener y culminar esta etapa de mi vida. A mi madre, Emilse, por su amor incondicional, su sacrificio y el inmenso esfuerzo que hizo para educarme y brindarme las herramientas para salir adelante. Este logro también es suyo. A mi pareja, Andrea, por apoyarme en los momentos más difíciles de este proceso, por su paciencia y amor incondicional. Solo ella sabe cuánto costó llegar hasta aquí.

Agradecimiento especial a mi gran amigo y compañero de tesis, Andrés, por confiar en mí para este proyecto y por todos los momentos compartidos durante nuestra vida universitaria.

John Pérez

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Joaquín, y a nuestro codirector, Leonardo, por su disposición, compromiso y constante apoyo a lo largo de este proceso de investigación. Asimismo, agradecemos a todos los compañeros que, de una u otra manera, contribuyeron a nuestra formación profesional. En especial, a Shaireth, por su permanente disposición para brindar su ayuda y por los valiosos momentos compartidos durante el trabajo de campo.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a la Escuela de Geología de la Universidad por el apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción.....	13
1. Planteamiento del Problema.....	15
2. Justificación.....	17
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4. Marco de referencia.....	20
4.1 Localización	20
4.2 Contexto geológico	21
5. Estado del arte	25
6. Metodología	27
7. Resultados	44
7.1 Base de datos recolectada.....	44
7.2 Análisis morfométrico del sector hidrográfico.....	46
7.3 Caracterización de la precipitación	51
7.4 Hidrología.....	53
7.5. Insumos necesarios para la modelación hidrológica e hidráulica.....	58
7.6 Modelo hidrológico	62

7.7	Modelo hidráulico	64
7.7.1	Isobatas e Isotacas	66
7.7.2	Descripción de depósitos	69
7.7.3	Perfil transversal del cauce	73
7.8	Zonificación de la amenaza.....	74
7.8.1	Amenaza baja	76
7.8.2	Amenaza media	77
7.8.3	Amenaza Alta	77
8	Conclusiones	78
9	Recomendaciones y trabajo futuro.....	80
	Referencias Bibliográficas.....	83
	Apéndices	93

Lista de Figuras

Figura 1 Localización de la cuenca hidrográfica de la quebrada el León en el municipio de San Joaquín.....	21
Figura 2 Mapa de la geología regional a escala 1:25.000 del área de estudio.	22
Figura 3. Mapa Regional de las Unidades Geomorfológicas regionales.	25
Figura 4 Diagrama de flujo que muestra el paso a paso que se estableció para el desarrollo de la metodología de trabajo.....	28
Figura 5 Representación esquemática de la cuenca hidrográfica dentro del entorno de modelación HEC-HMS.	39
Figura 6 Mapa de inventario de movimientos en masa identificados dentro del sector hidrográfico de la quebrada El León.	45
Figura 7 Perfil longitudinal en metros del cauce principal de la Quebrada El León.....	48
Figura 8 Red de drenaje jerarquizada por órdenes dentro del sector hidrográfico.....	50
Figura 9 Mapa de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca hidrográfica de la quebrada El León, obtenido mediante el método de polígonos de Thiessen.	53
Figura 10 Distribución de los datos de la estación San Joaquín con relación a la distribución estadística Log-Normal.....	54
Figura 11 Grafica de las curvas IDF para los diferentes periodos de retorno analizados. .	57
Figura 12 Distribución espacial del Número de Curva (CN) en la cuenca de la quebrada El León.	58
Figura 13 Distribución espacial de los coeficientes de rugosidad de Manning (n) en la cuenca de la quebrada El León.	60

Figura 14 Mapa de clasificación de pendientes del sector hidrográfico de la quebrada El León.	62
Figura 15 Mapa de isobatas para un periodo de retorno de 100 años.	68
Figura 16 Mapa de Isotacas para un periodo de retorno de 100 años.	69
Figura 17 Depósito fluviotorrencial compuesto por bloques, cantos y gravas encontradas en el margen de la quebrada El León.	71
Figura 18 Perfil transversal del cauce de la quebrada El León con dimensiones de márgenes y composición y la ubicación del perfil en planta.	73
Figura 19 Mapa de zonificación por avenidas torrenciales en el municipio el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín a escala 1:25 000.	75
Figura 20 Porcentajes del área de estudio afectada asociada a la amenaza por avenidas torrenciales correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.....	76
Figura 21 Propuesta de estudio futuro para zona de detalle a escala 1:2000.	82

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de cuencas hidrográficas según el área de drenaje.	30
Tabla 2. Clasificación de la forma de la cuenca según el coeficiente de compacidad (K_c).31	
Tabla 3. Clasificación morfométrica del relieve con base en la pendiente media.....	31
Tabla 4. Clasificación de los procesos predominantes según el índice de Melton.....	32
Tabla 5. Clasificación de la densidad de drenaje.....	33
Tabla 6 Clasificación de la densidad de drenaje.....	33
Tabla 7. Parámetros regionalizados de ajuste (a, b, c y d) para la estimación de intensidades de precipitación mediante curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) en Colombia....	38
Tabla 8. Métodos utilizados para el cálculo de Tiempo de concentración.....	41
Tabla 9. Criterios de clasificación de la amenaza por inundación según los valores de profundidad, velocidad del flujo y pendiente, empleados para la reclasificación de los ráster en categorías de amenaza baja, media y alta, de acuerdo con la Guía metodológica.....	43
Tabla 10 Parámetros morfométricos de medición directa del sector hidrográfico obtenidos mediante herramientas SIG.	46
Tabla 11 Parámetros de relieve del sector hidrográfico.	47
Tabla 12 Parámetros morfométricos de la red de drenaje del sector hidrográfico.	50
Tabla 13. Resultados de la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado (X^2) para la evaluación de distribuciones de probabilidad aplicadas a los datos analizados.	55
Tabla 14. Valores de caudal pico en m^3/s para el sector hidrográfico de la quebrada El León simulado en HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	63
Tabla 15 Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($T_r= 2$ años).	65
Tabla 16 Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($T_r= 5$ años).	65

Tabla 17 Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($T_r = 10$ años). 66

Tabla 18 Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($T_r = 100$ años). .. 66

Tabla 19 Profundidades (Isobatas) y velocidades (Isotacas) máximas del flujo obtenidas en la simulación hidráulica para cada periodo de retorno. 67

Lista de Apéndices

Apéndice A Formatos para la caracterización de avenidas torrenciales.	93
Apéndice B serie histórica de precipitación organizada por años y estaciones meteorológicas	95
Apéndice C Análisis estadístico de frecuencias de los máximos anuales de precipitación en 24 horas para la estación San Joaquín.	96
Apéndice D Hietogramas de precipitación e hidrograma de escorrentía obtenidos para el Sector hidrográfico de la quebrada el León.	97
Apéndice E Hietogramas de la precipitación de diseño.	100

Resumen

Título: Modelo de la amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín, Santander, a escala 1:25 000 mediante la simulación con los programas HEC-HMS y HEC-RAS*

Autores: John Diego Pérez Alquichire y Andrés Ríos Robles**

Palabras Clave: Avenidas torrenciales, modelación hidrológica, modelación hidráulica, HEC-HMS, HEC-RAS, zonificación de amenaza, gestión del riesgo, San Joaquín, Santander.

Descripción: El municipio de San Joaquín, (Santander) presenta condiciones geomorfológicas e hidrológicas que favorecen la ocurrencia de avenidas torrenciales, situación evidenciada por los eventos registrados en la quebrada El León, entre ellos el ocurrido en mayo de 2023, que afectó la infraestructura vial y el sistema de abastecimiento de agua. A pesar de estos antecedentes, el sector carece de estudios técnicos para la evaluación de esta amenaza. En este contexto, el objetivo de la investigación fue generar un modelo de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000 mediante la integración de modelación hidrológica e hidráulica con los programas HEC-HMS y HEC-RAS. La investigación se desarrolló en tres etapas: pre-campo, campo y post-campo. Se recopiló información geológica, geomorfológica, topográfica, meteorológica e hidrológica, complementada con trabajo de campo para caracterizar depósitos. Posteriormente, se procesaron registros pluviométricos, se generaron curvas IDF e hietogramas, y se implementaron modelos hidrológicos e hidráulicos para simular escenarios de amenaza. Como resultado, se obtuvieron caudales pico que van desde 88,7 m³/s para (Tr= 2) hasta 281,0 m³/s para (Tr= 100). Las zonas de inundación registraron velocidades máximas de 15,3 m/s y profundidades de 3,2 m. Finalmente, la zonificación cartográfica a escala 1:25000 mostró que el 89,9 % del sector hidrográfico corresponde a amenaza baja, localizada en las zonas altas y alejadas del cauce principal. La amenaza media abarca el 8,3 % del área y cubre las zonas de depósito que evidencian el alcance de eventos previos, mientras que la amenaza alta representa el 1,8 % y coincide con la zona de inundación obtenida en la modelación. Tras el análisis de los datos obtenido se logró determinar que el comportamiento del sector hidrográfico, tras eventos de altas precipitaciones, está controlado principalmente por sus características morfométricas y físicas, más que por volumen de agua precipitado. Del mismo modo, se identificó que la principal condición de amenaza de las avenidas es la alta carga de sedimentos transportados, la rápida respuesta de la cuenca a las precipitaciones y su comportamiento supercrítico.

* Trabajo de Grado ** Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz.

Abstract

Title: Flash Flood Hazard Modeling for the El León Creek Hydrographic Sector, Municipality of San Joaquín, Santander, at a 1:25,000 Scale, Utilizing HEC-HMS and HEC-RAS Simulation Software*

Authors: John Diego Pérez Alquichire and Andrés Ríos Robles**

Keywords: Flash floods, hydrological modeling, hydraulic modeling, HEC-HMS, HEC-RAS, hazard zoning, risk management, San Joaquín, Santander.

Description: The municipality of San Joaquín (Santander, Colombia) exhibits geomorphological and hydrological conditions that favor the occurrence of torrential floods, as evidenced by the events recorded in the El León stream, including the one that occurred in May 2023, which damaged the road infrastructure and the water supply system. Despite these previous events, the area lacks technical studies for the assessment of this hazard. In this context, the objective of this research was to develop a torrential flood hazard model at a 1:25.000 scale by integrating hydrological and hydraulic modeling using the HEC-HMS and HEC-RAS software. The study was carried out in three stages: pre-fieldwork, fieldwork, and post-fieldwork. Geological, geomorphological, topographic, meteorological, and hydrological information was collected and complemented with field surveys to characterize sediment deposits. Subsequently, rainfall records were processed, intensity–duration–frequency (IDF) curves and hyetographs were developed, and hydrological and hydraulic models were implemented to simulate hazard scenarios. The results showed peak discharges ranging from 88,7 m³/s for a 2-year return period (RP = 2 years) to 181 m³/s for a 100-year return period (RP = 100 years). The inundation zones reached maximum flow velocities of 15,3 m/s and maximum flow depths of 3,2 m. Finally, the hazard zonation map at a scale of 1:25.000 indicated that 89,9% of the watershed corresponds to low hazard, located in the upper areas and away from the main channel. Moderate hazard covers 8,3% of the watershed and includes depositional areas that reflect the extent of previous events, whereas high hazard represents 1,8% of the watershed and coincides with the inundation zone obtained from the hydraulic modeling. The analysis demonstrated that the watershed's response to intense rainfall events is controlled primarily by its morphometric and physical characteristics rather than by the volume of precipitation alone. Likewise, the results indicate that the principal factors controlling torrential flood hazard are the high sediment load transported by the flow, the rapid hydrological response of the watershed to rainfall, and the supercritical flow conditions.

* Degree Work **Faculty of Physical Chemistry. School of Geology. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz.

Doctor in Geology. Codirector: Leonardo Palmera Sánchez. Master of Science in Geosciences.

Introducción

Las avenidas torrenciales constituyen uno de los fenómenos naturales de mayor peligrosidad en regiones montañosas, debido a su alta capacidad de transporte de sedimentos, velocidad de propagación y potencial destructivo sobre infraestructuras y comunidades. Estos eventos se caracterizan por flujos rápidos a extremadamente rápidos de agua mezclada con detritos, los cuales se movilizan principalmente a lo largo de cauces con fuertes pendientes, incorporando material sólido a su paso y aumentando su poder erosivo y de arrastre (Hungar, Leroueil, & Picarelli, 2001). Su ocurrencia está condicionada por factores como la geomorfología, la pendiente del terreno, la litología, la cobertura vegetal y, especialmente, la intensidad y duración de las precipitaciones (Iverson, 1997).

A escala global, las avenidas torrenciales representan una amenaza significativa, generando pérdidas humanas, daños económicos y afectaciones ambientales considerables, particularmente en regiones con topografía abrupta y alta pluviosidad. En Colombia, estos eventos son recurrentes en la región andina, donde la combinación de un relieve montañoso y las condiciones climáticas favorece su desarrollo. Un ejemplo de esto es el registro que se tiene entre 1921 y 2018 donde se generaron más de 800 eventos de avenidas torrenciales, con miles de personas afectadas y daños importantes en infraestructura (Aristizábal, Arango, & Garcia, 2020).

En el departamento de Santander, las características fisiográficas e hidrometeorológicas incrementan la susceptibilidad frente a procesos de avenida torrencial. Particularmente, el municipio de San Joaquín ha registrado antecedentes asociados a este tipo de fenómenos, reconocidos dentro del Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de

Desastres (PMGRD), el cual identifica escenarios de riesgo relacionados con las quebradas Panamá y El León. Entre las afectaciones históricas reportadas se encuentran daños sobre la infraestructura hidráulica del municipio, incluyendo pérdida de estabilidad de taludes y afectaciones sobre áreas agrícolas aguas abajo. Aunque los registros históricos no reportan víctimas fatales asociadas a estos eventos, sí evidencian impactos recurrentes sobre el funcionamiento del territorio y la prestación de servicios básicos (CMGRD, 2016).

De manera más reciente, durante el 19 de mayo de 2023 se presentó una emergencia asociada a lluvias intensas que desencadenaron avenidas torrenciales sobre la quebrada El León ocasionando afectaciones sobre infraestructura vial, sistemas de abastecimiento y sectores rurales del municipio (Gobernación de Santander, 2023).

Dentro de este contexto, el sector hidrográfico de la quebrada El León se reconoce como una zona con condiciones favorables para la ocurrencia de estos fenómenos debido a la presencia de pendientes pronunciadas, disponibilidad de material superficial susceptible al transporte y eventos de precipitación intensa. Sin embargo, la limitada disponibilidad de estudios orientados a la evaluación cuantitativa y espacial de la amenaza dificulta su incorporación dentro de los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo.

Ante esta necesidad, la presente investigación plantea la construcción de un modelo de amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín, Santander, con el propósito de aportar herramientas técnicas para la evaluación del territorio frente a este tipo de eventos. Para ello, el estudio integra información geológica, geomorfológica, topográfica e hidrometeorológica, complementada con reconocimiento de campo y análisis de registros históricos, con el fin de caracterizar las condiciones del área de estudio. Posteriormente, mediante la aplicación integrada de

herramientas de simulación hidrológica y modelación hidráulica, se representan escenarios potenciales de flujo y se delimitan áreas susceptibles de afectación. Los resultados esperados buscan generar una cartografía de la amenaza a escala 1:25.000 que contribuya al fortalecimiento de la gestión del riesgo, facilite la toma de decisiones en el ordenamiento territorial y sirva como base para la formulación de estrategias orientadas a reducir la exposición frente a avenidas torrenciales en el municipio de San Joaquín.

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo, la evaluación de avenidas torrenciales constituye una herramienta clave para comprender la dinámica de estos fenómenos y reducir sus posibles impactos sobre el territorio. El uso de herramientas de modelación hidrológica e hidráulica permite analizar la respuesta de las cuencas frente a eventos extremos de precipitación, identificar patrones potenciales de comportamiento del flujo y apoyar la delimitación de zonas expuestas a diferentes niveles de amenaza (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center., 2016). En este sentido, la aplicación de este tipo de herramientas representa un apoyo técnico para fortalecer los procesos de planificación territorial y orientar medidas de prevención y mitigación frente a escenarios asociados a avenidas torrenciales.

1. Planteamiento del Problema

El municipio de San Joaquín presenta condiciones físicas que favorecen la ocurrencia de procesos torrenciales debido a la combinación de relieve montañoso, pendientes elevadas, drenajes activos y eventos de precipitación intensa característicos de la región. Estas condiciones incrementan la susceptibilidad del territorio frente a fenómenos asociados al

transporte rápido de agua y sedimentos, generando potenciales afectaciones sobre la infraestructura, las actividades productivas y la seguridad de la población.

Dentro del municipio, el sector hidrográfico de la quebrada El León representa un área de interés debido a la disponibilidad de material superficial susceptible al transporte y antecedentes de afectaciones relacionadas con procesos hidrometeorológicos reconocidos dentro de los instrumentos de gestión del riesgo (CMGRD, 2016). Según Luis Eduardo Leiva presidente de la Junta de Acción Comuna (JAC) de la vereda Santa Clara (2022), y otros testimonios de los habitantes de la zona, las avenidas torrenciales en esta zona comenzaron a presentarse con frecuencia a partir del año 2010. Adicionalmente, la cartografía nacional del Servicio Geológico Colombiano identifica condiciones de susceptibilidad por movimientos en masa para amplios sectores del municipio, evidenciando la necesidad de fortalecer estudios a escalas de mayor detalle que permitan apoyar la toma de decisiones territoriales (Servicio Geológico Colombiano, 2021).

Los antecedentes registrados en el municipio de San Joaquín evidencian una problemática vigente para el territorio. Entre ellos, el evento registrado el 19 de mayo de 2023 en la quebrada El León puso a la vista la vulnerabilidad de la infraestructura vial, los sistemas de abastecimiento de agua y los sectores rurales frente a este tipo de fenómenos (Gobernación de Santander, 2023). Este evento confirma la necesidad de contar con herramientas técnicas que permitan identificar las áreas potencialmente afectadas y apoyar la planificación territorial y la gestión del riesgo.

A pesar de estos hechos, actualmente existe una limitada cantidad de estudios orientados a la amenaza por avenidas torrenciales en la quebrada El León. Esta ausencia dificulta la identificación de zonas potencialmente afectadas y limita la incorporación del

fenómeno dentro de instrumentos de ordenamiento territorial y gestión del riesgo. En este contexto, surge la necesidad de desarrollar un modelo de amenaza por avenidas torrenciales que permita representar escenarios potenciales de ocurrencia y generar cartografía técnica como soporte para la planificación territorial y la reducción de la vulnerabilidad en el municipio de San Joaquín.

2. Justificación

La realización de esta investigación surge de la necesidad de fortalecer el conocimiento técnico sobre la amenaza por avenidas torrenciales en el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín, Santander, debido a las condiciones naturales y antecedentes de afectación que generan preocupación para las comunidades asentadas en el área de influencia.

Sobre un tramo de la quebrada el León se encuentra la vía que comunica los municipios de Onzaga y Mogotes, infraestructura que cumple un papel importante para la movilidad regional y el transporte de población y productos agrícolas. Las afectaciones asociadas a procesos de avenidas torrenciales representan un riesgo para la conectividad del territorio y para las dinámicas económicas y sociales que dependen de esta vía.

La importancia del estudio radica en que actualmente no se cuenta con una evaluación detallada que permita comprender el comportamiento espacial de la amenaza para este sector hidrográfico ni disponer de información técnica orientada a respaldar futuras acciones de prevención, monitoreo o intervención. En este sentido, el desarrollo del modelo busca aportar

un conocimiento del territorio que facilite la interpretación del fenómeno y permita disponer de una base de análisis para futuras estrategias de gestión del riesgo en el municipio.

De manera complementaria, esta investigación se articula con el enfoque promovido por la Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNISDR) en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030, el cual establece que comprender el riesgo constituye un elemento fundamental para disminuir pérdidas y fortalecer la resiliencia frente a amenazas naturales ((UNISDR), 2015).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Generar un modelo de amenazas por avenidas torrenciales a escala 1:25.000 en el sector hidrográfico de la quebrada El León, del municipio de San Joaquín, Santander, con base en los lineamientos establecidos en la “*Guía Metodológica para Zonificación de Amenazas por Avenidas Torrenciales del Servicio Geológico Colombiano*” (Servicio Geológico Colombiano, 2021).

3.2 Objetivos Específicos

- Calcular los datos pluviométricos provenientes de estaciones cercanas al área de estudio, con el fin de obtener los insumos hidrológicos necesarios para el modelamiento de avenidas torrenciales.
- Crear un modelo hidrológico en el programa HEC-HMS y un modelo hidráulico en el programa HEC-RAS que, de manera conjunta, permitan estimar las áreas potencialmente afectadas por eventos de avenida torrencial en el área de estudio.
- Realizar la cartografía a escala 1:25.000 de los niveles de amenaza por avenidas torrenciales en la cuenca de estudio, con base en los resultados obtenidos del modelo hidráulico generado.
- Elaborar una zonificación cartográfica escala 1:25.000, representado por el modelo de amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico Qda. El León, con

el propósito de proporcionar insumos técnicos para la gestión del riesgo y la planificación territorial en el municipio de San Joaquín.

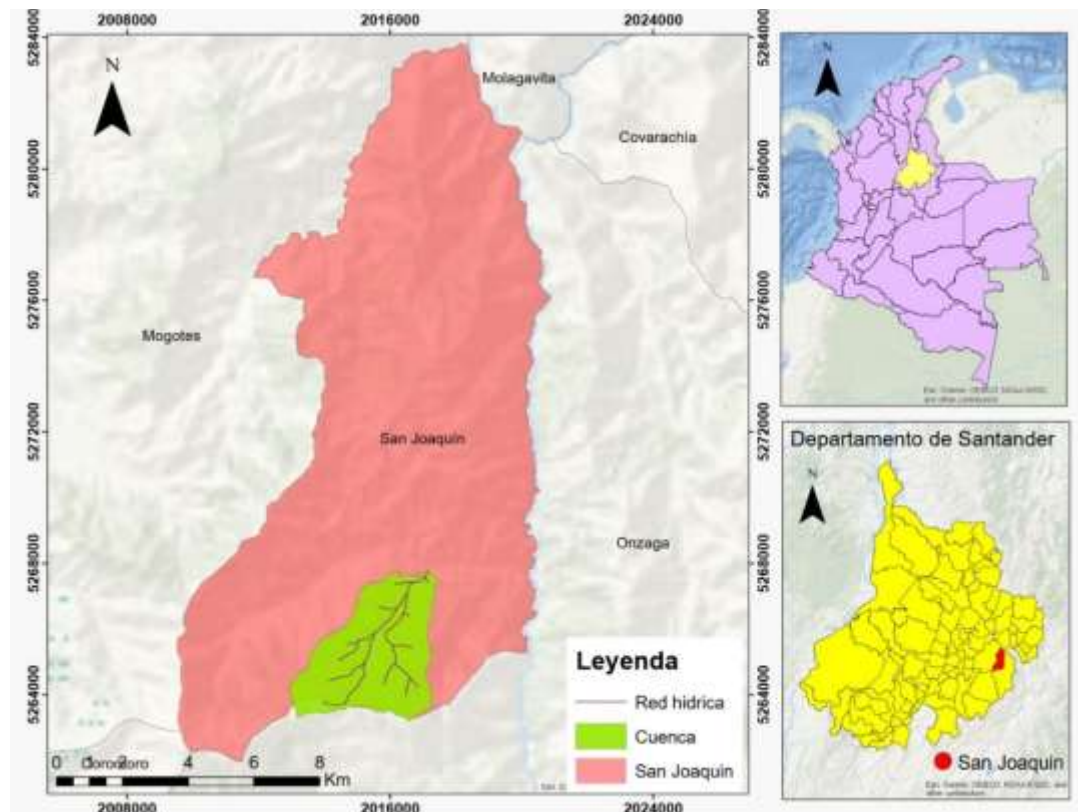
4. Marco de referencia

4.1 Localización

El municipio de San Joaquín, Santander se ubica sobre el flanco oeste de la Cordillera Oriental. El municipio comprende una extensión aproximada de 150 km² y limita al norte con el municipio de Onzaga, al oeste con el municipio de Mogotes y al oriente con Molagavita (Figura 1), el sector hidrográfico de la quebrada el León cuenta con un área de 13,21 km². La región presenta un rango de altura comprendido entre los 1800 y 3200 ms. n. m., con un relieve relativo de 1400 m, en la zona predominan pendientes mayormente escarpadas con una pendiente media del 49,31 %. Climáticamente el municipio presenta condiciones propias de clima de montaña, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C y una precipitación media anual entre 1000 y 4000 mm (IDEAM, 2026). La zona de estudio considerada en esta investigación corresponde al sector hidrográfico de la quebrada El León.

Figura 1

Localización de la cuenca hidrográfica de la quebrada el León en el municipio de San Joaquín.



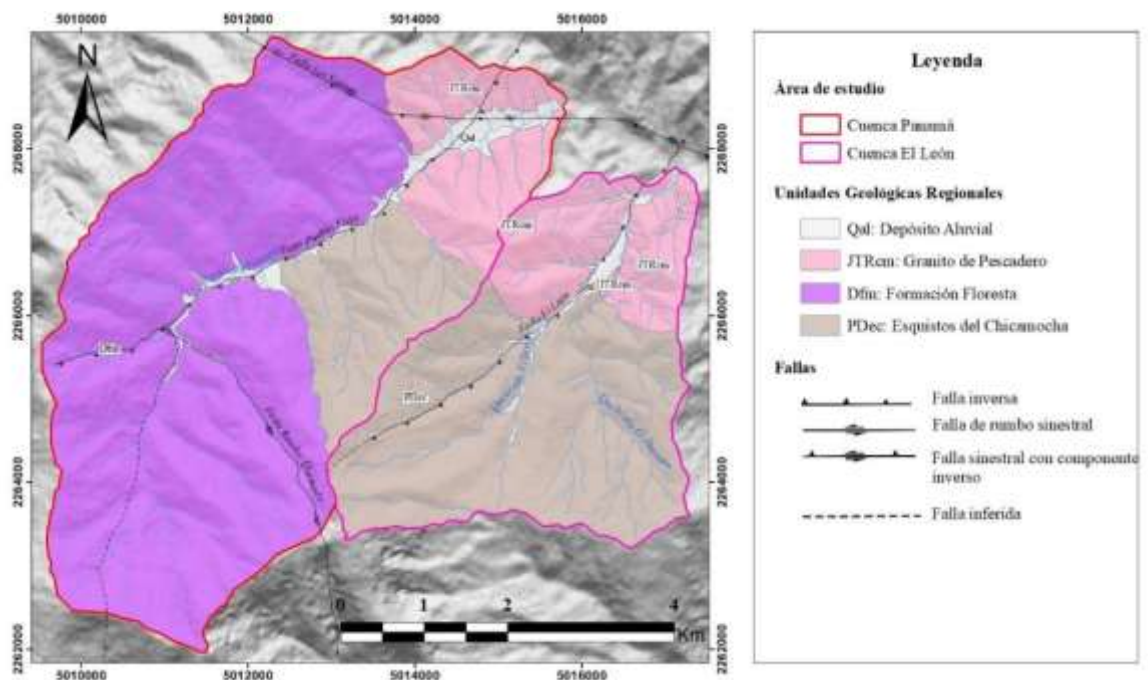
4.2 Contexto geológico

El área de estudio se ubica en el sector suroccidental del Macizo de Santander, caracterizado por el predominio de rocas metamórficas e intrusivas cuya evolución geológica comprende edades desde el Paleozoico hasta el Mesozoico (Mantilla-Figueroa, García-Ramírez, & A. Valencia, 2016). En el área afloran principalmente unidades metamórficas e intrusivas distribuidas de manera diferencial dentro del municipio, donde la Formación Floresta predomina hacia el sector occidental, los Esquistos del Chicamocha ocupan gran

parte del sector central y oriental, mientras que el Granito de Pescadero aflora principalmente hacia el norte y nororiente del municipio (Figura 2). Adicionalmente, se reconocen depósitos aluviales cuaternarios localizados sobre fondos de valle y cauces principales (Ward, 1973). Las unidades geológicas aflorantes en el municipio de San Joaquín se describen a continuación:

Figura 2

Mapa de la geología regional a escala 1:25.000 del área de estudio.



Nota: Tomado de (Hernández & Navas, 2026).

Formación Floresta (Dfm): Las litologías observadas de esta formación en la zona de estudio corresponden a metareniscas, metaconglomerados, filitas y cuarcitas. Las metareniscas y los metaconglomerados se caracterizan por la presencia de cuarzo Jaspe. Las

filitas están compuestas por moscovita y cuarzo, mientras que las cuarcitas, de manera muy localizada.

Granito de Pescadero (JTRcm): El Granito de Pescadero corresponde a un cuerpo ígneo compuesto principalmente por sienogranitos, monzogranitos y granodioritas, mineralógicamente caracterizados por cuarzo, feldespatos (plagioclasa y feldespato potásico) y biotita, con presencia subordinada de moscovita. Las dataciones radiométricas indican que esta unidad se emplazó durante el periodo Jurásico temprano (199 - 193 Ma) (Mantilla-Figueroa, García-Ramírez, & A. Valencia, 2016).

Esquistos del Chicamocha (PDec): Anteriormente esta unidad se encontraba definida dentro de la formación esquistos del silgara (Ward, 1973). Posteriormente, Mantilla (2016) propuso la separación de la Formación Silgará en tres unidades basado en dataciones U-Pb. Los Esquistos del Chicamocha corresponden a una unidad metamórfica compuesta principalmente por esquistos micáceos y cuarcitas, con predominio de cuarzo, moscovita, biotita y feldespato. Esta unidad se ha relacionado con protolitos sedimentarios y presenta edades paleozoicas con base en correlaciones regionales (Mantilla-Figueroa, García-Ramírez, & A. Valencia, 2016).

Deposito Aluvial (Qal): Corresponde a depósitos superficiales de origen aluvial y coluvial identificados en el área de estudio. Los depósitos aluviales están asociados a la dinámica de las quebradas principales y se manifiestan como acumulaciones de sedimentos que conforman abanicos aluviales y llanuras de inundación (Figura 2). Por su parte, los

depósitos coluviales consisten en acumulaciones de fragmentos rocosos y material detrítico movilizado principalmente por procesos de remoción en masa.

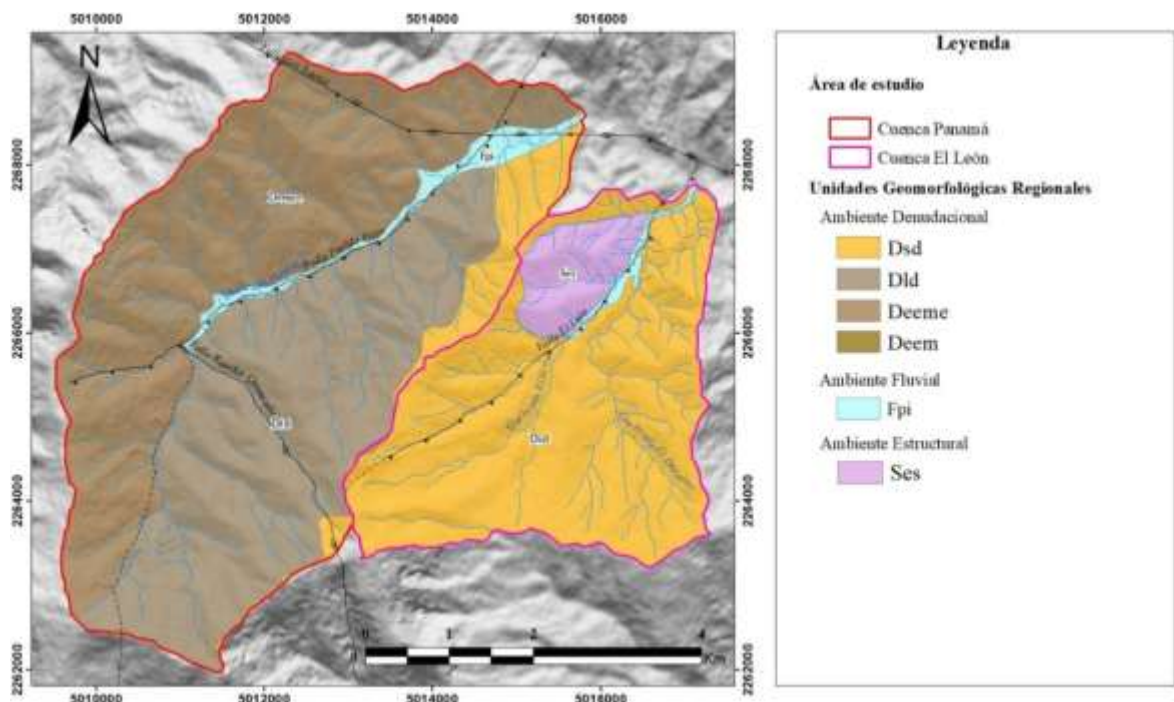
Desde el punto de vista estructural, el área de estudio se encuentra dentro de una región controlada por la interacción de los sistemas de fallas de Bucaramanga y los santos (ambas fallas presentando un rumbo NW y siendo de régimen transpresivo). Hacia el sur del macizo estas estructuras presentan ramificaciones y conexiones con las fallas de Soapaga y Boyacá, condicionando la distribución de las unidades geológicas y la configuración del relieve regional. Este control estructural ha influido en el desarrollo de la red de drenaje y en la evolución geomorfológica del área (Velandia, 2017).

Según lo descrito por Hernández y Navas (2026) en la Figura 3, la geomorfología regional de la zona está controlada principalmente por un ambiente denudacional. Representado principalmente por laderas de denudación y relieves montañosos fuertemente disectados, los cuales reflejan el dominio de procesos de meteorización, erosión hídrica y remoción en masa sobre la evolución del paisaje (Hernández & Navas, 2026). Estas condiciones favorecen la generación y movilización de material superficial hacia los cauces y ejercen un control importante sobre la dinámica sedimentaria del sector. En menor proporción se presentan geoformas del ambiente estructural, asociadas al control tectónico sobre la configuración del relieve y expresadas localmente mediante espolones y alineamientos topográficos (Hernández & Navas, 2026). Asimismo, se reconocen geoformas del ambiente fluvial restringidas a los fondos de valle y corredores de drenaje, donde predominan procesos de erosión, transporte y acumulación asociados a la dinámica de las

corrientes superficiales. En conjunto, la interacción entre estos ambientes geomorfológicos condiciona el comportamiento hidro-morfodinámico del sector hidrográfico de la quebrada El León

Figura 3

Mapa Regional de las Unidades Geomorfológicas regionales.



Nota. Tomado de (Hernández & Navas, 2026).

5. Estado del arte

A nivel internacional, la gestión del riesgo no fue considerada un tema prioritario hasta mediados del siglo XX. Antes de este periodo predominaba la percepción de que los desastres naturales ocurrían de manera aleatoria y que sus efectos eran inevitables. Sin embargo, el avance de disciplinas como la Geología y el desarrollo tecnológico permitieron

comprender que estos fenómenos pueden ser estudiados, anticipados y que sus impactos pueden reducirse mediante estrategias de prevención y mitigación. En este contexto surgieron los primeros estudios que abordaron la relación entre sociedad y peligro natural desde una perspectiva analítica. Entre ellos, destaca el trabajo de Kates (1962) quien demostró que las decisiones humanas frente a las inundaciones no dependen exclusivamente de evaluaciones técnicas del peligro, sino también de factores asociados a la percepción individual y social del riesgo. El autor estableció que la ocupación de planicies de inundación está influenciada por la experiencia previa, la información disponible y las alternativas de ajuste o mitigación frente al riesgo.

En Colombia, el estudio y la incorporación de la gestión del riesgo comenzaron a consolidarse durante la década de 1980. Uno de los antecedentes relevantes corresponde al trabajo desarrollado por Hermelin (1984), quien planteó la necesidad de realizar estudios de zonificación de amenaza en laderas y establecer criterios para la planificación y construcción considerando las condiciones de amenaza y riesgo presentes en el Valle de Aburrá. Este enfoque representó uno de los primeros aportes orientados a incorporar el conocimiento del territorio dentro de los procesos de prevención y reducción del riesgo.

En cuanto al estudio de avenidas torrenciales en el país, los primeros antecedentes se remontan a finales de la década de 1980 a partir de investigaciones desarrolladas por Flórez y Parra (1988) y Caballero y Mejía (1988), las cuales documentaron y analizaron el evento torrencial ocurrido el 14 de abril de 1988 en la quebrada La Ayurá, municipio de Envigado, (Antioquia). Estos trabajos constituyen una de las primeras aproximaciones al entendimiento del comportamiento y efectos asociados a este tipo de fenómenos en Colombia.

En el contexto de estudios sobre amenaza por avenidas torrenciales en el departamento de Santander, uno de los antecedentes identificados que aborda la zonificación de susceptibilidad de estas amenazas a escala regional fue realizado por Giral y Ruíz (2017). Este trabajo de grado se enfocó en la zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales en las cuencas de los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez, integrando análisis con SIG y modelación hidráulica para establecer áreas con alto potencial de amenaza dentro de la zona de confluencia de estas cuencas.

Para el municipio de San Joaquín, (Santander), los antecedentes específicos relacionados con la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales son limitados. Entre los documentos institucionales disponibles se encuentra el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD, 2016), el cual identifica eventos asociados a movimientos en masa, crecientes súbitas e inundaciones como algunos de los principales escenarios de riesgo del municipio y reconoce sectores susceptibles asociados a la red de drenaje local. Sin embargo, este instrumento tiene un enfoque orientado a la gestión administrativa del riesgo y no incorpora análisis cuantitativos ni modelación hidrológica e hidráulica para la delimitación espacial de la amenaza por avenidas torrenciales. De igual manera, la revisión documental realizada no permitió identificar estudios técnicos detallados para el sector hidrográfico de la quebrada El León a escalas que soporten procesos de ordenamiento territorial.

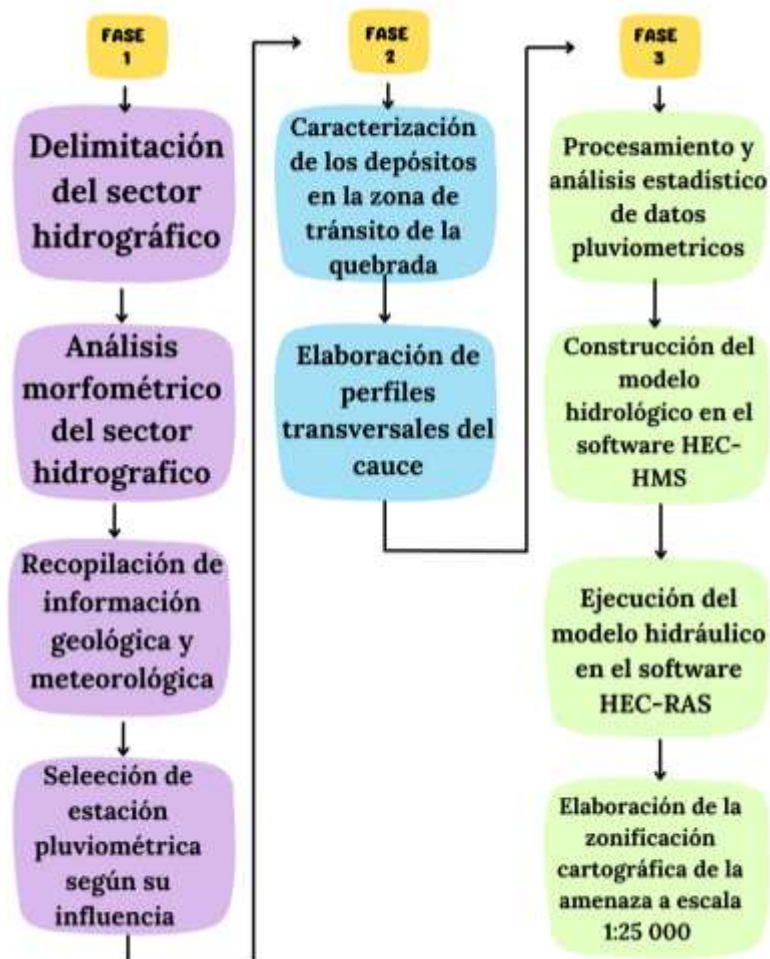
6. Metodología

La metodología se estructura en tres fases principales que comprenden desde la recopilación y análisis de información base, el trabajo de campo y la modelación hidrológica e hidráulica, hasta la zonificación final de la amenaza (Figura 4).

ETAPA 1 (Pre-Campo)

Recopilación, análisis y organización de la información base. En esta fase se realiza el reconocimiento preliminar de la zona de estudio con el fin de optimizar el trabajo en campo, identificando puntos de interés, rutas de acceso y condiciones generales de la cuenca. Asimismo, se recopila y procesa la información pluviométrica y geomorfológica necesaria para la caracterización inicial del área.

Figura 4 Diagrama de flujo que muestra el paso a paso que se estableció para el desarrollo de la metodología de trabajo.



Actividad 1: Delimitación del sector hidrográfico a partir del procesamiento de un Modelo Digital de Elevación en el programa Qgis, mediante la aplicación de herramientas SIG estipuladas por el Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas para America del Sur (Ruiz & Torres, 2008) que permiten la corrección de la topografía, la determinación de la dirección y acumulación de flujo.

Actividad 2: Análisis morfométrico de la cuenca, determinando diversos parámetros físicos de la cuenca que determinan el comportamiento del sector hidrográfico respecto a una avenida torrencial.

Actividad 2.1: Determinación de las variables morfométricas de medición directa del sector hidrográfico mediante herramientas SIG (Camino, y otros, 2018) .

A: Cálculo de Perímetro. Representa la longitud de la línea que limita la cuenca (divisoria de aguas) subactividades.

B: Cálculo de longitud axial. Determina la longitud de la línea que conecta los puntos extremos de la cuenca de manera subparalela al cause principal (Camino, y otros, 2018).

C: Cálculo de la longitud del cauce principal. Indica la distancia desde el punto inicial del cauce principal hasta la desembocadura al final del sector hidrográfico (punto de fuga).

D: Cálculo de la longitud total de los drenajes. Es la sumatoria de la longitud de cada uno de los cauces que conforman la red hídrica.

E: Cálculo del área de la cuenca. Se clasifica la cuenca según su área siguiendo lo estipulado por Campos Aranda (Campos, 1992) (Tabla 1).

Tabla 1*Clasificación de cuencas hidrográficas según el área de drenaje.*

Rango de área	Clasificación
<25	Microcuenca
25-250	Pequeña
250-500	Intermedia Pequeña
500-2500	Intermedia Grande
2500-5000	Grande
>5000	Muy Grande

Actividad 2.2: Determinación de variables morfométricas de tipo forma, relieve y de la red de drenaje (Camino, y otros, 2018) mediante mediciones indirectas que relacionan los parámetros geométricos directos.

A: Cálculo del coeficiente de compacidad de Gravelius Relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con la misma área del sector hidrográfico (Ecuación 1).

$$Kc = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 1 Cálculo del coeficiente de compacidad de Gravelius.

Donde: Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro del sector hidrográfico

A: Area del sector hidrográfico

La clasificación de este parámetro fue propuesta por (Gaspari, y otros, 2012) y se presenta en la (Tabla 2)

Tabla 2

Clasificación de la forma de la cuenca según el coeficiente de compacidad (K_c).

K_c	Clasificación
1-1,25	Casi redonda a oval redonda
1,25-1,5	Oval redonda a oval oblonga
1,5-1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1,75	Rectangular

B: Cálculo de parámetros de relieve, tales como altura máxima, mínima y media (promedio entre la máxima y la mínima) del sector hidrográfico, desnivel absoluto, perfil topográfico del cauce principal y pendiente media. Para la clasificación de pendiente media se utilizan los valores de la Tabla 3 propuesta por Ortiz Vera (2004). Debido a que varios de los parámetros mencionados no poseen umbrales universales para su clasificación, su comportamiento fue evaluado en relación con los rangos observados en el trabajo de (Camino, y otros, 2018) donde se analizaron las características morfométricas de un total de 12 cuencas.

Tabla 3

Clasificación morfométrica del relieve con base en la pendiente media.

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediano
12-35	Accidentado

35-50	Fuerte
50-75	Muy fuerte
>75	Escarpado

C: Cálculo de índice de Melton (Camino, y otros, 2018). Es otro parámetro para evaluar la susceptibilidad de la cuenca a avenidas torrenciales se calcula mediante la Ecuación 2 y se clasifica siguiendo lo estipulado por (Wilford, Sakals, Innes, Sidle, & Bergerud, 2004) cómo se puede observar en la Tabla 4.

$$M = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 2 *Expresión matemática del índice de Melton*

Donde M= Índice de Melton

Hmax y Hmin: elevación máxima y mínima respectivamente.

A: Area del sector hidrográfico

Tabla 4

Clasificación de los procesos predominantes según el índice de Melton.

Índice de Melton	Proceso predominante
<0,3	Inundaciones convencionales
0,3-0,6	Avenidas torrenciales
>0,6	Flujos de detritos

Nota. Tomada de (Wilford, Sakals, Innes, Sidle, & Bergerud, 2004).

D: Cálculo de densidad de drenaje. Horton (1932) la define como la relación entre la longitud total de los cauces y el área del sector hidrográfico (Ecuación 3), mientras que

Fuentes Junco (2004) y Delgadillo y Páez (2008) postulan una clasificación para los valores obtenidos (Tabla 5 y Tabla 6).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Ecuación 3 *Cálculo de la densidad de drenaje (Dd) según (Horton, Drainage-basin characteristics, 1932).*

Donde Dd: Densidad de drenaje

Lt: Longitud total

A: Área

Tabla 5

Clasificación de la densidad de drenaje.

Rango	Clasificación Fuentes Junco (2004)
0,1-1,8	Baja
1,9-3,6	Moderada
3,7-5,6	Alta

Tabla 6

Clasificación de la densidad de drenaje.

Rango	Clasificación Delgadillo y Páez (2008)
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta

>3

Muy alta

E: Cálculo de Orden de drenaje. Horton (1945) plantea que la red de canales de una cuenca no es aleatoria, sino que sigue un orden jerárquico que refleja las leyes de la física y la erosión del agua sobre el relieve, a su vez determina el parámetro de relación de bifurcación, donde relaciona el número de cauces de un orden dado y el número de cursos del siguiente orden (Ecuación 4).

$$Rb = \frac{Nr_0}{Nr}$$

Ecuación 4 Cálculo de la relación de bifurcación (Rb) según (Horton, 1945).

Donde Rb : Relación de bifurcación

Nr_0 : Numero de cauces de orden base

Nr : Numero de cauces de orden inmediatamente superior

F: Cálculo de coeficiente de torrencialidad. Este parámetro relaciona el número de cauces de primer orden con el área total del sector hidrográfico como se muestra en la Ecuación 5 (Camino, y otros, 2018). Este indicador determina la erosión lineal y la capacidad de descarga. Los drenajes de primer orden son los más importantes en este análisis debido a que son los de mayor influencia en la generación de flujos torrenciales por su génesis erosiva (Busnelli & Horta, 2014) cómo se citó en (Camino, y otros, 2018).

$$Ct = \frac{\text{Drenajes de orden 1}}{A}$$

Ecuación 5 Cálculo del coeficiente de torrencialidad (Ct).

Actividad 3: Recopilación de información geológica y meteorológica de fuentes oficiales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (<https://www.igac.gov.co/>), el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) (<https://simma.sgc.gov.co/>), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (<https://www.ideam.gov.co/>) y el servicio Geológico Colombiano (SGC) (<https://www.sgc.gov.co/>).

Actividad 4: Selección de estaciones pluviométricas y áreas de influencia considerando su proximidad y posible influencia sobre el área de estudio. Con el fin de evaluar la representatividad espacial de estas estaciones sobre el sector hidrográfico de la quebrada El León, se aplicó el método de polígonos de Thiessen, técnica ampliamente utilizada para estimar la precipitación media del área de una cuenca hidrográfica a partir de registros puntuales de estaciones pluviométricas. Este procedimiento consiste en delimitar áreas de influencia para cada estación mediante la construcción de polígonos generados a partir de las mediatrices entre estaciones vecinas, asumiendo que la precipitación registrada en una estación es representativa de toda el área comprendida dentro de su respectivo polígono de influencia (Thiessen, 1911).

ETAPA 2 (Campo)

Verificación y ajuste en campo. En esta fase se realiza la validación y complementación de la información obtenida en la etapa anterior mediante trabajo directo en

el cauce de la quebrada El León. Se desarrollan actividades de caracterización geomorfológica, levantamiento topográfico y recopilación de información histórica local.

Actividad 5: Caracterización de los depósitos presentes en la zona de tránsito de la quebrada utilizando el formato para caracterización de avenidas torrenciales del Servicio Geológico Colombiano – Pontificia Universidad Javeriana, anexado en la guía metodológica (Servicio Geológico Colombiano, 2021).

Actividad 6: Elaboración de un perfil transversal del cauce, registrando material de depósito, profundidad y ancho del cuerpo de agua, distancia de las zonas de depósito laterales y altura de las terrazas.

ETAPA 3 (Post-campo)

Modelación hidrológica e hidráulica y zonificación de la amenaza por Avenidas torrenciales. En esta fase se realiza el análisis estadístico de la información pluviométrica, la generación de insumos (curva número, rugosidad de Manning, mapa de pendientes) para la construcción de los modelos hidrológicos e hidráulicos y la zonificación cartográfica de la amenaza por avenidas torrenciales.

Actividad 7: Procesamiento y análisis estadístico de los datos de la estación pluviométrica de San Joaquín para obtener los hietogramas para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

Actividad 7.1: Delimitación del área de influencia de las estaciones pluviométricos cercanas a la cuenca hidrográfica, determinada bajo el método de polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911).

Actividad 7.2: Estimación de datos faltantes aplicando regresión lineal ponderada basado en la distancia entre estaciones meteorológicas y la disponibilidad simultánea de registros, permitiendo estimar valores faltantes y homogenizar las series de precipitación (Herrera, Campos, & Carillo, 2017).

Actividad 7.3: Generación de curvas IDF con base en los registros históricos de precipitación máxima anual. Se determinaron las intensidades de lluvia correspondientes a diferentes duraciones y períodos de retorno mediante la aplicación de la Ecuación 6 propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998). Los resultados obtenidos permitieron definir Los hietogramas empleadas posteriormente en el modelamiento hidrológico de la cuenca.

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

Ecuación 6 *Expresión utilizada para la estimación de intensidades de precipitación asociadas a diferentes duraciones y períodos de retorno para la generación de curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF).*

Donde i: Intensidad de precipitación en milímetros por hora (mm/h), T: periodo de retorno en años, M: precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual, t: duración de la lluvia, en minutos (min), a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos

parámetros fueron regionalizados por (Vargas & Granados, 1998) cómo se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7

Parámetros regionalizados de ajuste (a, b, c y d) para la estimación de intensidades de precipitación mediante curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) en Colombia.

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

Nota. Tomada de (Vargas & Granados, 1998).

Actividad 7.4: Generación de hietogramas por cada periodo de retorno bajo el método de bloques alternos con el fin de representar la distribución de la intensidad de la lluvia durante una tormenta de 360 minutos (Chow, Maidment, Mays, & Saldarriaga, 1994).

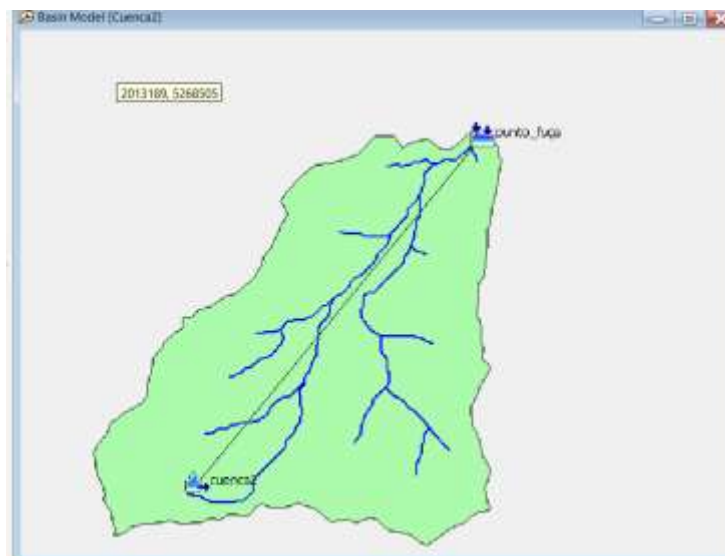
Actividad 8: Construcción del modelo hidrológico en HEC-HMS basado en la caracterización de las precipitaciones y la definición de los elementos geométricos de la cuenca (Valencia & Martínez, 2024).

Actividad 8.1: Creación del proyecto y geometría de la cuenca (Figura 5), indicando la dirección del flujo e incorporando el punto de fuga aguas abajo. Debido a que HEC-HMS requiere la definición de al menos una subcuenca para la construcción del modelo hidrológico

y que el área hidrográfica de San Joaquín es muy pequeña para subdividirse, se genera una única subcuenca que representa el área total de la cuenca original.

Figura 5

Representación esquemática de la cuenca hidrográfica dentro del entorno de modelación HEC-HMS.



Actividad 8.2: Estimación de pérdidas utilizando el método SCS Curve Number (CN) El número de curva se determina a partir de información de cobertura y uso del suelo de la cuenca (Autoridad Nacional del Agua, 2015) recopilados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en la actividad 1.1.

El Número de Curva (CN) es un parámetro hidrológico desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS), que permite estimar la proporción de precipitación que se transforma en escorrentía superficial dentro de una cuenca hidrográfica. Este método se

fundamenta en relaciones empíricas obtenidas a partir del análisis de numerosas cuencas experimentales y considera factores como el tipo de suelo, el uso y cobertura de la tierra, las condiciones hidrológicas y la humedad antecedente del terreno (Soil Conservation Service, 1986).

Actividad 8.3: Transformación de lluvia a escorrentía realizada mediante el método SCS Unit Hydrograph (Soil Conservation Service, 1986). El tiempo de concentración (T_c) se estima mediante diversas fórmulas reportadas en la literatura (Tabla 8), sin embargo, al utilizar el valor promedio de los tiempos de concentración obtenidos, los hidrogramas generados presentaron caudales picos considerablemente menores, lo que podría conducir a una subestimación del evento.

Con el fin de adoptar un enfoque conservador para la evaluación hidrológica y la posterior modelación hidráulica, se seleccionó la ecuación de Kirpich como método de cálculo del tiempo de concentración. Esta ecuación produjo los menores tiempos de concentración y en consecuencia, los mayores caudales pico. Finalmente, el tiempo de retardo (Lag Time) se determina a partir de relaciones empíricas descritas en el manual Army Corps of Engineers (U.S. Army Corps of Engineers, 2026).

Tabla 8*Métodos utilizados para el cálculo de Tiempo de concentración.*

Método	Formula	Autor
SCS–Ranser	$Tc = 0,97 * k^{0,385}$ Donde $k = \frac{L^3}{H}$	(Soil Conservation Service, 1986)
California Culvert Practice	$Tc = 0,87 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	(California Department of Public Works, Division of Highways, 1955)
Temez	$Tc = 0,3 \left(\frac{L}{S_0} \right)^{0,76}$	(Témez, 1978)
Kirpich	$Tc = 0,066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$	(Kirpich, 1940)
Giandotti	$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3\sqrt{LS}}$	(Giandotti, 1934)
V.T. Chow	$Tc = 0,8773 \left(\frac{L^{1,5}}{\sqrt{CM - Cmc}} \right)^{0,76}$	(Chow, Maidment, Mays, & Saldarriaga, 1994)
Ventura–Heron	$Tc = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$	(Henderson & Wooding, 1964)
Passini	$Tc = 0,108 \left(\frac{AL}{\sqrt{S}} \right)^{1/3}$	(Salimi, Nohegar, Malekian, Hoseini, & Holisaz, 2017)

Actividad 9: Generación de un modelo hidráulico en el programa HEC-RAS para obtener las Isobatas e Isotacas para cada uno de los periodos de retorno siguiendo lo estipulado en el manual de usuario de HEC-RAS (2026).

Actividad 9.1: Implementación del terreno (MDE), esencial para generar la superficie topográfica base en el programa, y elementos geométricos de la simulación como

el cauce y los perfiles transversales, indispensables en el cálculo de los perfiles hidráulicos que, al ser interpolados, conforman el modelo final de inundación.

Actividad 9.2: Creación de la capa de rugosidad de Manning mediante la asignación de coeficientes de rugosidad a las diferentes coberturas y usos del suelo presentes en el mapa recopilado en la Actividad 1.1, utilizando los valores establecidos en el Manual del Usuario de HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center., 2016).

El coeficiente de rugosidad de Manning (n) es un parámetro hidráulico que representa la resistencia que ofrece el terreno al movimiento del agua. Este coeficiente integra los efectos de las características físicas, tales como la granulometría del lecho, la presencia de bloques, la vegetación, las irregularidades del cauce, la sinuosidad y la existencia de obstáculos naturales o antrópicos. En consecuencia, el valor de n influye directamente en la velocidad del flujo y en la capacidad de transporte de sedimentos dentro del sistema fluvial (Chow V. T., 1959).

Actividad 9.3: Caracterizar el régimen hidráulico a lo largo de la quebrada, empleando el Número de Froude (Fr) como parámetro adimensional de control para definir la respuesta del flujo frente a perturbaciones gravitacionales. Siguiendo los criterios de Chow et al. (1994). El estado del fluido se clasificó en subcrítico ($Fr < 1$), crítico ($Fr = 1$) y supercrítico ($Fr > 1$).

Actividad 9.4: Incorporación de los hidrogramas por cada período de retorno y ejecución del modelo hidráulico, obteniendo como resultado la distribución de las profundidades y velocidades del flujo.

Actividad 10: Elaboración de la zonificación cartográfica de la amenaza a escala 1:25 000 con base en los resultados de los modelos hidrológico e hidráulico (Servicio Geológico Colombiano, 2021) generando un insumo técnico para la gestión del riesgo y el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de San Joaquín.

Actividad 10.1: Exportación de los datos de profundidad de inundación y velocidad del flujo de Ras mapper a ArcGis. Para que el archivo sea exportado con el mayor detalle posible, debe hacerse en formato shapefile de línea y posteriormente ser convertido a Ráster con la herramienta “Topo to Ráster”.

Actividad 10.2: Reclasificación de los Ráster mediante los parámetros estipulados para amenaza baja, media y alta (Tabla 9) por la Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación del IDEAM (2017).

Tabla 9

Criterios de clasificación de la amenaza por inundación según los valores de profundidad, velocidad del flujo y pendiente, empleados para la reclasificación de los ráster en categorías de amenaza baja, media y alta, de acuerdo con la Guía metodológica.

Ráster	Baja	Media	Alta
Profundidad (m)	<0,5	0,5-1,5	>1,5
Velocidad (m/s)	<1	1-3	>3
Pendiente (°)	<10	10-30	>30

Actividad 10.3: Asignación de peso relativo de las variables que moldean la simulación. La profundidad, la velocidad y la pendiente son los principales factores que moldean un evento fluviotorrencial (Ecuación 7), pero la influencia de ellos no es la misma,

debido a esto se hace uso de la ecuación que estipula la relevancia de cada uno de los Raster al momento de realizar el Algebra de mapas que tiene como fin obtener un Raster unificado de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales.

$$\text{Ráster unificado} = \text{Profundidad} * 0,4 + \text{Velocidad} * 0,5 + \text{Pendiente} * 0,1$$

Ecuación 7 Operación de rasters según su influencia en un evento torrencial.

7. Resultados

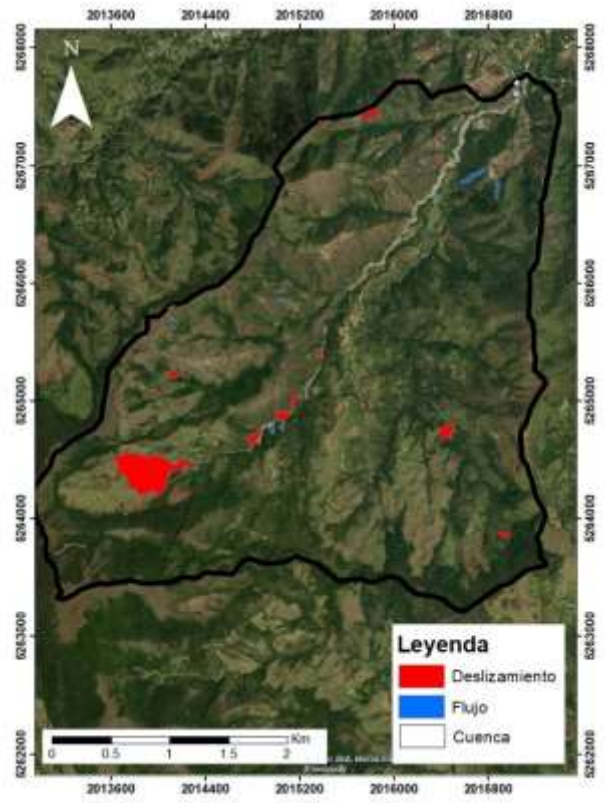
7.1 Base de datos recolectada

El inventario de movimientos en masa empleado en esta investigación se realizó siguiendo los lineamientos metodológicos del Servicio Geológico Colombiano. se extrajeron siete eventos tipo deslizamiento, correspondientes a cinco eventos de catálogo y dos de inventario, todos con precisión temporal de día. Adicionalmente, se incorporaron reportes históricos documentados en medios de prensa regionales como Vanguardia. Este análisis fue desarrollado con apoyo del proyecto “*Evaluación de los procesos de inestabilidad de laderas en las cuencas hidrográficas Panamá y El León en el municipio de San Joaquín, Santander, mediante la relación con parámetros morfométricos y morfoestructurales*” (Quiroga Blanco, 2025), así como del estudio realizado por Patarroyo y Roa (2026) titulado “*Estudio de la amenaza por movimientos en masa aplicando el método estadístico bivariado a escala 1:25.000 en una región del municipio de San Joaquín, Santander*”, se diligenciaron un total de 161 formatos, correspondientes a 156 movimientos en masa de catálogo y 5 de inventario.

Como resultado del inventario final se identificaron 80 movimientos en masa, distribuidos en 6 flujos (7,5 %) y 74 deslizamientos (92,5 %), los movimientos en masa correspondientes al sector hidrográfico de la quebrada El León se pueden apreciar en la Figura 6. La distribución espacial de los movimientos en masa evidencia una concentración de eventos asociados al sistema de drenaje principal, lo que sugiere una interacción directa entre los procesos de ladera y la dinámica fluvial dentro de la cuenca. Destaca particularmente la presencia de un deslizamiento de gran extensión localizado en la parte alta del sector hidrográfico, cuya posición favorece el aporte directo de material hacia el cauce principal de la quebrada El León. Este comportamiento resulta relevante para la generación de avenidas torrenciales, ya que la disponibilidad de sedimentos en sectores conectados con el drenaje incrementa el potencial de incorporación de material sólido durante eventos de precipitación intensa.

Figura 6

Mapa de inventario de movimientos en masa identificados dentro del sector hidrográfico de la quebrada El León.



7.2 Análisis morfométrico del sector hidrográfico

Las variables morfométricas de medición directa obtenidas mediante herramientas SIG se presentan en la Tabla 10. Estos parámetros geométricos, al relacionarse entre sí, muestran la tendencia de la respuesta de la cuenca a las avenidas torrenciales.

Tabla 10

Parámetros morfométricos de medición directa del sector hidrográfico obtenidos mediante herramientas SIG.

Parámetro	Valor
Perímetro	16,51 km
Longitud axial	5,09 km

Longitud del cauce principal	5,88 km
Longitud total de la red hídrica	16,21 km
Área	13,21 km ²

Según lo descrito por Campos Aranda (1992) en la Tabla 1, el sector hidrográfico de la quebrada El León corresponde a una microcuenca, ya que su área es menor a 25 km². Este resultado es el esperado, puesto que las cuencas de mayor envergadura son las que delimitan las redes de drenaje principales como las de un río, abarcando una mayor superficie y número de cauces.

Los parámetros de relieve presentados en la Tabla 11 y el perfil topográfico del cauce (Figura 7), modelan de forma importante la respuesta de la cuenca a las precipitaciones principalmente en términos de tiempo de concentración, velocidad del flujo y energía potencial.

Tabla 11

Parámetros de relieve del sector hidrográfico.

Parámetro	Valor
Altura máxima	3314 msnm
Altura mínima	1878 msnm
Altura media	2596 msnm
Desnivel absoluto	1436 m
Pendiente media	49,18 %

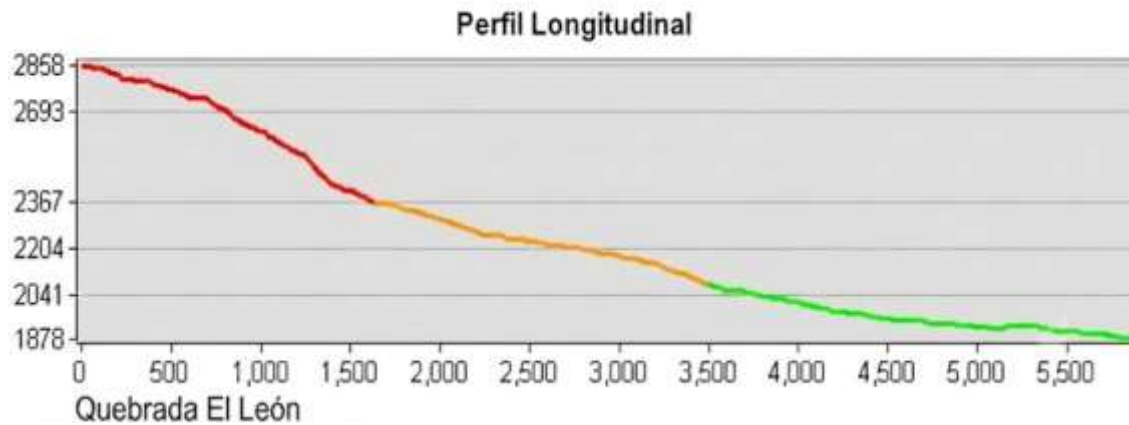
Comparado con las cuencas analizadas por Camino (2018) , el desnivel absoluto y la pendiente media del sector hidrográfico de la quebrada El León son mayores, un desnivel de

tal magnitud en una microcuenca representa una capacidad torrencial importante. La pendiente media según Ortiz Vera (2004) está en el límite de relieve fuerte a muy fuerte, en cuencas con pendientes tan altas la infiltración de agua disminuye y predomina la escorrentía superficial, lo que favorece a la generación de avenidas torrenciales.

El perfil longitudinal (Figura 7), se divide en tres tramos (Rojo, naranja y verde) con diferentes comportamientos en cuanto a sus cambios topográficos se refiere. El primer tramo (0 a 1500 m) es la zona de mayor pendiente (32,73 %) y es donde el cauce posee la máxima energía; en el segundo tramo entre 1500 a 3500 m el perfil empieza a suavizarse (pendiente de 16,3%) y el cauce mantiene energía suficiente para mantener el material en movimiento; el último tramo (3500-5880) es el sector más plano con una pendiente de 6,84 %, donde el cauce pierde capacidad de carga y empieza a depositar el material. El comportamiento del cauce descrito en el análisis del perfil es fiel a lo observado en campo, donde se identificó una extensa zona de depósito en el tramo final del cauce, una pendiente baja y un ensanchamiento importante del valle.

Figura 7

Perfil longitudinal en metros del cauce principal de la Quebrada El León

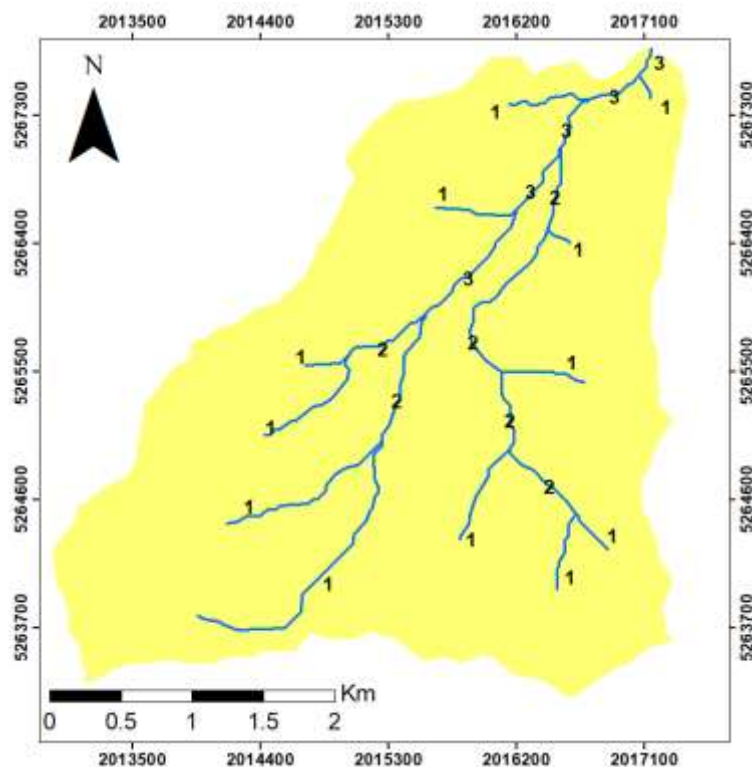


Respecto a los parámetros de tipo forma, el Coeficiente de compacidad de Gravelius de la quebrada El León es de 1,281, por lo que según Gaspari (2012) clasifica como un sector hidrográfico de forma oval redonda a oval oblonga, Según Camino (2018) *“un índice de compacidad cercano al valor 1 indica que la forma de la cuenca se asemeja a un círculo; por lo tanto, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central”*.

En la jerarquización de la red hídrica se identificaron doce canales de primer orden, tres de segundo orden y uno de tercer orden (Figura 8) teniendo en cuenta estos datos se calcularon 4 parámetros morfométricos cuyos valores se presentan en la Tabla 12.

Figura 8

Red de drenaje jerarquizada por órdenes dentro del sector hidrográfico.

**Tabla 12**

Parámetros morfométricos de la red de drenaje del sector hidrográfico.

Parámetro	Valor
Índice de Melton (Kain, Rigby, & Mazengarb, 2018).	0,395
densidad de drenaje (Horton, 1932).	1,23 km/km ²
Relación de bifurcación (Horton, 1945).	4,0
Coefficiente de torrencialidad (Camino, y otros, 2018)	0,91 drenajes/ km ²

Según lo anterior, el sector hidrográfico de la quebrada El León clasifica como una microcuenca de forma oval redonda a oval oblonga que, por su morfometría, tiene un potencial de torrencialidad importante. El desnivel absoluto (1436 m) comparado con la

longitud del cauce (5,88 Km) genera una respuesta rápida a la precipitación, evidenciada en el bajo tiempo de concentración (26,4 minutos). Mientras que los doce canales de primer orden son de gran importancia, ya que transportan de manera rápida y eficaz el agua proveniente de las precipitaciones hacia el cauce principal de tercer orden. Por otra parte, la pendiente media de 49,18% reduce la infiltración del agua en las laderas, favoreciendo la escorrentía superficial y reduciendo el tiempo de viaje del agua desde la parte alta del sector hidrográfico hasta alguno de los cauces que conforman la red de drenaje.

7.3 Caracterización de la precipitación

Los resultados obtenidos (Figura 9) muestran que la totalidad de la cuenca se encuentra contenida dentro del polígono de influencia correspondiente a la estación San Joaquín [24030200], indicando que esta posee la mayor representatividad espacial para caracterizar las condiciones de precipitación del área de estudio. Por tal razón, para la presente investigación se utilizaron los registros pluviométricos de dicha estación en los análisis hidrológicos posteriores, reduciendo las incertidumbres asociadas a la extrapolación de datos provenientes de estaciones más alejadas o con menor influencia sobre el área de drenaje analizada.

Con el propósito de construir una serie temporal confiable para el modelamiento hidrológico, se descargaron los registros diarios de precipitación correspondientes al periodo 1979 – 2025, obteniendo una ventana de análisis de 46 años. Como primera etapa del procesamiento, se evaluó la calidad y completitud de las series pluviométricas, estableciendo como criterio de aceptación un porcentaje máximo de datos faltantes inferior al 10 %,

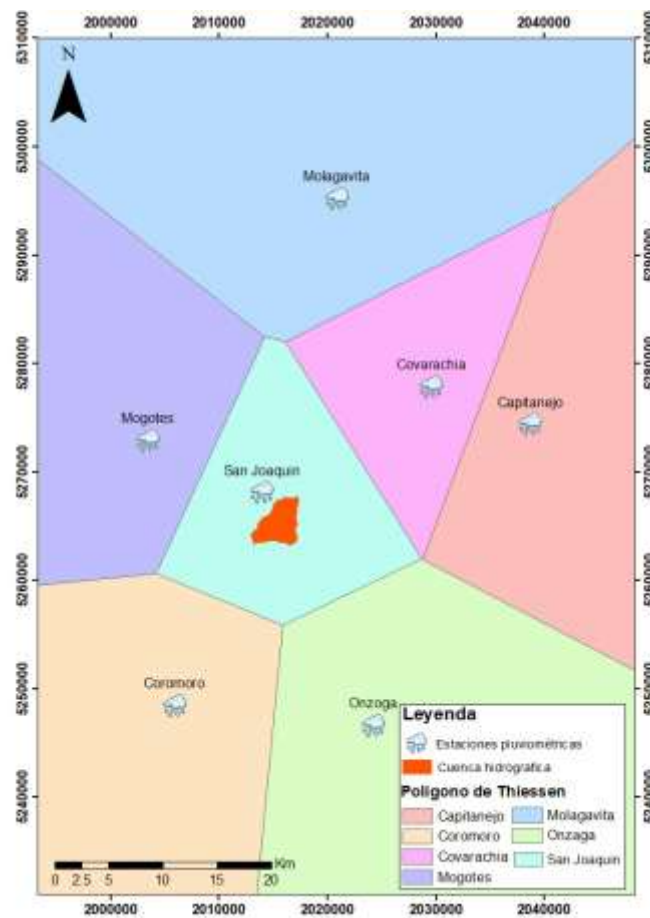
siguiendo las recomendaciones metodológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2026).

La estación no presentaba registros continuos, fue necesario implementar un procedimiento de relleno de datos mediante regresión lineal ponderada basada en la distancia entre estaciones meteorológicas y la disponibilidad simultánea de registros. Este proceso permitió estimar los valores faltantes y obtener una serie continua y homogenizada de precipitación para la estación San Joaquín, utilizada posteriormente en los análisis hidrológicos e hidráulicos.

Con las series ajustadas y completadas, se evaluó el comportamiento espacial y temporal de la precipitación mediante la organización de la información en dos ventanas temporales equivalentes, permitiendo comparar las condiciones registradas antes y después del año 2001. A partir de esta división se analizaron cambios en la ocurrencia de eventos de lluvia moderada a intensa, la precipitación acumulada y las variaciones en los valores máximos registrados. De manera complementaria, se realizó una revisión estadística orientada a verificar la estabilidad y representatividad hidrológica de las series mediante el análisis de cambios en la media, dispersión y detección de posibles valores atípicos.

Figura 9

Mapa de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca hidrográfica de la quebrada El León, obtenido mediante el método de polígonos de Thiessen.



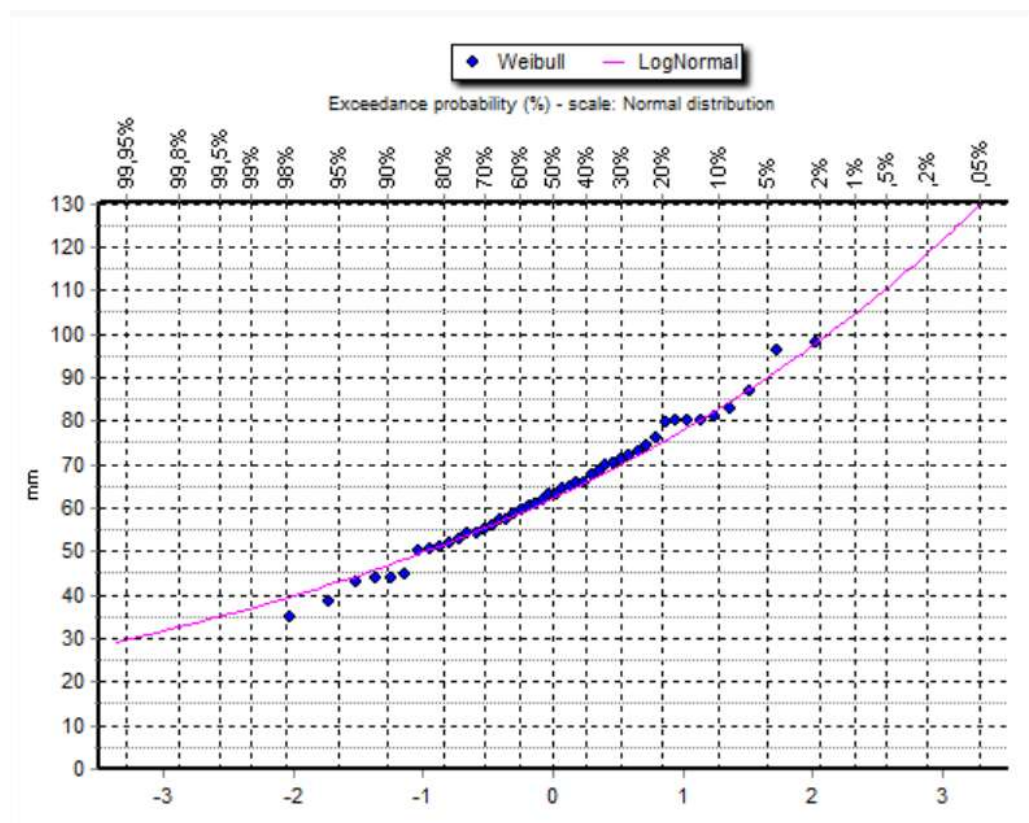
7.4 Hidrología

Para la caracterización de estos eventos se trabajó con el registro de lluvias (Apéndice B), a este fue necesario realizarles una caracterización probabilística a los datos en base a las

distribuciones que mejor se ajustaran a los datos (Figura 10) esto se realizó utilizando el programa “Hidrognomon 4” y el registro de lluvia de la estación “San Joaquín”.

Figura 10

Distribución de los datos de la estación San Joaquín con relación a la distribución estadística Log-Normal.



Asimismo, se evaluaron las demás distribuciones estadísticas como Gumbel, Log Pearson tipo III, Normal (L-Moments) entre otras. Mediante una prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado, con un nivel de significancia del 5 % (Tabla 13), se determinó que la distribución Log-normal es la que mejor se ajusta a los datos registrados. Es por esto, que

esta distribución se utilizó para la estimación de las precipitaciones máximas en los diferentes períodos de retorno.

El análisis probabilístico de la serie de precipitaciones máximas registradas en la estación San Joaquín permitió identificar la distribución estadística que mejor representa el

comportamiento de los datos. De acuerdo con la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado (X^2), varias distribuciones presentaron resultados aceptables al nivel de significancia evaluado (5%); sin embargo, se seleccionó la distribución Log-Normal debido a que presentó uno de los mayores niveles de ajuste (Attained $\alpha = 93,30\%$) junto con un parámetro de Pearson menor a las demás distribuciones analizadas, El procedimiento y los resultados detallados del análisis estadístico se presentan en el Apéndice C.

Tabla 13

Resultados de la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado (X^2) para la evaluación de distribuciones de probabilidad aplicadas a los datos analizados.

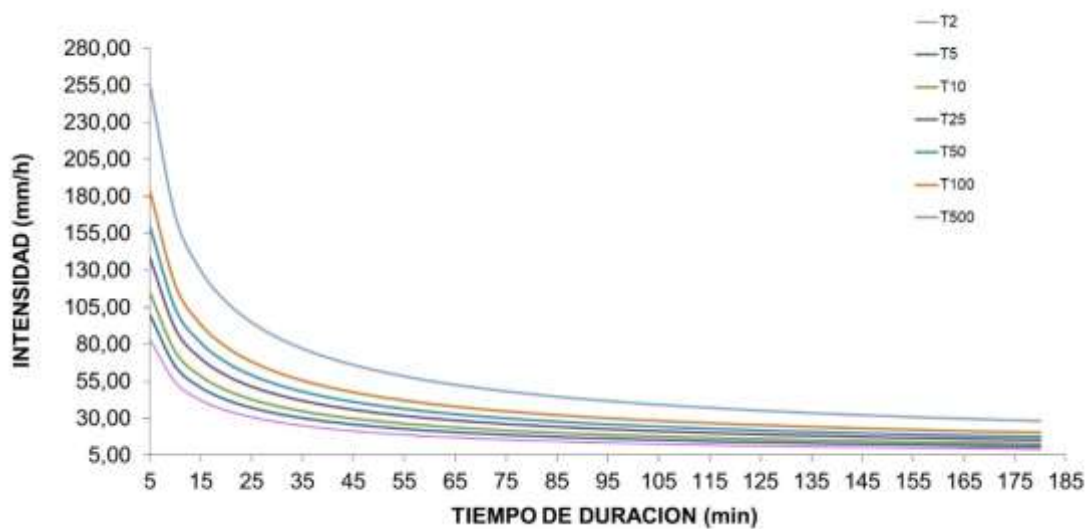
Prueba X-Square	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	Pearson Param.
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,14%	2,52174
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,14%	2,52174
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93,30%	0,43478
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12,98%	5,65217
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38,50%	3,04348
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81,18%	0,95652
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	70,62%	0,69565

EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81,18%	0,95652
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	22,63%	4,34783
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25,22%	4,08696
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38,50%	3,04348
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28,34%	2,52174
GEV-Max (L- Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
GEV-Min (L- Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47,75%	1,47826
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93,30%	0,45478

A partir de la distribución seleccionada se estimaron las precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno y posteriormente se construyeron las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF). Para la construcción de las curvas IDF se aplicó la metodología propuesta por Días Granados (1988), debido a que esta fue desarrollada considerando condiciones hidrometeorológicas representativas de la región andina. Como se observa en la Figura 11, las curvas presentan el comportamiento hidrológico esperado, donde las intensidades aumentan conforme incrementa el periodo de retorno, indicando que los eventos menos frecuentes (asociados a mayor tiempo de retorno) se asocian con lluvias de mayor magnitud.

Figura 11

Grafica de las curvas IDF para los diferentes periodos de retorno analizados.



Finalmente, a partir de las precipitaciones estimadas para los diferentes periodos de retorno, se construyeron los hietogramas de precipitación de diseño (Apéndice E) mediante el método de bloques alternos, con el fin de representar la distribución temporal de la lluvia dentro de cada escenario de análisis. Estos hietogramas permiten definir no solo la magnitud total de la precipitación, sino también la forma en que esta se concentra a lo largo del tiempo, condición que influye directamente en la respuesta hidrológica de la cuenca.

La generación de lluvias de diseño para distintos periodos de retorno permitió establecer escenarios con diferentes niveles de exigencia hidrológica, donde eventos menos frecuentes se asocian con mayores intensidades de precipitación y, en consecuencia, con una mayor capacidad de generar escorrentía superficial. Estos hietogramas constituyen el dato de entrada para la modelación en HEC-HMS, a partir de la cual se evalúa la transformación lluvia-escorrentía y se obtiene la respuesta de la cuenca bajo cada escenario analizado.

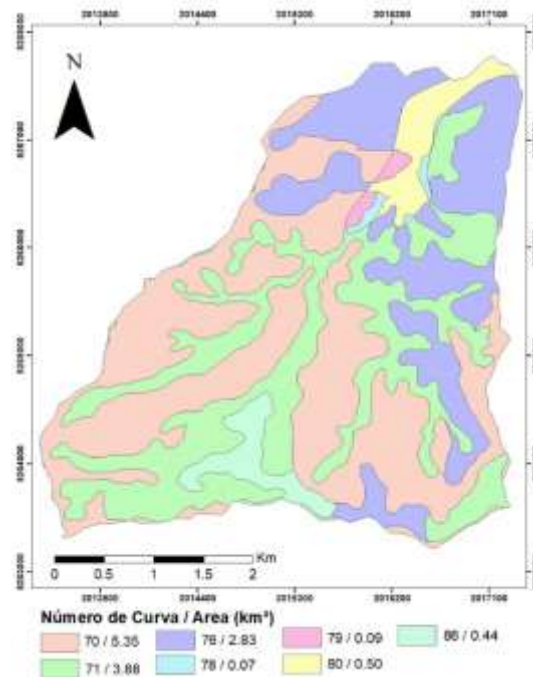
7.5. Insumos necesarios para la modelación hidrológica e hidráulica

En este apartado se presentan los insumos secundarios necesarios para la elaboración del modelo hidrológico y el modelo hidráulico.

El análisis espacial del Número de Curva (CN) representado en la Figura 12, muestra valores comprendidos entre 70 y 86, con predominio de las clases CN 70 y CN 71, las cuales representan aproximadamente el 70 % de la superficie de la cuenca. El valor ponderado obtenido fue de 72,7, indicando una capacidad de infiltración moderada y una respuesta hidrológica susceptible a la generación de escorrentía superficial durante eventos de precipitación intensa.

Figura 12

Distribución espacial del Número de Curva (CN) en la cuenca de la quebrada El León.

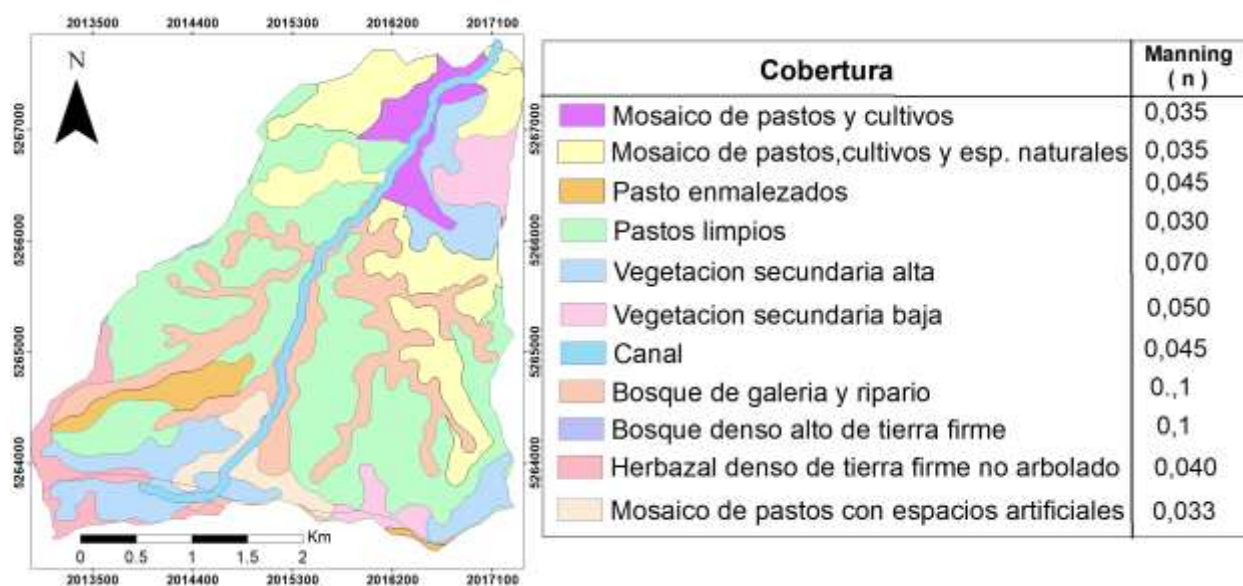


Los valores más elevados de CN se localizan principalmente en los sectores oriental y nororiental de la cuenca, donde las condiciones de cobertura y uso del suelo favorecen una menor infiltración y una generación más rápida de escorrentía. Estas áreas constituyen zonas potenciales de aporte significativo al caudal pico durante eventos extremos.

La distribución espacial de los coeficientes de rugosidad de Manning (Figura 13) evidencia una cuenca con predominio de coberturas asociadas a pastos y vegetación secundaria, las cuales presentan valores relativamente bajos a moderados de rugosidad. Los menores valores corresponden a los pastos limpios ($n = 0,030$) y a los mosaicos de pastos con espacios artificiales ($n = 0,033$), coberturas que favorecen una menor resistencia al flujo superficial y permiten velocidades relativamente elevadas durante eventos de precipitación intensa.

Figura 13

Distribución espacial de los coeficientes de rugosidad de Manning (n) en la cuenca de la quebrada El León.



Por otra parte, las zonas con mayor rugosidad están asociadas a los bosques de galería y riparios ($n = 0,100$) y a los bosques densos altos de tierra firme ($n = 0,100$), localizados principalmente a lo largo de algunos corredores de drenaje. Estas coberturas incrementan significativamente la resistencia hidráulica debido a la presencia de árboles, raíces, troncos, hojarasca y una mayor complejidad estructural de la vegetación, contribuyendo a disminuir las velocidades del flujo y favoreciendo procesos de infiltración y retención temporal del agua.

Desde la perspectiva de la amenaza por avenidas torrenciales, los valores de rugosidad observados indican que, aunque existen áreas con coberturas capaces de disipar parcialmente la energía del flujo, gran parte de la cuenca está dominada por coberturas con valores de Manning entre 0,030 y 0,045. Estas condiciones favorecen la concentración relativamente rápida de la escorrentía hacia el cauce principal (Guy & Vernon, 1989).

La clasificación de pendientes de la cuenca de la quebrada El León (Figura 14) evidencia un predominio de relieves abruptos y disectados. Las categorías fuertemente quebrado, escarpado y muy escarpado ocupan aproximadamente el 90,5 % de la superficie total de la cuenca, mientras que las pendientes inferiores al 12 % representan una proporción reducida del área analizada.

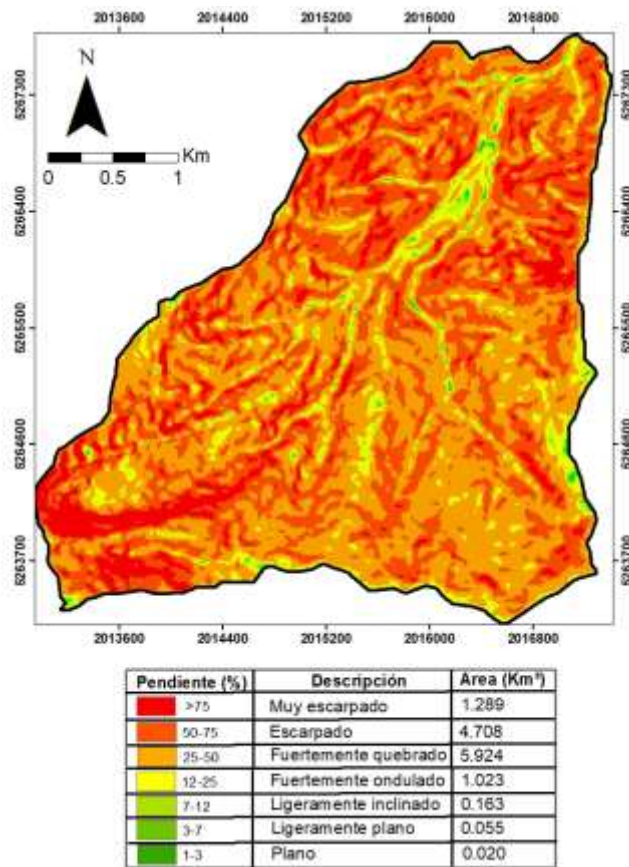
La distribución muestra que las pendientes más bajas se concentran a lo largo del cauce principal y en algunos sectores puntuales del fondo del valle, mientras que las laderas presentan inclinaciones elevadas de forma generalizada. Estas condiciones topográficas favorecen la rápida concentración de la escorrentía superficial hacia la red de drenaje, reducen los tiempos de respuesta hidrológica de la cuenca e incrementan la energía potencial disponible para los procesos de erosión y transporte de sedimentos (Servicio Geológico Colombiano, 2021).

La predominancia de pendientes superiores al 25 % sugiere una elevada capacidad de generación y propagación de flujos torrenciales, dado que las altas inclinaciones favorecen el aumento de la velocidad del flujo y la movilización de material sedimentario a lo largo de

la cuenca. En este sentido, la configuración topográfica observada constituye uno de los principales factores condicionantes de la dinámica torrencial de la quebrada El León.

Figura 14

Mapa de clasificación de pendientes del sector hidrográfico de la quebrada El León.



7.6 Modelo hidrológico

Con los insumos obtenidos anteriormente fue posible realizar una modelación hidrológica en el programa HEC-HMS donde se simuló la transformación de lluvia en

escorrentía para red hidrográfica. La simulación hidrológica permitió obtener los caudales pico para cada periodo de retorno, presentados en la Tabla 14.

Tabla 14

Valores de caudal pico en m³/s para el sector hidrográfico de la quebrada El León simulado en HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

TR	Caudal(m ³ /s)	Caudal específico (m ³ *s/km ²)
2	88,7	6,71
5	120,1	9,09
10	148,8	11,26
25	194,1	14,69
50	234	17,71
100	281	21,27

Los resultados obtenidos para la quebrada El León, evidencian una respuesta hidrológica altamente variable frente al aumento de los períodos de retorno. Los caudales máximos pasan de 88,7 m³/s para un Tr de 2 años a valores considerablemente mayores en escenarios extremos, alcanzando 281 m³/s para Tr=100 años. Este comportamiento refleja una mayor capacidad de generación de escorrentía y concentración del flujo ante eventos de precipitación más severos, característica común en cuencas de montaña con respuestas rápidas. El incremento de los caudales presenta una tendencia creciente que se intensifica especialmente entre los períodos de retorno intermedios y altos, lo que sugiere una sensibilidad importante de la cuenca frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Por otra parte, el análisis del caudal específico permite identificar cambios significativos en la dinámica hidráulica de la quebrada. Para períodos de retorno bajos ($Tr=2$ y 5 años), los valores obtenidos permanecen por debajo de $10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, lo que indica condiciones asociadas a crecientes ordinarias dentro del cauce. No obstante, desde el $Tr=10$ años, el caudal específico supera dicho umbral crítico, alcanzando $11,26 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, condición que evidencia la transición hacia un comportamiento torrencial. En los escenarios de mayor recurrencia, los valores continúan aumentando hasta superar los $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para $Tr=100$ años, lo que indica una elevada energía del flujo y una mayor capacidad de transporte de sedimentos y material detrítico. Este comportamiento coincide con los criterios propuestos por Lagna et al. (2011) y adaptados al contexto andino por Edier Aristizábal (2020), quienes relacionan valores superiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ con condiciones favorables para la ocurrencia de avenidas torrenciales y flujos de detritos en cuencas montañosas andinas, los hietogramas de diseño y los hidrogramas de escurrimiento obtenidos para cada período de retorno se presentan en el Apéndice D.

7.7 Modelo hidráulico

Este diagnóstico abarcó las 243 secciones transversales del perfil longitudinal, analizando las modificaciones en la energía del sistema desde el escenario base ($Tr = 2$ años) hasta el de diseño ($Tr = 100$ años) como se pueden observar en las Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18. La distribución resultante para el evento extremo de 100 años de periodo de retorno se expone en las secciones subsiguientes.

Los resultados obtenidos demuestran que el 95,88% de las secciones transversales evaluadas se encuentra bajo un régimen supercrítico, consolidándose como el estado dinámico predominante en la mayor parte del perfil longitudinal de la quebrada El León para el escenario de $Tr=100$ años. En este rango, se registran valores de Froude significativamente elevados que alcanzan un máximo de $Fr = 6,19$, lo cual evidencia flujos rápidos de alta energía cinemática y gran capacidad de arrastre en los sectores montañosos y de pendientes severas. Por su parte, apenas el 4,12% de las secciones se ubica en el régimen crítico, actuando de forma puntual como umbrales de transición hidráulica en zonas específicas de amortiguación donde el Número de Froude se estabiliza. el cauce no exhibe un régimen subcrítico, confirmando la ausencia de tramos de disipación completa o flujo lento ($Fr < 1,0$), lo que corrobora la naturaleza fuertemente torrencial y la alta peligrosidad por avenidas torrenciales en el sector hidrográfico analizado.

Tabla 15

Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($Tr= 2$ años).

Rango de Fr	Clasificación	Porcentaje de cauce (%)	Secciones
< 1,0	Subcrítico	0,00%	0
= 1,0	Crítico	5,35%	13
> 1,0	Supercrítico	94,65%	230

Tabla 16

Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno ($Tr= 5$ años).

Rango de Fr	Clasificación	Porcentaje de cauce (%)	Secciones
-------------	---------------	-------------------------	-----------

< 1,0	Subcrítico	0,00%	0
= 1,0	Crítico	3,70%	9
> 1,0	Supercrítico	96,30%	234

Tabla 17

Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno (Tr= 10años).

Rango de Fr	Clasificación	Porcentaje de cauce (%)	Secciones
< 1,0	Subcrítico	0,00%	0
= 1,0	Crítico	3,70%	9
> 1,0	Supercrítico	96,30%	234

Tabla 18

Caracterización del Régimen de Flujo por Periodo de Retorno (Tr= 100años).

Rango de Fr	Clasificación	Porcentaje de cauce (%)	Secciones
< 1,0	Subcrítico	0,00%	0
= 1,0	Crítico	4,12%	10
> 1,0	Supercrítico	95,88%	233

7.7.1 Isobatas e Isotacas

En la Tabla 19 se presentan los valores máximos de profundidad (isobatas) y velocidad (isotacas) obtenidos mediante la simulación hidráulica para cada periodo de retorno analizado.

Los valores de profundidad (Figura 15) muestran un incremento desde 1,99 m para Tr=2 años hasta 3,20 m para Tr=100 años, representando un aumento del 60,8%. Las

velocidades máximas varían entre 8,80 m/s y 15,30 m/s, superando ampliamente el umbral crítico de 2,0 m/s establecido por la UNGRD, para clasificar un evento como avenida torrencial de alta energía con capacidad de arrastre de bloques métricos.

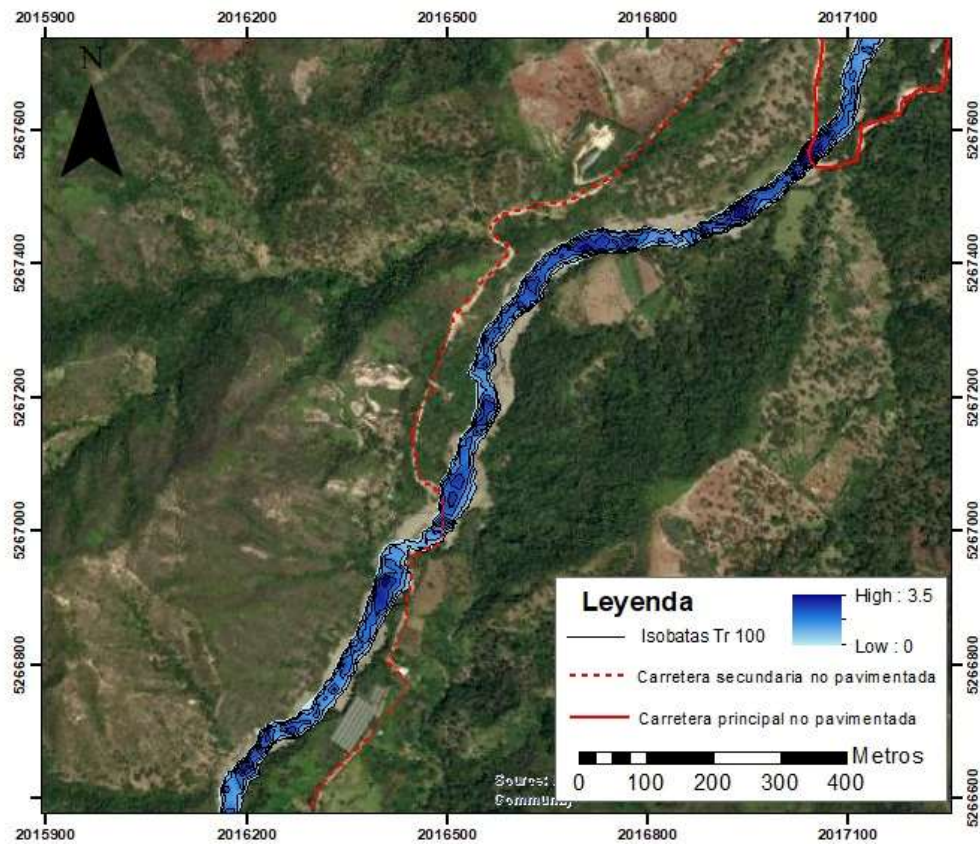
Tabla 19

Profundidades (Isobatas) y velocidades (Isotacas) máximas del flujo obtenidas en la simulación hidráulica para cada periodo de retorno.

Tr (años)	Velocidad máxima (m/s)	Profundidad máxima (m)
2	8,8	1,99
5	9,27	2,16
10	9,77	2,24
25	10,46	2,46
50	11,15	2,85
100	15,30	3,2

Figura 15

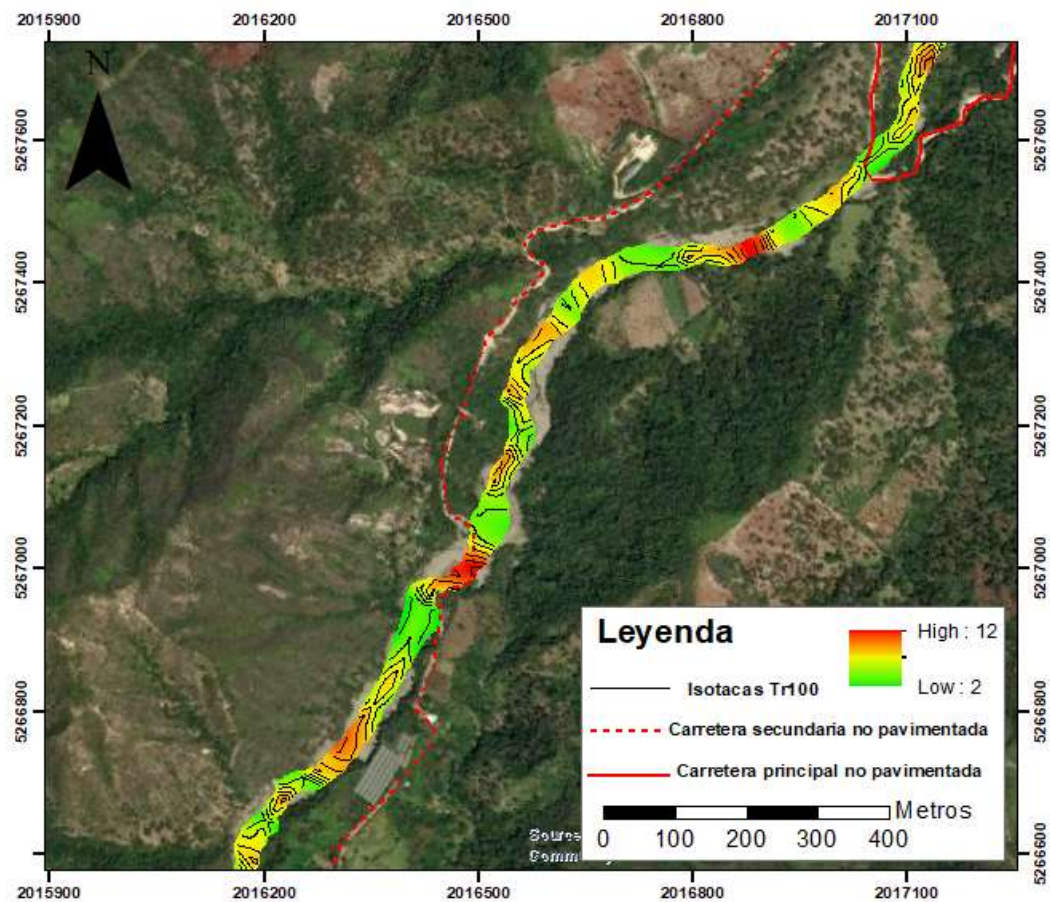
Mapa de isobatas para un periodo de retorno de 100 años.



En la Figura 16 correspondiente al mapa de Isotacas se evidencia velocidades máximas de 15,30 m/s concentradas a lo largo del canal principal de la quebrada, las zonas de desborde lateral y llanuras inundadas registran una desaceleración del flujo, con magnitudes que oscilan en rangos más bajos entre 1,0 y 4,0 m/s a medida que el agua se expande por los terrenos de las llanuras de inundación.

Figura 16

Mapa de Isotacas para un periodo de retorno de 100 años.



7.7.2 Descripción de depósitos

Depósito JA-01 (X: 2016382 m; Y: 5266845 m; Z: 1982 ms. n. m.)

Sobre la quebrada se pudo identificar un depósito registrado como JA01 (Figura 17) Se clasificó como un depósito fluviotorrencial reciente compuesto por bloques, cantos y gravas

distribuidos sobre una extensa superficie de acumulación. El depósito presenta una selección pobre, con clastos que alcanzan diámetros superiores a 1 m, características que evidencian condiciones de transporte de alta energía. Los clastos presentan formas subangulares a subredondeadas, indicando un recorrido relativamente corto desde las áreas fuente ubicadas aguas arriba (Apéndice A)

Adicionalmente, se observó la presencia de troncos de gran tamaño incorporados dentro del depósito, lo que constituye evidencia de la capacidad del flujo para movilizar material sedimentario de gran tamaño y restos vegetales. La distribución caótica de los clastos, junto con la acumulación de material vegetal y la presencia de canales de erosión recientes, sugieren que el depósito se originó durante eventos fluviotorrenciales de gran magnitud asociados a crecientes súbitas y elevados aportes de sedimentos provenientes de las laderas de la cuenca, las cuales poseen elevaciones por encima de los 15 metros con pendientes que van desde 50° hasta 83°.

Figura 17

Depósito fluviotorrencial compuesto por bloques, cantos y gravas encontradas en el margen de la quebrada El León.

**Depósito JA-02 (X: 2016326 m; Y: 5266754 m; Z: 1996 ms.n.m.)**

Depósito catalogado como JA-02, se clasificó como un depósito fluviotorrencial. Presenta una granulometría heterogénea, con clastos que alcanzan diámetros superiores a 300 mm y una selección muy mala, con una consolidación del suelo suelto/fiable. Los clastos presentan formas subangulares a subredondeadas, indicando un recorrido relativamente corto desde la fuente ubicada aguas arriba (Apéndice A).

Los clastos presentes en el depósito corresponden principalmente a rocas de origen ígneo y metamórfico, en el análisis de los clastos estos se clasificaron como muestras

correspondientes a la formación Floresta y granito de pescadero. Esto tiene relación directa con la geología que se puede observar en la zona (Figura 2)

Depósito JA-03 Depósito JA-03 (X: 2016259m; Y:5266704 m; Z:2010 ms.n.m.)

El depósito catalogado como JA-03, posee 1,3 metros de espesor, su fábrica está constituida por un 70% de armazón y 30% de matriz, equivalente a un depósito clasto soportado con orientación aleatoria. La matriz semiconsolidada está constituida por arena media a gruesa subredondeada. Los clastos, en su mayoría ígneos y metamórficos, presentan anillos de meteorización de colores ocres, forma subangular y esfericidad baja (Apéndice A).

Depósito JA-04 (X: 2016179 m; Y:5266624 m; Z: 2017 ms.n.m.)

El depósito catalogado como JA-04 posee una superficie incidida por canales con cantos y bloques con acumulación aleatoria y en contacto, los márgenes evidencian acumulación de material vegetal y detrítico, revestimiento de lodo arenoso sobre los cantos y ramas cortadas de raíz y dobladas por erosión (Apéndice A).

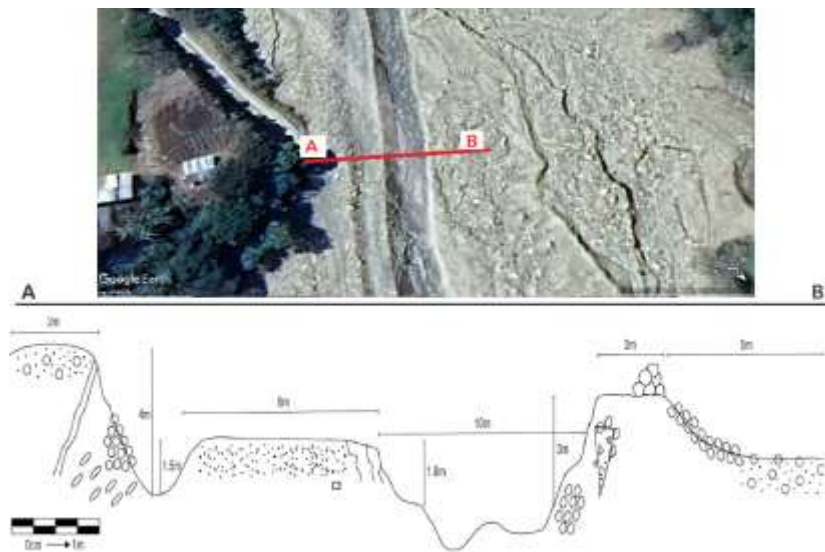
Respecto a la fábrica, el depósito está constituido por un 45% de armazón y un 55 % de matriz y cuenta con un espesor de 2,15 metros. La selección es muy mala, mostrando tamaños de grano que van desde limos hasta bloques, con formas subangulares y subredondeados de baja esfericidad. El depósito presenta erosión lateral y meteorización representada en superficies de oxidación en forma de anillos. Los clastos son de origen ígneo y metamórfico siguiendo la tendencia de la procedencia del material de los anteriores depósitos.

7.7.3 Perfil transversal del cauce

Se levantó un perfil topográfico (Figura 18) en las coordenadas (**X: 2016438 m; Y: 5266967 m**) perpendicular al cauce con el objetivo de analizar el comportamiento del flujo, esta sección cuenta con un ancho total de 32,43 m medidos entre márgenes, distribuidos asimétricamente. Sobre la quebrada se pudo observar que esta contaba con más de un caudal activo, siendo el margen izquierdo (aguas abajo) el más cercano a uno de estos causes (4m) y encontrándose en un nivel más escarpado, a una altura de 4m, el margen derecho se encuentra sobre una zona con mayor aporte de clastos, la distancia que hay entre el margen derecho y el caudal más cercano es de aproximadamente 10m.

Figura 18

Perfil transversal del cauce de la quebrada El León con dimensiones de márgenes y composición y la ubicación del perfil en planta.



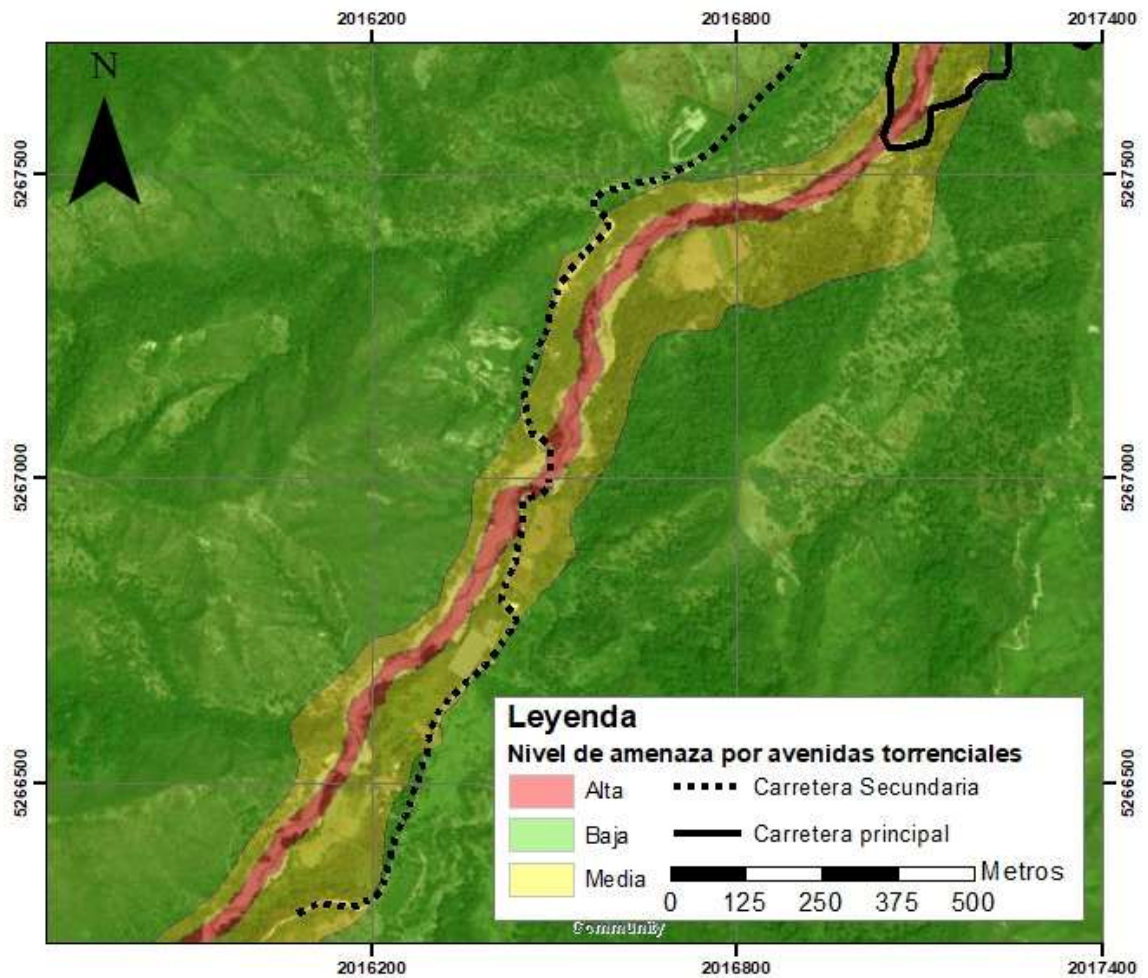
La profundidad observada en los canales activos era de 30 cm y de 24 cm respectivamente en estado basa del cauce, sobre el canal se podían observar clastos de diferentes tamaños que van desde 10 cm hasta los 2 m. El cauce de la quebrada muestra en su estado normal ser de poca energía, pero con una alta tendencia a tener comportamientos torrenciales, esto basado en el número de curva de la cuenca (Figura 12), la rugosidad de Manning (Figura 13) y la topografía de los caudales.

7.8 Zonificación de la amenaza

La aplicación del álgebra de mapas (Ecuación 7) permitió obtener una zonificación preliminar de la amenaza a partir de la integración de las variables de profundidad de flujo (isóbatas), velocidad (isotacas) y pendiente del terreno. El resultado evidenció una concentración de la amenaza alta dentro del área cubierta por el modelamiento hidráulico. Debido a que las variables de profundidad y velocidad únicamente presentan información en los sectores donde el flujo fue simulado por HEC-RAS, la delimitación de la amenaza en el resto del sector hidrográfico se realizó mediante un análisis integral apoyado en criterio experto, considerando de manera conjunta la litología, la topografía, el inventario de movimientos en masa, la red de drenaje y la cobertura del suelo. Este análisis permitió realizar la delimitación final de las categorías de amenaza, obteniendo una respuesta de la avenida torrencial coherente con las condiciones geomorfológicas y de la dinámica del sector hidrográfico. Como insumo principal de este trabajo de investigación se obtuvo un mapa de la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín (Figura 19), esta amenaza se clasificó en tres categorías: amenaza baja, amenaza media y amenaza alta.

Figura 19

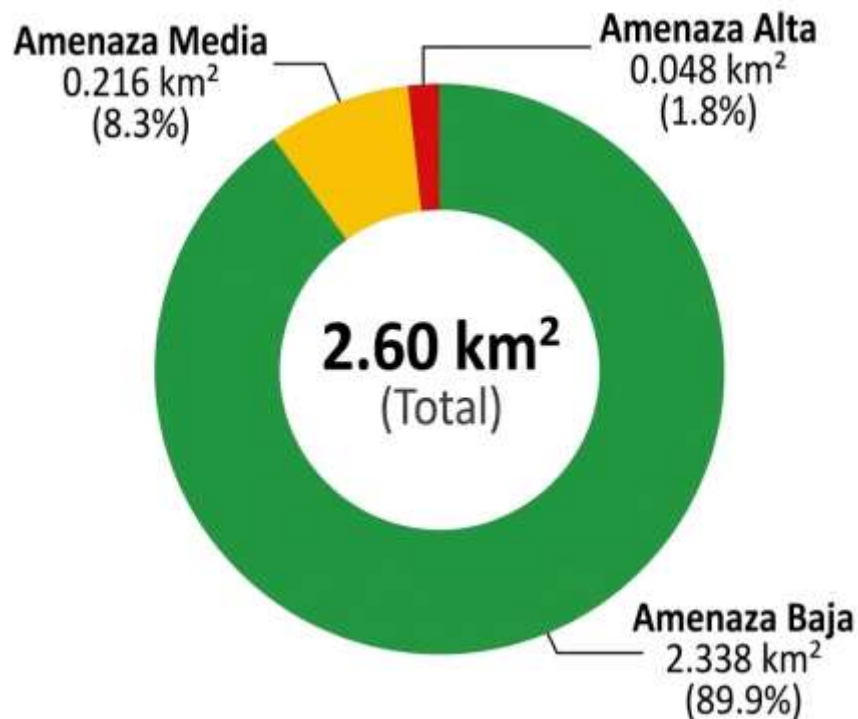
Mapa de zonificación por avenidas torrenciales en el municipio el sector hidrográfico de la quebrada El León, municipio de San Joaquín a escala 1:25 000.



Los porcentajes del área afectada bajo un escenario amenazan de avenida torrencial en la zona de estudio para un periodo de retorno de 100 años se pueden observar en la Figura 20.

Figura 20

Porcentajes del área de estudio afectada asociada a la amenaza por avenidas torrenciales correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.



7.8.1 Amenaza baja

Esta categoría, con un porcentaje de 89,9% (2,338 km²) respecto al área de la cuenca, representa las zonas más elevadas y alejadas del case principal. Debido a la topografía de esta cuenca en partículas, es muy poco probable que las avenidas torrenciales tengan implicaciones directas sobre esta zona. Sin embargo, los procesos de socavación y erosión lateral mencionados anteriormente pueden desestabilizar las laderas pertenecientes y favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Es por esto por lo que, aunque estas áreas

presentan una amenaza baja por avenidas torrenciales podría verse afectadas de manera indirecta por los procesos erosivos del flujo

7.8.2 Amenaza media

Esta categoría equivale al 8,3 % del área total de la cuenca (0,216 km²), se encuentra rodeando la zona de amenaza alta y corresponde a una extensa área de depósitos fluviotorrenciales que evidencian el alcance de eventos previos. A pesar de que la zona de inundación simulada no se extiende hasta estos sectores, la presencia de dichos depósitos indica que el flujo torrencial alcanzó estas áreas probablemente por migración del cauce principal. Teniendo en cuenta lo anterior, estas superficies fueron clasificadas como zonas de amenaza media, ya que conservan evidencias de la dinámica torrencial histórica y podrían verse afectadas durante nuevos eventos o ante cambios en las condiciones espaciales del cauce. La extensión espacial de la amenaza media se encuentra naturalmente limitada por elevaciones topográficas superiores a los 15 metros que actúan como una barrera para el flujo, debido a esto, la probabilidad de que una avenida torrencial se propague más allá de estos límites es casi nula. Sin embargo, es importante señalar que durante la revisión de campo se evidenciaron numerosas zonas de erosión lateral, lo que aumenta en gran medida la probabilidad de ocurrencia de nuevos movimientos en masa que a su vez alimentarán la carga de sedimentos en caso de una avenida torrencial.

7.8.3 Amenaza Alta

Esta categoría presente el 1,8% del área analizada, equivale a 0,048 km² y constituye la zona de mayor amenaza dentro de la zonificación. Las zonas que presentan una amenaza

alta coinciden con el área de inundación obtenida en la modelación hidráulica del caudal en HEC-RAS. La delimitación de la zona de alta amenaza se ajusta al área de influencia de las isotacas e isobatas, ya que, tras el proceso de reclasificación realizado, toda el área cubierta por la simulación supera el umbral base de la amenaza alta. El comportamiento hidráulico en la zona de amenaza alta expone un escenario de alta erosión del cauce, donde se pueden encontrar velocidades de hasta 15,30 m/s y profundidades de 3,20 m, esto sumado al material depositado como troncos astillados y cantos de gran tamaño, deja en evidencia la alta energía en la zona de tránsito de la quebrada en eventos de avenida torrencial. El 95,88% del canal tiene un comportamiento supercrítico lo que implica una socavación lateral importante, acelerando los procesos de inestabilidad a los costados de la zona de transido de la quebrada El León.

En el trabajo de campo se evidenciaron estructuras construidas por la comunidad para intentan canalizar el flujo, pero en caso de una avenida torrencial, esta medida es insuficiente y podría ocasionar el aumento del volumen de sedimentos movilizados y en consecuencia, el potencial destructivo del evento. Dentro del área clasificada como amenaza alta se encuentran infraestructuras viales vitales para la comunicación del municipio de San Joaquín con sus veredas y con otros municipios aledaños. Por ende, es importante dejar planteado la necesidad de generar obras civiles para la mitigación del riesgo en caso de un escenario como el simulado en este trabajo.

8 Conclusiones

- Tras el análisis de las series pluviométricas se determinó que distribución Log-Normal presentó el mejor ajuste estadístico para los registros de precipitación máxima

anual, lo que permitió generar curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) e hietogramas de diseño r para los diferentes períodos de retorno, constituyendo la base para el desarrollo del modelo hidrológico en HEC-HMS.

- El análisis de los resultados obtenidos en la simulación hidrológica evidencia que el pico de los hidrogramas, que representan la variación del caudal en el tiempo, ocurre aproximadamente 20 minutos después del pico de los hietogramas, los cuales describen la distribución temporal de la precipitación. Este comportamiento se mantiene para cada tiempo de retorno y sugiere que el tiempo de respuesta del sistema está controlado principalmente por las características morfométricas del sector hidrográfico y no por el volumen de agua precipitada. Respecto a los caudales pico se evidencia un aumento del 210% entre el tiempo de retorno de 2 años (probabilidad de ocurrencia de 50 %) y el de 100 años (probabilidad de ocurrencia de 1%) evidenciando que, a pesar de la baja probabilidad de los eventos de largo periodo de retorno, su potencial destructivo y su capacidad de causar daños severos a la infraestructura y a la vida humana son exponencialmente mayores, convirtiendo al escenario del 1% en el eje fundamental para el diseño de obras de mitigación y la zonificación de la amenaza.

- La zonificación obtenida muestra que el área clasificada con amenaza alta y media es pequeña en comparación con la totalidad del sector hidrográfico, debido a la topográfica que rodea la llanura de inundación de cause y limita de manera drástica su propagación lateral. La principal condición de amenaza de las avenidas torrenciales en la Quebrada El León no radica en la propagación lateral del flujo sino en la alta carga de

sedimentos que este arrastra, la rápida respuesta de la cuenca a las precipitaciones y su comportamiento supercrítico.

- El principal factor de afectación de las avenidas torrenciales en la quebrada El León es la alta energía del flujo, con velocidades de 15,30 m/s y profundidades de 3,20 m en el área de amenaza alta y el predominio de flujo supercrítico (95,88 % del cauce) indican una alta capacidad erosiva y destructiva.

9 Recomendaciones y trabajo futuro

En el mapa de zonificación de la amenaza se observan algunas viviendas y carreteras que están dentro de la amenaza alta y media, según la guía del Servicio Geológico colombiano (Servicio Geológico Colombiano, 2021), estas áreas son de principal interés por la implicación que puede tener el evento fluviotorrencial en la seguridad vidas humanas. Debido a esto se recomienda la ejecución de un modelo a detalle 1:2000 en el área propuesta en la Figura 21.

Una de las principales limitaciones en la elaboración del trabajo de investigación fue el bajo nivel de detalle del Modelo digital de elevación (MDE), con una resolución de 12,5 m donde los pixeles representan 156,25 metros cuadrados, para una cuenca cuyo cause promedia unos 7 m de ancho y una profundidad de lámina de agua permanente de centímetros, ese nivel de detalle se queda corto, a pesar de que útil para generar una zonificación de amenaza a escala 1:25000 se recomienda realizar un levantamiento

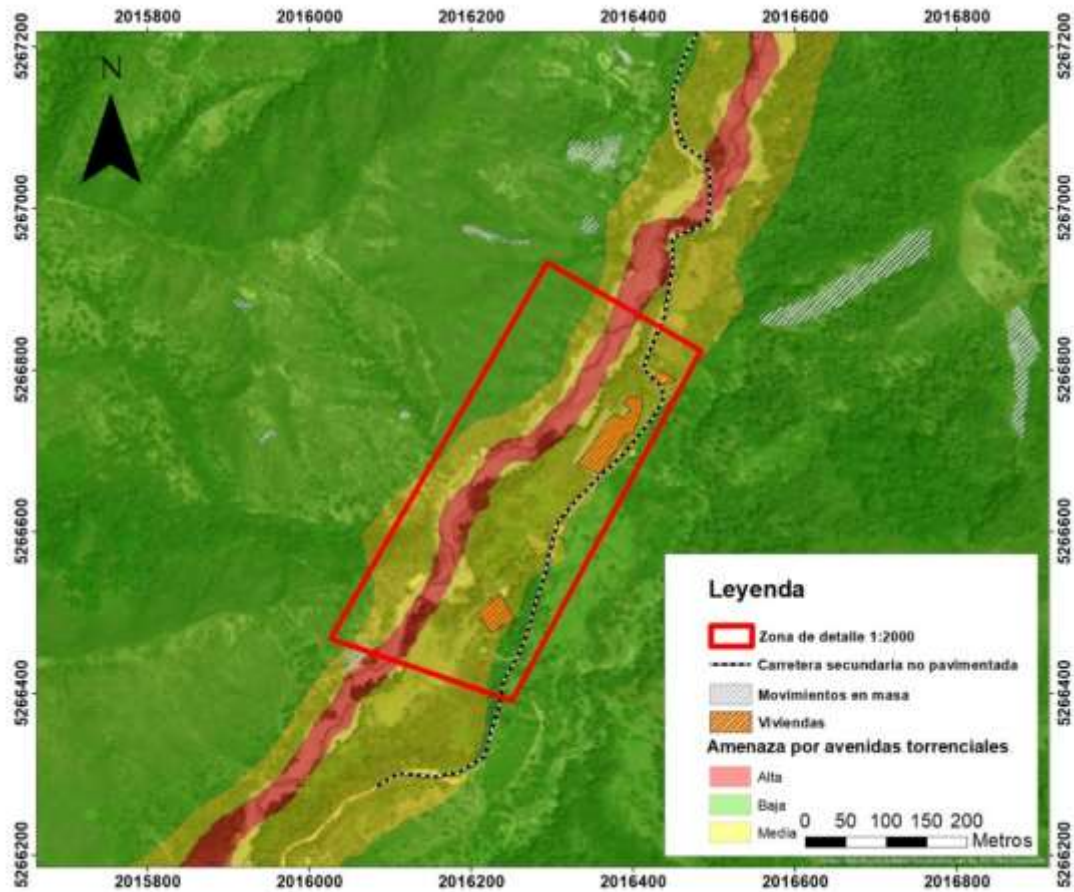
batimétrico para la generación de un Modelo digital de terreno (DMT) de la zona de detalle propuesta en la Figura 21

Propuesta de estudio futuro para zona de detalle a escala 1:2000.. Con este insumo de podrá generar un modelo hidráulico mucho más detallado y estable.

Se sugiere también complementar el modelo de HEC-HMS mediante la incorporación de otros factores que moldean el comportamiento hidrológico, además de los de pérdida y transformación empleados en este estudio. Factores como la evaporación, caudal base, interceptación de la precipitación por cobertura vegetal (Canopy) pueden generar una representación más completa de la dinámica hídrica, contribuyendo a reducir la incertidumbre y aumentando la confiabilidad de los resultados.

Figura 21

Propuesta de estudio futuro para zona de detalle a escala 1:2000.



Referencias Bibliográficas

(UNISDR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

IDEAM. (4 de Mayo de 2026). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos (DHIME)*. IDEAM. <https://dhime.ideam.gov.co>

(SIMMA). (2025). *Base de datos de movimientos en masa de Colombia*. Recuperado el 22 de Mayo de 2026, de https://simma.sgc.gov.co/?utm_source.com

Aristizábal, Arango, & Garcia. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 199–215. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72612>

Aristizábal, E., & Gómez Cardona, F. (2019). Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en el departamento de antioquia a escala de cuenca. En Y. V. al, *Investigaciones en gestión del riesgo de desastres para Colombia* (págs. 92–110). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. https://assets.zyrosite.com/mxB8LLj47Dhp4PGP/investigaciones_en_gestia3n_del_riesgo_d-YX4ywLRebaF9JXxL.pdf

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Hidrogis*. <https://www.hidrogis.com/wp-content/uploads/2024/02/Generacion-de-Curva-Numero-ANA.pdf>

Busnelli, J., & Horta, L. (2014). Morfometría de cuencas de montaña y metamorfosis fluvial. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 11–20. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v71n1/v71n1a02.pdf>

Caballero, J., & Mejía, L. (1988). Análisis del evento torrencial del 14 de abril de 1988 en la quebrada La Ayurá, Envigado (Antioquia). *2ª Conferencia sobre Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá* (págs. 45-58). Medellín: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Recuperado el 16 de Marzo de 2026

California Department of Public Works, Division of Highways. (1955). *California Culvert Practice: Reprint of a Series of Technical Abstracts*. Sacramento, CA: State of California.

Campos, D. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Editorial Universitaria Potosina. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>

Carvajal, J. H. (2008). *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia*. INGEOMINAS: Bogotá. https://catalogo.sgc.gov.co/bib/85265?utm_source

Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company. Recuperado el 08 de 06 de 2026, de <https://archive.org/details/openchannelhydra0000chow?utm>

Chow, V. T., Maidment, D., Mays, L. W., & Saldarriaga, J. G. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.

CMGRD. (2016). *Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de San Joaquín, Santander*. Santander . San Joaquín: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado el 25 de 06 de 2026, de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28761/PMGRD_SanJoaquinSantander_2016.pdf

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner, & R. L. Schuster. Washington, D.C.: National Academy Press. Recuperado el 22 de Mayo de 2026, de <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-003.pdf>

Delgadillo, A., & Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. En C. Saucedo, & M. Duarte, *Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties*. Mérida: FUNDAPRIS. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://repositorio.unach.edu.pe/bitstreams/fd9e047c-7efd-4e3e-887a-9eea6e67456c/download>

Flórez, A., & Parra, E. (1988). Avenidas torrenciales y su impacto en áreas urbanas: caso quebrada La Ayurá, Envigado. *II CONFERENCIA SOBRE RIESGOS GEOLOGICOS DEL VALLE DE ABURRA* (págs. 33-47). Medellín: Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Recuperado el 16 de Marzo de 2026

Fuentes, J. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Ciudad de México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf

Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGM DOMUS*, 143–158. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476/505>

Giandotti, M. (1934). *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*. Acireale: Servizio Idrografico Italiano.

Giral, Y., & Ruíz, Y. (2017). *Zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de las cuencas de los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez y modelo hidráulico en el área de confluencia en el departamento de Santander usando SIG escala 1: 25000*. Sogamoso, Boyacá, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 26 de 06 de 2026, de <https://repositorio.uptc.edu.co/entities/publication/9966fa68-7054-4122-ab0a-ee042e9dbc34>

Gobernación de Santander. (2023). *"En San Joaquín se atiende emergencia generada por fuertes lluvias"*. San Joaquín: Gobernación de Santander. Recuperado el 25 de 06 de 2026, de <https://santander.gov.co/publicaciones/9251/en-san-joaquin-se-atiende-emergencia-generada-por-fuertes-lluvias>

Gravelius, H. (1914). *Compendio de hidrología. Volumen I: Hidrología fluvial*. Berlín: Göschen Verlag. Recuperado el 30 de 06 de 2026

Guy, J., & Vernon, S. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey. Recuperado el 09 de 06 de 2026, de <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>

Henderson, F. M., & Wooding, R. A. (1964). Overland flow and groundwater flow from a steady rain of finite duration. *Journal of Geophysical Research*, 1531–1540.

Hermelin, M. (1984). Aspectos geomorfológicos y estructurales del Valle Norte de Aburrá. *Memorias de la I Conferencia sobre Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá*. Medellín: Sociedad Colombiana de Geología.

Hernández, A., & Navas, M. (2026). *Caracterización de las unidades geológicas superficiales (UGS) y subunidades geomorfológicas (SGMF) a escala 1:25.000 para el*

municipio de San Joaquín, Santander, como una herramienta en la evaluación de los factores de inestabilidad superficial. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 25 de 06 de 2026

Herrera, C., Campos, J., & Carillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 34–44. <https://doi.org/10.33064/iycaaa201771598>

Horton, R. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, 350–361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>

Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2001). Classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7(3), 221–238. <https://doi.org/10.2113/gseengeosci.7.3.221>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá D.C.: IDEAM. Recuperado el 16 de 06 de 2026, de https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/publicaciones/guia_metodologica_para_la_elaboracion_de_mapas_de_inundacion.pdf?

Iverson, R. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 245–296. <https://doi.org/10.1029/97RG00426>

Kain, C., Rigby, E., & Mazengarb, C. (2018). A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan, Caveside, Tasmania. *Sedimentary Geology*, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.10.005>

Kates, R. W. (1962). *Hazard and Choice Perception in Flood Plain Management* (1 ed.). (U. o. Press, Ed.) Chicago, Estados Unidos : University of Chicago Press. Recuperado el 16 de Marzo de 2026

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Journal of Civil Engineering*, 262-272.

Lagna, F. C. (2011). Analysis of debris flow events in the Piedmont region (North-western Italy). *Proceedings of the Fifth International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*. (págs. 633–640). Roma: Casa Editrice Università La Sapienza. Recuperado el 26 de 05 de 2026, de https://www.researchgate.net/publication/373200850_The_Territorial_Debris_Flow_Early_Warning_System_of_Piemonte_North-western_Italy

Leiva, L. E. (24 de Marzo de 2022). Visita ocular solicitada por la alcaldía municipal de San Joaquín. (C. A. Santander, Entrevistador)

Mantilla-Figueroa, L., García-Ramírez, C., & A. Valencia, V. (2016). Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia) apoyada en círculo detrítico U-Pb. *Boletín de Geología*, 33-50. <https://doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016002>

Morisawa, M. (1985). *Rivers: Form and Process*. Londres: Longman. Recuperado el 30 de 06 de 2026

Ortiz, O. (2004). Evaluación hidrológica. *HIDRORED – Red Latinoamericana de Micro Hydroenergía*, 1–7. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://www.electrogenesis.com/WebGenesisBiblio/Literatura/Articulos/Generacion/Hidraulicas/Web/RED%20LATINOAMERICANA%20DE%20MICRO%20HIDROENERG%C3%8DA.pdf>

Proyecto Multinacional Andino Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Recuperado el 22 de Mayo de 2026

Quiroga Blanco, D. (2025). *Evaluación de los procesos de inestabilidad de laderas en las cuencas hidrográficas Panamá y El León en el municipio de San Joaquín, Santander, mediante la relación con parámetros morfométricos y morfoestructurales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 26 de 06 de 2026

Roa, S., & Patarroyo, R. (2026). *Estudio de la amenaza por movimientos en masa aplicando el método estadístico bivariado a escala 1:25.000 en una región del municipio de San Joaquín, Santander*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Rodrigo , M., & Granados, M. (1988). *Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia*. Bogotá: HIMAT. Recuperado el 4 de Mayo de 2026, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9583/u295353.pdf>

Ruiz, R., & Torres, H. (2008). *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas: Caso América del Sur*. Quito: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Recuperado el 30 de 06 de 2026, de <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/556.pdf>

Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, M., Hoseini, M., & Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*, 123–132.

Servicio Geológico Colombiano. (2014). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Propuesta metodológica para la generación de mapas geomorfológicos analíticos a escala 1:100.000. Anexo A: Glosario geomorfológico*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala 1:25.000*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Recuperado el 22 de Mayo de 2026, de <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/32>

Servicio Geológico Colombiano. (2021). Guía Metodológica para Zonificación de Amenazas por Avenidas Torrenciales del Servicio Geológico Colombiano. *Servicio Geológico Colombiano*, 98. Recuperado el 19 de Abril de 2026, de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/GuiaMetodologicaZonificacionAmenazaAvenidasTorrenciales.pdf>

Servicio Geológico Colombiano; Pontificia Universidad Javeriana. (2018). *Guía metodológica para la caracterización, zonificación y evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en zonas de ladera*. Bogotá.

SGC. (15 de Marzo de 2026). *Sistema de información de movimientos en masa*. SGC. <https://simma.sgc.gov.co>

Soil Conservation Service. (1986). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.

Témez, J. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Dirección General de Carreteras (MOPU).

Thiessen, A. H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 1082-1089. Recuperado el 09 de 06 de 2026, de https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/39/7/1520-0493_1911_39_1082b_pafila_2_0_co_2.xml?utm

U.S. Army Corps of Engineers. (30 de 06 de 2026). *Hydrologic Engineering Center (HEC)*. SCS Unit Hydrograph Model. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/transform/scs-unit-hydrograph-model>

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2016). *HEC-RAS River Analysis System: User's Manual*. Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers. Davis, California: U.S. Army Corps of Engineers. Recuperado el 16 de 06 de 2026, de <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf?>

Valencia, J., & Martínez, A. (2024). Evaluation of flood exposure in anthropic environments applied to different areas in the region of Bucaramanga, Colombia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2375544>

Vargas, E., & Granados, M. (1998). *Curvas sintéticas de intensidad–duración–frecuencia para Colombia: Regionalización e implementación de un SIG*. Bogotá D.C: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes. Recuperado el 16 de 06 de

2026, de <https://es.scribd.com/document/360213205/249526743-Vargas-Diaz-Granados-CurvasIDF-1998-pdf?>

Velandia, F. (2017). *Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander: énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga*. Bogotá D.C, Colombia : Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 25 de 06 de 2026, de <https://repositorio.unal.edu.co/items/6dac55d9-a767-478d-9ea0-477bb8279977>

Ward, D. E. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 1-134. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol21.1-3.1973.383>

Wilford, D., Sakals, E., Innes, J., Sidle, R., & Bergerud, W. (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*, 61–66. <https://doi.org/10.1007/s10346-003-0002-0>

Apéndices

Apéndice A Formatos para la caracterización de avenidas torrenciales.

Formato para caracterización de avenidas torrenciales Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana									
Sistema de registro									
Investigador		Fecha del evento		Fecha del reporte		Proyecto		Formulario N°	
Andrés Ríos Robles				24 04 25		Universidad Industrial De Santander		001	
Por división política		Localización geográfica				Localización geomorfológica			
Departamento: Santander		Referencia geográfica: Quebrada El León				Cuerpo de agua: Cuenca alta			
Municipio: San Joaquín		Código: 402 4 4				Cuenca media: Cuenca alta			
Vereda: Santa Clara		Origen: Cuenca alta				Cuenca baja: Cuenca alta			
Municipio: San Joaquín		Origen: Cuenca alta				Cuenca baja: Cuenca alta			
Vereda: Santa Clara		Origen: Cuenca alta				Cuenca baja: Cuenca alta			
Morfología de los depósitos recientes*									
Superficie del depósito		Wingeros del depósito		Evidencias de erosión y evidencias de erosión*		Evidencias de erosión y evidencias de erosión*		Evidencias de erosión y evidencias de erosión*	
1. Relleno granular		1. Relleno granular		1. Relleno granular		1. Relleno granular		1. Relleno granular	
2. Superficie arenosa por canales con corrientes y flujos		2. Superficie arenosa por canales con corrientes y flujos		2. Superficie arenosa por canales con corrientes y flujos		2. Superficie arenosa por canales con corrientes y flujos		2. Superficie arenosa por canales con corrientes y flujos	
3. Relleno granular		3. Relleno granular		3. Relleno granular		3. Relleno granular		3. Relleno granular	
4. Superficie arenosa por canales		4. Superficie arenosa por canales		4. Superficie arenosa por canales		4. Superficie arenosa por canales		4. Superficie arenosa por canales	
5. Acumulación aluvial de clastos graníticos y en contacto		5. Acumulación aluvial de clastos graníticos y en contacto		5. Acumulación aluvial de clastos graníticos y en contacto		5. Acumulación aluvial de clastos graníticos y en contacto		5. Acumulación aluvial de clastos graníticos y en contacto	
6. Superficie arenosa granular		6. Superficie arenosa granular		6. Superficie arenosa granular		6. Superficie arenosa granular		6. Superficie arenosa granular	
7. Arenas		7. Arenas		7. Arenas		7. Arenas		7. Arenas	
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 1)									
Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión	
1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular	
2. Angular		2. Angular		2. Angular		2. Angular		2. Angular	
3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular	
4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado	
5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado	
6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado	
Composición litológica/Descripción									
Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.	
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 2)									
Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión		Forma y extensión	
1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular		1. Muy angular	
2. Angular		2. Angular		2. Angular		2. Angular		2. Angular	
3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular		3. Sub-angular	
4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado		4. Sub-redondeado	
5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado		5. Redondeado	
6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado		6. Bien redondeado	
Composición litológica/Descripción									
Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.		Depósito aluvial con clastos de origen ígneo y metamórfico principalmente.	

Formato para caracterización de avenidas torrenciales

Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana

Datos de registro															
Escriba aquí			Fecha del evento			Fecha del registro			Proyecto			Institución			Registro N°
Andrés Ríos Robles			24			04			25			Universidad Industrial De Santander			002
Por división política					Localización geográfica					Localización geomorfológica					
Departamento: Santander					Coordenadas geográficas: Quebrada El León					Zona de transporte: Zona de depósito					
Municipio: San Joaquín					Referencia geográfica: (Latitud/Longitud)					Cuenca alta: ☐					
Vereda: Santa Clara					Origen único: ☐					Cuenca media: ☐					
										Cuenca baja: ☐					
										Margen derecho: ☐					
										Margen izquierdo: ☐					
Morfología de los depósitos recientes*										Daños en la vegetación y evidencias de erosión*					
Superficie del depósito					Márgenes del depósito					1. Asentamiento de tallo o tallo anclado sobre la vegetación, cortado por: ☐					
1. Relieve positivo: ☐					1. Márgenes laterales y/o internos: ☐					2. Asientos con material arrojado: ☐					
2. Superficie escabrida por canales con ventos a bloques: ☐					2. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					3. Erosión en forma de V: ☐					
3. Superficie escabrida por canales: ☐					3. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					4. Erosión en forma de V: ☐					
4. Superficie escabrida por canales: ☐					4. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					5. Erosión en forma de V: ☐					
5. Superficie escabrida por canales: ☐					5. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					6. Erosión en forma de V: ☐					
6. Superficie escabrida por canales: ☐					6. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					7. Erosión en forma de V: ☐					
7. Superficie escabrida por canales: ☐					7. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					8. Erosión en forma de V: ☐					
8. Superficie escabrida por canales: ☐					8. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					9. Erosión en forma de V: ☐					
9. Superficie escabrida por canales: ☐					9. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					10. Erosión en forma de V: ☐					
10. Superficie escabrida por canales: ☐					10. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					11. Erosión en forma de V: ☐					
11. Superficie escabrida por canales: ☐					11. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					12. Erosión en forma de V: ☐					
12. Superficie escabrida por canales: ☐					12. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					13. Erosión en forma de V: ☐					
13. Superficie escabrida por canales: ☐					13. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					14. Erosión en forma de V: ☐					
14. Superficie escabrida por canales: ☐					14. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					15. Erosión en forma de V: ☐					
15. Superficie escabrida por canales: ☐					15. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					16. Erosión en forma de V: ☐					
16. Superficie escabrida por canales: ☐					16. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					17. Erosión en forma de V: ☐					
17. Superficie escabrida por canales: ☐					17. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					18. Erosión en forma de V: ☐					
18. Superficie escabrida por canales: ☐					18. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					19. Erosión en forma de V: ☐					
19. Superficie escabrida por canales: ☐					19. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					20. Erosión en forma de V: ☐					
20. Superficie escabrida por canales: ☐					20. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					21. Erosión en forma de V: ☐					
21. Superficie escabrida por canales: ☐					21. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					22. Erosión en forma de V: ☐					
22. Superficie escabrida por canales: ☐					22. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					23. Erosión en forma de V: ☐					
23. Superficie escabrida por canales: ☐					23. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					24. Erosión en forma de V: ☐					
24. Superficie escabrida por canales: ☐					24. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					25. Erosión en forma de V: ☐					
25. Superficie escabrida por canales: ☐					25. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					26. Erosión en forma de V: ☐					
26. Superficie escabrida por canales: ☐					26. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					27. Erosión en forma de V: ☐					
27. Superficie escabrida por canales: ☐					27. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					28. Erosión en forma de V: ☐					
28. Superficie escabrida por canales: ☐					28. Evidencia de reposicionamiento (reorientación de material original o dentado, termino de volutas o volutas o arrojados sobre los márgenes del cono): ☐					29. Erosión en forma de V: ☐					
29. Superficie escabrida por canales: ☐															

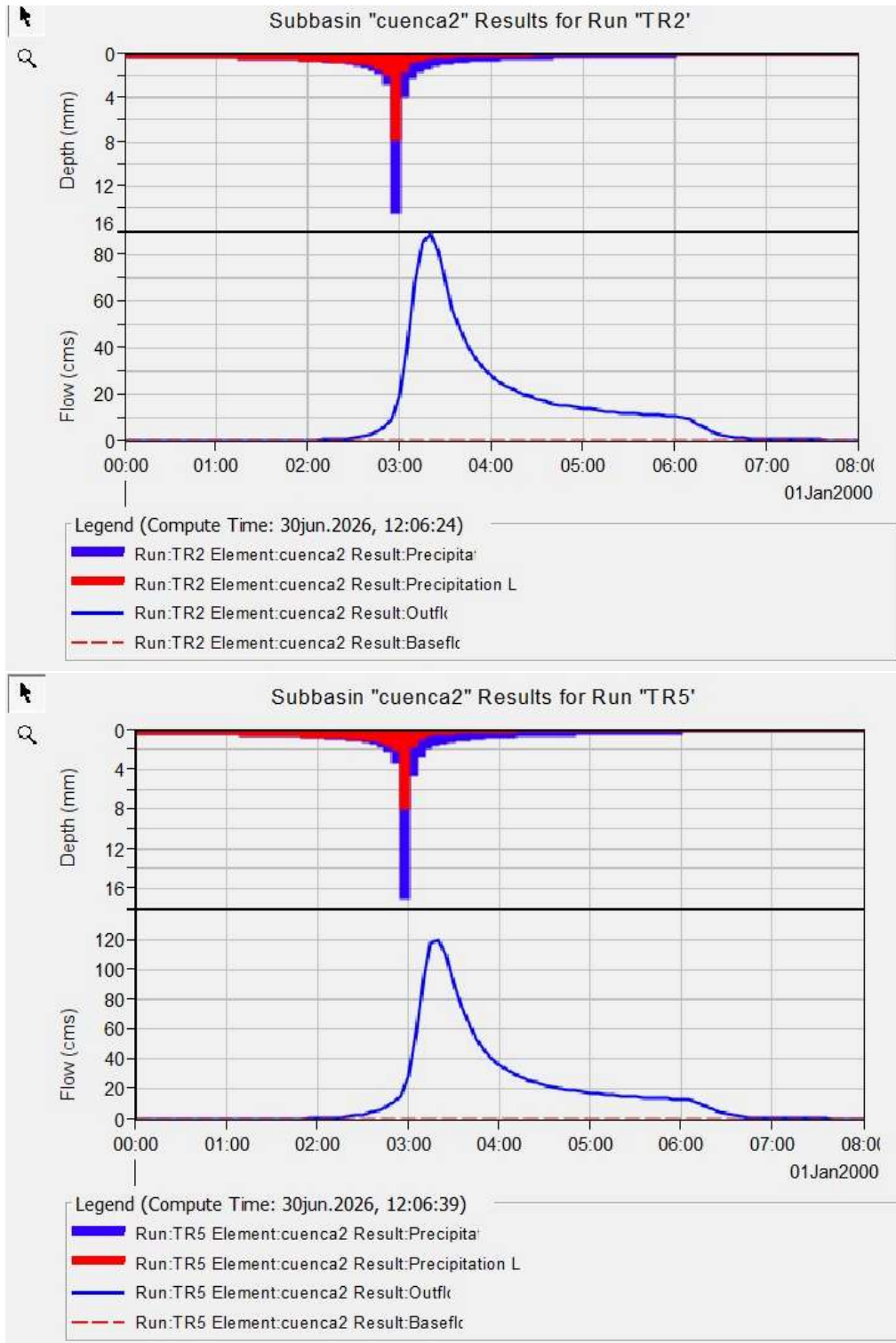
Apéndice B serie histórica de precipitación organizada por años y estaciones meteorológicas

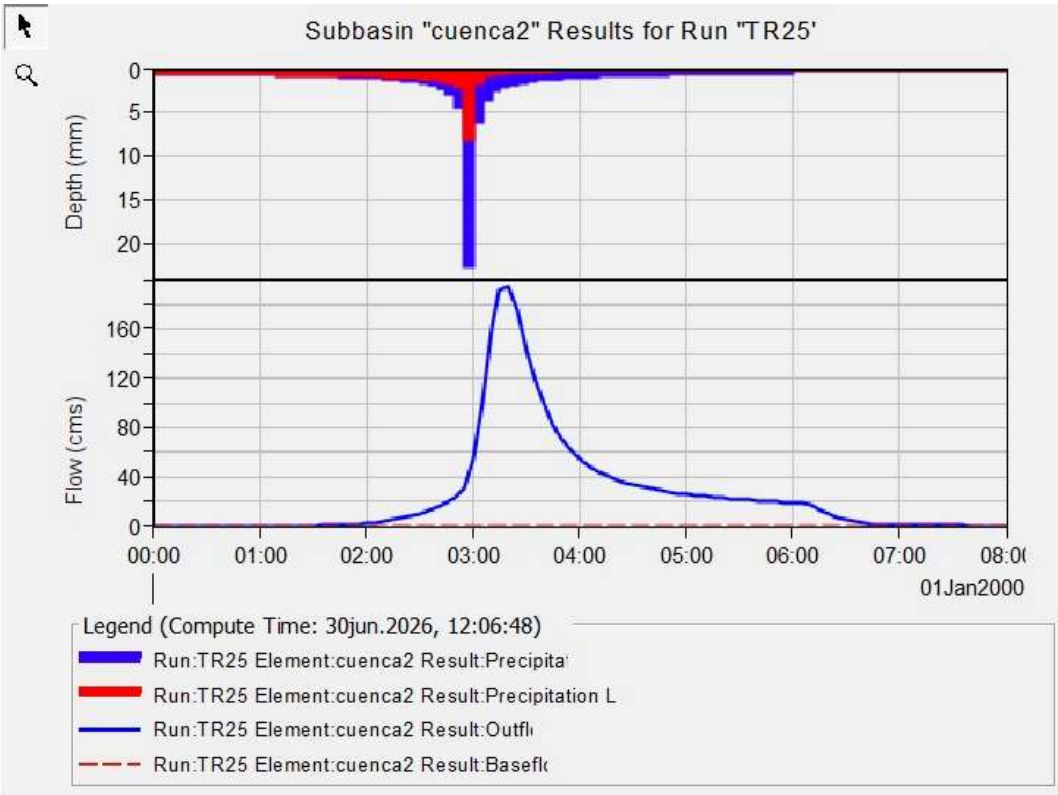
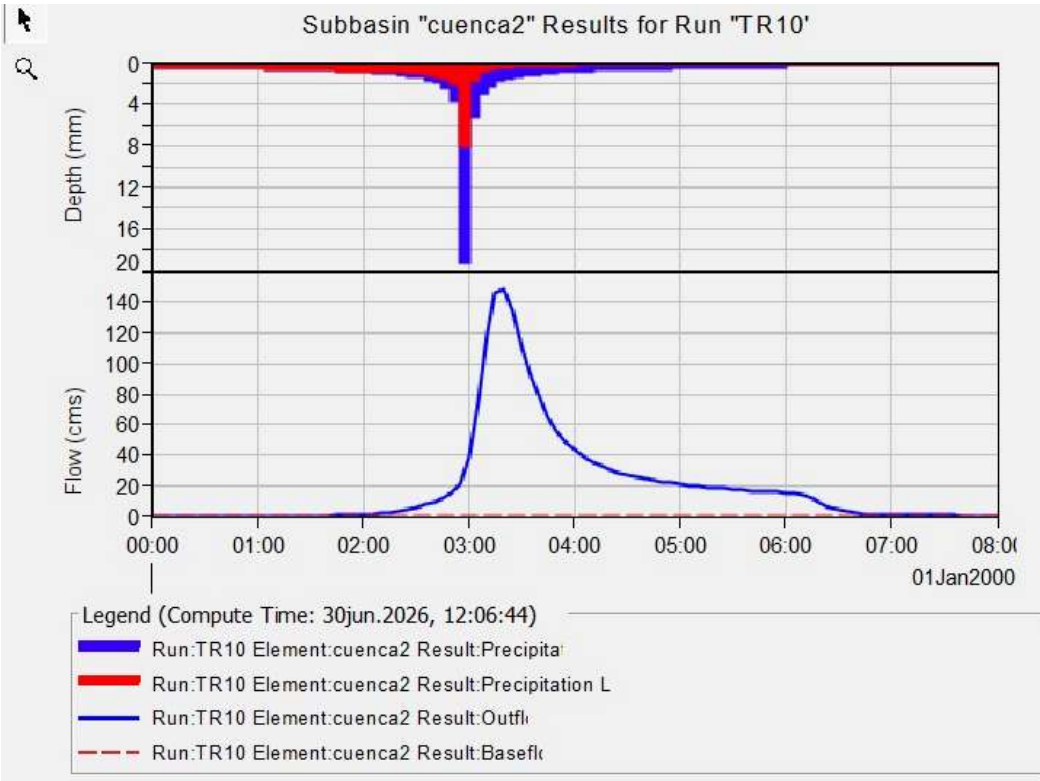
	El aserrio	Escuela agric	San joaquin	Molagavita	Los molino	Pueblo viejo	Covara chia
1979	32,6	63,6	55	47	47	31	54
1980	51	51	70	65	40	42	54
1981	46	106,2	50	83	70	36,8	75
1982	51	56,1	73	53,6	58	35,7	100
1983	56	60,5	63	38	50,9	54	60
1984	87,5	72,7	87	73	60	34	38
1985	40,3	64,5	98	40	60	20	61
1986	60	78,2	80	40	38	100	82
1987	72	98	66	49	40	39	90
1988	41	57,5	53	38	29	13	80
1989	62	66,7	56	45	28,6	23,7	62
1990	40	74,2	81	72	43,6	12	56
1991	35,8	96	76	50	30	38,9	52,5
1992	31	68,5	96,5	74	27	10	31
1993	52,4	94	57,4	55	37	8	55,5
1994	62	67,8	58,5	57	37	9	52
1995	41,1	78,8	43,1	42	30,5	100	69
1996	38,8	57	71	50	45	80	42
1997	45,5	80,5	65,1	52	57,2	80	83
1998	49,8	64	54,3	68	33	40	65
1999	44,5	114,8	61,1	44	38	24,4	45
2000	46	59,4	61,9	46	50	10	72
2001	34,4	91,9	59,6	45	30	9	43,5
2002	38,7	75,8	74,2	60	44,1	9	59
2003	34	63,9	72,2	61	33,5	18,3	45,5
2004	32,1	81,3	50,5	53	43	36,7	58
2005	50	79	68,7	50	29,5	32	41
2006	50	86,4	63	72,3	41,7	32,6	59,7
2007	49,1	78,3	52	54	56	35	72
2008	51,2	51,5	44,7	45,3	48	64	62
2009	46	89,5	82,7	60	39,4	32	50,1
2010	48,2	67	57,5	53,3	53,6	85	68
2011	47,7	91	70,3	75,2	58,8	70	75
2012	49,5	75,3	67,6	70,5	104,6	88	136
2013	61,5	63,3	64,3	49	43	80	54,3
2014	116	83,5	80	90,2	30,7	35	42,3
2015	55	60,8	35	49,2	33,1	37,5	42,9
2016	47,4	62,4	80	51	37,7	41	42,1
2017	56	67	60,3	60,1	26,9	48	33,9
2018	32,4	64	38,3	67,4	41,5	36	49,3
2019	68,5	86,5	50,9	54,2	30,1	49	36
2020	59,5	57,8	44,1	66,6	27,9	37	32,1
2021	44,5	89,5	43,9	44,5	35	60	45
2022	116,3	93,5	54	44,3	27,2	52	36,5
2023	41,9	89	66	54,1	39,1	28	54,5
2024	68,8	63	79,8	50,2	41,6	30	53,5

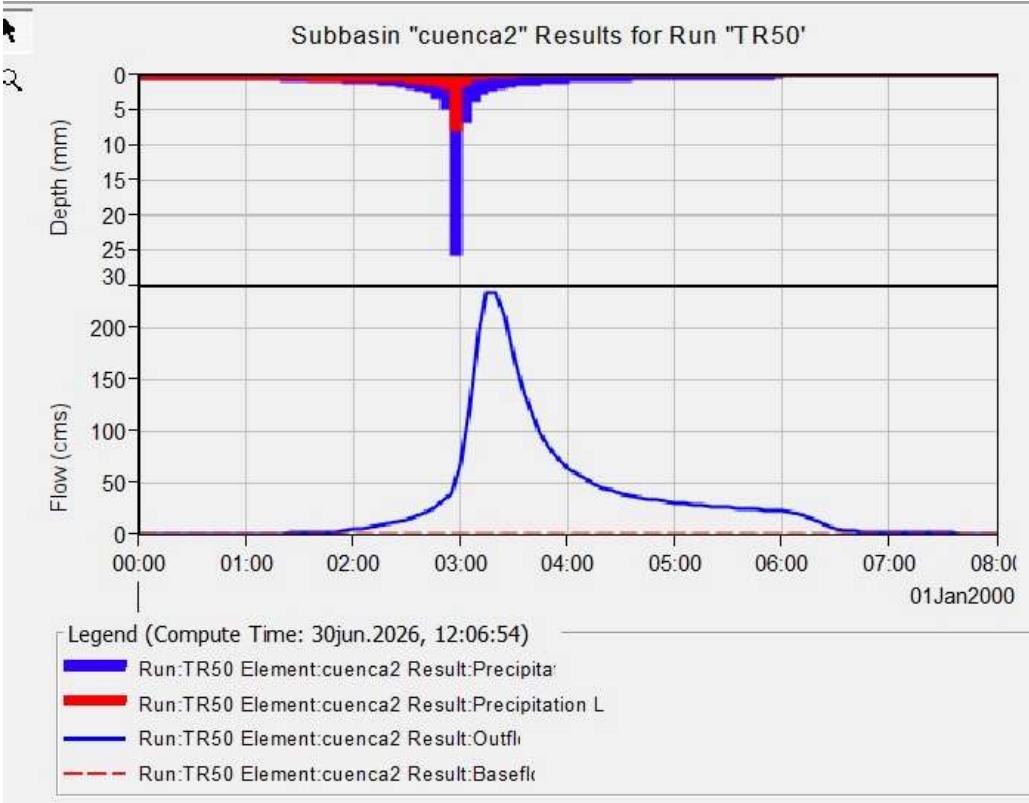
Apéndice C Análisis estadístico de frecuencias de los máximos anuales de precipitación en 24 horas para la estación San Joaquín.

Año	DÍAS LLUVIA (N)	MAX (mm)	Media	DE	Weibull MAX (mm)	#Orden	P>x	F(x)	Sn	Alfa	Y(n)	u
1979	172	55	63,84	14,4456	98	1	0,0213	0,9787	1,15373	12,5208	0,54678	56,991
1980	164	70			97	2	0,0426	0,9574				
1981	201	50			87	3	0,0638	0,9362				
1982	214	73			83	4	0,0851	0,9149				
1983	173	63			81	5	0,1064	0,8936				
1984	194	87			80	6	0,1277	0,8723				
1985	169	98			80	7	0,1489	0,8511				
1986	183	80			80	8	0,1702	0,8298				
1987	139	66			80	9	0,1915	0,8085				
1988	206	53			76	10	0,2128	0,7872				
1989	179	56			74	11	0,2340	0,7660				
1990	182	81			73	12	0,2553	0,7447				
1991	154	76			72	13	0,2766	0,7234				
1992	162	97			71	14	0,2979	0,7021				
1993	201	57			70	15	0,3191	0,6809				
1994	218	59			70	16	0,3404	0,6596				
1995	209	43			69	17	0,3617	0,6383				
1996	222	71			68	18	0,3830	0,6170				
1997	167	65			66	19	0,4043	0,5957				
1998	210	54			66	20	0,4255	0,5745				
1999	228	61			65	21	0,4468	0,5532				
2000	187	62			64	22	0,4681	0,5319				
2001	170	60			63	23	0,4894	0,5106				
2002	179	74			63	24	0,5106	0,4894				
2003	195	72			62	25	0,5319	0,4681				
2004	181	51			61	26	0,5532	0,4468				
2005	164	69			60	27	0,5745	0,4255				
2006	197	63			60	28	0,5957	0,4043				
2007	208	52			59	29	0,6170	0,3830				
2008	242	45			58	30	0,6383	0,3617				
2009	143	83			57	31	0,6596	0,3404				
2010	262	58			56	32	0,6809	0,3191				
2011	246	70			55	33	0,7021	0,2979				
2012	205	68			54	34	0,7234	0,2766				
2013	200	64			54	35	0,7447	0,2553				
2014	182	80			53	36	0,7660	0,2340				
2015	103	35			52	37	0,7872	0,2128				
2016	135	80			51	38	0,8085	0,1915				
2017	210	60			51	39	0,8298	0,1702				
2018	304	38			50	40	0,8511	0,1489				
2019	273	51			45	41	0,8723	0,1277				
2020	297	44			44	42	0,8936	0,1064				
2021	274	44			44	43	0,9149	0,0851				
2022	231	54			43	44	0,9362	0,0638				
2023	164	66			38	45	0,9574	0,0426				
2024	225	80			35	46	0,9787	0,0213				

Apéndice D Hietogramas de precipitación e hidrograma de escorrentía obtenidos para el Sector hidrográfico de la quebrada el León.







Apéndice E Hietogramas de la precipitación de diseño.

