

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Modelo de la amenaza por avenidas torrenciales para el sector hidrográfico de la quebrada

Panamá en el municipio de San Joaquín, Santander, a escala 1:25 000 mediante la

simulación con los programas HEC-HMS y HEC-RAS

Jhon Mario Carreño Galvis y Shaireth Gizell Carvajal Sinuco

Trabajo de Grado para Optar al 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

Pregrado en Geología

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mi madre, Yolanda, porque sin ella nada; a mi hermana, Paloma, por ser mi compañera de aventuras; y a mi padre, Mario, por su sabiduría.

Jhon Carreño

A mi familia y a mis amigos; gracias por su amor incondicional, sus sabios consejos, su apoyo constante y su compañía a lo largo de toda mi vida.

Shaireth Carvajal

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Geología por brindarnos las herramientas y los conocimientos necesarios para nuestra formación integral.

Expresamos nuestra gratitud al profesor Joaquín Valencia, director de este proyecto, por su valiosa orientación académica, su tiempo y por ser el guía en cada etapa de nuestra investigación. Asimismo, al codirector, Leonardo Palmera, por su apoyo y sus aportes técnicos.

Al grupo de Geología de Campo III, por cada una de las experiencias compartidas y el acompañamiento durante las jornadas de campo. Agradecemos especialmente a los compañeros John Diego Pérez y Andrés Ríos por el excelente trabajo en equipo y los momentos vividos.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a los habitantes del municipio de San Joaquín, por abrirnos las puertas de su comunidad y compartir con nosotros su valiosa visión del territorio.

Jhon Carreño y Shaireth Carvajal

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema	16
2. Justificación	19
3. Objetivos.....	21
3.1 Objetivo general	21
3.2 Objetivos específicos.....	21
4. Localización.....	22
5. Contexto Geológico y Geomorfológico	24
6. Estado del arte	29
7. Metodología.....	32
7.1 Fase 1: Recopilación bibliográfica	33
7.2 Fase 2: Campo	34
7.3 Fase 3: Análisis pluviométrico y modelamiento hidrológico e hidráulico	35
7.4 Fase 4: Zonificación de la amenaza.....	42
8. Resultados.....	44
8.1 Inventario de procesos morfodinámicos.....	44
8.2 Trabajo de campo	48

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

8.2.1 Caracterización del Macizo Rocoso	48
8.2.2 Caracterización de Movimientos en Masa.....	50
8.2.3 Caracterización de Depósito Fluviotorrencial	51
8.2.4. Geometría de la Sección Transversal	53
8.3 Caracterización Hidrológica y Comportamiento Hidráulico.....	56
8.3.1 Análisis Pluviométrico y Eventos de Diseño.....	56
8.3.2 Análisis del Modelo hidrológico con HEC-HMS.....	64
8.3.3 Análisis del Modelo hidráulico con HEC-RAS.....	66
8.3.3.1 Caracterización del Régimen de Flujo y Número de Froude	66
8.4 Zonificación de la amenaza	72
8.4.1 Amenaza alta.....	75
8.4.2 Amenaza media.....	76
8.4.3 Amenaza baja.....	77
9. Conclusiones.....	77
10. Recomendaciones y trabajo futuro	79
Referencias bibliográficas	81
Apéndices	87

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Numero de eventos, personas y bienes afectados para cada una de las regiones naturales de Colombia	18
Tabla 2. Unidades geológicas aflorantes en la red hidrográfica de estudio.....	25
Tabla 3. Subunidades geomorfológicas de la zona de estudio	27
Tabla 4. Síntesis de artículos científicos seleccionados	31
Tabla 5. Características morfométricas de la Cuenca de la quebrada Panamá generadas en ArcGIS.....	38
Tabla 6. Coeficientes de rugosidad de Manning (n) utilizados en el modelado hidráulico..	41
Tabla 7. Parámetros de reclasificación para la capa ráster de isobatas, isotacas y pendientes	43
Tabla 8. Clasificación y densidad de incidencia de los procesos morfodinámicos identificados en la cuenca de la quebrada Panamá.	47
Tabla 9. Resultados de la aplicación de cada uno de los ajustes estadísticos a los datos de la estación meteorológica San Joaquín.....	56
Tabla 10. Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) para cada periodo de retorno obtenidas mediante la distribución Log-Normal.....	57
Tabla 11. Precipitación máxima en 24 horas y variabilidad porcentual según el periodo de retorno (Tr)	58
Tabla 12. Intensidades de precipitación (mm/h) para duraciones de 5 y 150 minutos y su variación para cada periodo de retorno.....	61

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Tabla 13. Indicadores Críticos del Escenario de Diseño ($T_r=100$).....	64
Tabla 14. Valores de caudal pico en m^3/s para el sector hidrográfico de la quebrada Panamá simulado en HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años	65
Tabla 15. Distribución del régimen de flujo en las secciones transversales de la quebrada Panamá para $T_r=100$ años.	67
Tabla 16. Profundidades (Isobatas) y velocidades (Isotacas) máximas del flujo obtenidas en la simulación hidráulica para cada periodo de retorno	70

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Daños económicos cuantificados en dólares por año, por tipo de desastre natural. Adaptado de Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2025).	17
Figura 2. Mapa de la localización de la zona hidrográfica de la Quebrada Panamá. El mapa se encuentra en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Nacional, EPSG: 9377.	22
Figura 3. Mapa geológico de la zona hidrográfica de estudio. Mapa modificado de Hernández & Navas (2025).	25
Figura 4. Mapa de subunidades geomorfológicas para la zona de estudio. Mapa modificado de Hernández & Navas (2025).	27
Figura 5. Metodología establecida para el proyecto.	33
Figura 6. Síntesis de formulaciones estadísticas y matemáticas para el análisis pluviométrico; a) distribuciones estadísticas de probabilidad; b) pruebas de bondad de ajuste; c) formulas utilizadas para generar las curvas IDF e hietogramas de diseño. Nota. Elaboración propia basada en las metodologías de Chow et al. (1988) y Diaz-Granados (1998).	37
Figura 7. Esquema del modelo hidrológico en HEC-HMS, representando la subcuenca de aporte y el punto de salida (Sink-1) localizado en la desembocadura de la quebrada Panamá.	38
Figura 8. Representación de la geometría hidráulica en RAS Mapper: eje del cauce (Stream Centerline en color azul), márgenes (Bank Lines en color rojo), llanuras de inundación (Flow	

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Path Lines en amarillo) y distribución de las secciones transversales de la quebrada Panamá (líneas verdes).....	40
Figura 9. Flujograma del proceso realizado en ArcGIS para generar el mapa de zonificación de la amenaza.....	43
Figura 10. Mapa de inventario de procesos morfodinámicos en la red hidrográfica de la quebrada Panamá. Modificado de Patarroyo y Roa (2026).....	46
Figura 11. Fotointerpretación geomorfológica sobre imagen de Google Earth Pro de la dinámica torrencial aguas abajo del casco urbano de San Joaquín	50
Figura 12. Depósito de flujo de detritos con fábrica matriz-soportada y clastos subangulares a subredondeados en el margen de la quebrada Panamá	52
Figura 13. Tronco de aproximadamente 25 m de largo y 1 m de diámetro atravesado de margen a margen en la quebrada Panamá, actuando como potencial punto de represamiento de detritos.	53
Figura 14. Perfil transversal del cauce de la quebrada Panamá con dimensiones de márgenes y composición.....	54
Figura 15. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para los diferentes periodos de retorno.....	60
Figura 16. Hietograma de precipitación de diseño para un TR de 100 años realizado bajo el modelo de bloques alternos	63
Figura 17. Correlación espacial entre el perfil longitudinal y la ubicación del punto crítico de energía (RS 7829) en la Quebrada Panamá	69
Figura 18. Mapa de isobatas para un periodo de retorno de 100 años.....	71
Figura 19. Mapa de Isotacas para un periodo de retorno de 100 años	72

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Figura 20. Mapa de zonificación por avenidas torrenciales en el municipio de San Joaquín a escala 1:25 000. Esquema del área de estudio a escala 1:6 000	72
Figura 21. Porcentajes del área urbana afectada asociada a la amenaza por avenidas torrenciales correspondiente a un periodo de retorno de 100 años del municipio de San Joaquín.....	74

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Formatos para la caracterización de avenidas torrenciales.....	87
Apéndice B. Formato para la caracterización de macizo rocoso.....	91
Apéndice C. Formatos para la caracterización de Movimientos en Masa.....	92
Apéndice D. Hietogramas para cada uno de los periodos de retorno analizados.	94

Resumen

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

Autores: Jhon Mario Carreño Galvis y Shaireth Gizell Carvajal Sinuco**

Palabras Clave: Avenidas torrenciales, Modelación hidrológica, HEC-HMS, Modelación hidráulica, HEC-RAS, Zonificación de amenaza, San Joaquín

Descripción: Las avenidas torrenciales constituyen uno de los fenómenos hidrometeorológicos más destructivos en regiones montañosas andinas como Colombia, capaces de generar pérdidas humanas, daños a infraestructuras y alteraciones ambientales significativas. En este contexto, en el municipio de San Joaquín (Santander), la quebrada Panamá representa una amenaza recurrente para el casco urbano, con eventos de avenidas torrenciales documentados por la prensa en 2021 y 2023. Para abordar esta problemática, este estudio tiene como objetivo generar un modelo de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25 000 en el sector hidrográfico de la quebrada Panamá, mediante una metodología de enfoque multivariado siguiendo parcialmente los lineamientos de la Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Para el análisis, se construyó un inventario de 272 movimientos en masa mediante fotointerpretación de imágenes satelitales entre 1969 y 2025, identificando deslizamientos (42%), flujos (57%) y flujos no canalizados (1 %), posteriormente se realizó un análisis pluviométrico de 46 años de registros de la estación San Joaquín (1979–2024), ajustado mediante la distribución Log-normal con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años; a partir de estos insumos se desarrolló el modelo hidrológico en HEC-HMS, obteniendo caudales pico que van desde 183.3 m³/s para Tr=2 años hasta 540.2 m³/s para Tr=100 años. Con estos caudales como entrada, se ejecutó el modelo hidráulico en HEC-RAS, generando mapas de isobatas e isotacas para el escenario crítico Tr=100 años, con profundidades máximas de 6.34 m y velocidades máximas de 7.55 m/s, y un área total inundada de 0.51 km². El mapa de zonificación de amenaza resultante clasifica el área urbana de 0.18 km² en tres categorías: amenaza alta con un 25% (0.045 km²), amenaza media con un 35% (0.063 km²); y amenaza baja con un 40% (0.072 km²). Los resultados obtenidos constituyen un insumo técnico directo para el Plan de Ordenamiento Territorial y la gestión del riesgo municipal de San Joaquín.

* Trabajo de Grado ** Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz. PhD. en Geología. Codirector: Leonardo Palmera Sánchez. Ms. C. en Geociencias

Abstract

Title: Model of the threat posed by torrential flooding for the Panama Creek hydrographic sector in the municipality of San Joaquín, Santander, on a scale of 1:25,000, using simulation with the HEC-HMS and HEC-RAS programs*

Authors: Jhon Mario Carreño Galvis y Shaireth Gizell Carvajal Sinuco

Key Words: Torrential floods, Hydrological modeling, HEC-HMS, Hydraulic modeling, HEC-RAS, hazard zoning, San Joaquín

Description: Debris flows constitute one of the most destructive hydrometeorological phenomena in Andean mountainous regions like Colombia, capable of causing human casualties, infrastructure damage, and significant environmental alterations. In the municipality of San Joaquín (Santander), the Panamá stream represents a recurrent threat to the urban area, with documented events in 2021 and 2023. To address this problem, this study aims to generate a debris flow hazard model at a 1:25,000 scale in the hydrographic sector of the Panamá stream, using a multivariate approach methodology under the guidelines of the Methodological and partially aligning with the Guide for Debris Flow Hazard Zoning by the Colombian Geological Survey (SGC). For the analysis, a landslide inventory of 272 mass movements was constructed through photointerpretation of satellite imagery between 1969 and 2025, identifying slides (42%), flows (57%), and unchannelized flows (1%). Subsequently, a rainfall analysis was conducted using 46 years of records from the San Joaquín station (1979–2024), fitted to the Log-normal distribution for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years. Based on these inputs, the hydrological model was developed in HEC-HMS, obtaining peak flows ranging from 183.3 m³/s (Tr = 2 years) to 540.2 m³/s (Tr = 100 years). With these discharges as input, the hydraulic model was executed in HEC-RAS, generating depth and velocity maps for the critical scenario of Tr=100 years, with maximum depths of 6.34 m, maximum velocities of 7.55 m/s, and a total flooded area of 0.51 km². The resulting threat zoning map classifies the 0.18 km² urban area into three categories: high threat with 25 % (0.045 km²), medium threat with 35 % (0.063 km²), and low threat with 40 % (0.072 km²). These results constitute a direct technical input for the Territorial Planning Plan (POT) and municipal risk management in San Joaquín.

* Degree Work **Faculty of Physical Chemistry. School of Geology. Director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz. PhD in Geology. Codirector: Leonardo Palmera Sánchez. Master of Science in Geosciences.

Introducción

La ley 1523 de 2012 (por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres en Colombia) define la amenaza como el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana, se presente con la suficiente severidad para causar daños (Ley 1523, 2012). Como también se considera la severidad para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales

En este sentido, los fenómenos de origen natural, y en especial para este estudio, las avenidas torrenciales se definen como flujos violentos de agua en una cuenca, a veces reportados como crecientes o torrentes. Estas avenidas transportan diferentes materiales como: troncos de árboles y abundantes sedimentos, desde finos hasta bloques de roca. Este fenómeno puede ser generado por lluvias, sismos, ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca (Parra Vasquez, 2024), lo que las convierte en una amenaza para las comunidades asentadas en zonas de montaña (Caballero Acosta, 2011).

Sin embargo, cuando ocurren eventos naturales como una avenida torrencial, los gobiernos en todos sus niveles ponen en marcha imponentes mecanismos de rescate y ayuda; las políticas de prevención, por lo general, tienen un interés limitado, dado que la inversión destinada a ese rubro produce muchos menos dividendos políticos que la de auxiliar víctimas o inaugurar obras (Hermelin, 2005), Esto, junto con la deficiente ordenación territorial, ha

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

sido un factor crucial en la afectación de las comunidades ante grandes desastres naturales, tanto a escala mundial como nacional.

Un análisis de los registros de muertes anuales por desastres naturales entre los años 2000 y 2025 muestra que la combinación de inundaciones y movimientos en masa acumula cifras críticas: 5.311 muertes en 2002, un pico de 14.574 en 2010 y 12.028 fallecidos en 2013, según Ritchie et al., (2025). En zonas de alta montaña, la convergencia de estos factores genera una mayor susceptibilidad ante detonantes que pueden provocar inundaciones y movimientos en masa, representando niveles de amenaza significativos para dichas comunidades. Un ejemplo nacional fue la avenida torrencial ocurrida en San Carlos (Antioquia) en septiembre de 1990, donde se registraron varios cientos de deslizamientos, una avenida torrencial y un fuerte socavamiento de cauces. Las consecuencias catastróficas incluyeron decenas de muertes, aproximadamente 260 personas evacuadas y 57 viviendas entre destruidas y averiadas, además de daños en varios puentes y la destrucción de la Central Hidroeléctrica de Calderas, con pérdidas estimadas en USD 6.000.000 (Hermelin, 2005). Este evento junto a otros importantes registrados como en Rio Fraile (Valle), en 1994 y en La Estrella en el año 2000 (Hermelin, 2005) dejó enseñanzas respecto a los desafíos del manejo del riesgo natural y la necesidad de incorporar esquemas de prevención de desastres.

Mediante una metodología de enfoque multivariado y siguiendo parcialmente los lineamientos de la Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2021), e integrando el referente metodológico de Valencia Ortiz y Martínez-Graña (2024) se realizó el análisis y evaluación de la amenaza

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

por avenidas torrenciales en el sector hidrográfico de la quebrada Panamá en el municipio de San Joaquín, Santander.

El desarrollo de esta investigación implicara una serie de estudios complementarios sobre el sector hidrográfico de la quebrada Panamá, que abarcan desde la caracterización estadística de las precipitaciones máximas y la estimación de periodos de retorno a partir de registros históricos, hasta la generación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) propias para la región de estudio. A partir de estos insumos, el análisis hidrológico (ejecutado mediante HEC-HMS con el método del Número de Curva, SCS-CN) y el análisis hidráulico (desarrollado en HEC-RAS) permitieran caracterizar el comportamiento del flujo torrencial en términos de profundidad y velocidad para distintos escenarios de diseño. Finalmente, la integración de todos estos elementos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), a través de un análisis multicriterio, generara el mapa de zonificación de amenaza a escala 1:25 000 por avenidas torrenciales para la región de estudio. Este producto no solo visualizará las zonas de mayor amenaza, sino que constituirá un insumo técnico objetivo para orientar la ocupación adecuada del territorio y apoyar la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo en el municipio de San Joaquín.

1. Planteamiento del problema

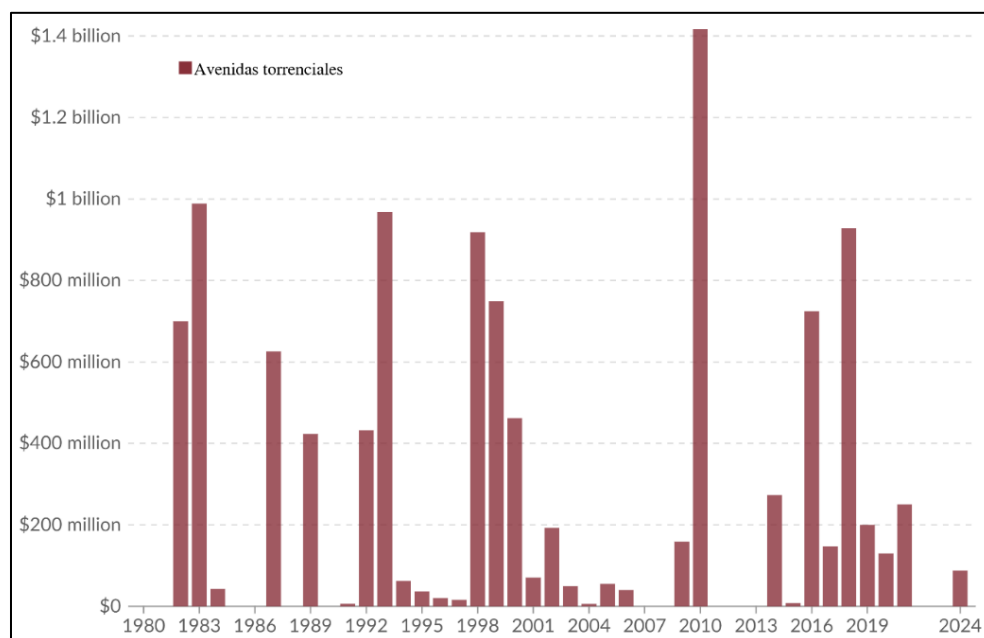
Las avenidas torrenciales, según Aristizábal et al. (2020), representan una de las amenazas hidrometeorológicas más destructivas a nivel global, definidas como crecidas repentinas que arrastran sedimentos, rocas y material orgánico, pueden devastar comunidades

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

enteras, causando pérdidas significativas en vidas humanas, infraestructura y pérdidas económicas. Un ejemplo de la magnitud de este fenómeno es el costo global por desastres naturales, que para el año 2010 se estimó en \$1.4 billones de dólares (Ritchie et al., 2025) cómo se observa en la Figura 1.

Figura 1

Daños económicos cuantificados en dólares por año, por tipo de desastre natural. Adaptado de Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2025).



En Colombia, a pesar de ser una amenaza natural recurrente, su estudio ha sido limitado. Entre 1985 y 1995 se registraron más de 40 avenidas torrenciales destructivas, con un saldo de más de 200 muertos y graves daños en infraestructura, sistemas de energía, vías y suelos

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

cultivables (Hermelin, 2005). Estos eventos, aunque menos frecuentes que otros desastres naturales, tienen un alto potencial de daño en el país según el IDEAM (2013).

Según Aristizábal et al. (2020), dependiendo de la zona, las avenidas torrenciales varían su intensidad siendo la región andina donde se tiene un mayor número de registros. En la Tabla 1 se presenta el acumulado del número, fatalidades y personas afectadas, así como el número de viviendas afectadas y destruidas por procesos de avenidas torrenciales para cada una de las regiones del país desde el año 1988 al año 2017. En Santander se han registrado 64 eventos de avenidas torrenciales con un saldo de 268 muertos entre 1914 y 2018 (UNGRD, 2025).

Tabla 1

Número de eventos, personas y bienes afectados para cada una de las regiones naturales de Colombia.

Región natural	Numero de registros	Personas fallecidas*	Personas afectadas**	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas
Amazonía	36	458	51 255	2 689	582
Andina	803	1 815	558 386	8 268	9 208
Caribe	126	433	176 924	6 899	2 193
Orinoquía	62	118	284 288	308	87
Pacífico	331	494	193 912	5 530	1 628
Total	1 358	3 318	1 264 705	23 694	13 698

Nota. Entre las personas fallecidas se incluyen los reportes de muertos y desaparecidos. **Entre las personas afectadas se incluye heridos, damnificados y afectados. Tomado de Aristizábal et al. (2020).

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Finalmente, enfocando la atención en la zona de estudio, en mayo de 2023, una avenida torrencial afectó a más de mil personas, según datos de la Gobernación de Santander, este evento tuvo lugar en las quebradas Panamá y La Leona, causando daños significativos en múltiples veredas dejándolas sin suministro de agua potable, y afectando a más de 600 personas, además, la emergencia impactó una vía de importancia estratégica que conecta a más de tres departamentos (Blu radio, 2025).

La posibilidad de que se generen nuevas avenidas torrenciales en la quebrada Panamá es notable, siendo evidente la necesidad de elaborar un mapa de zonificación de amenazas por avenidas torrenciales y comenzar así a dar mayor importancia a la gestión de los eventos naturales.

2. Justificación

La presente investigación se fundamenta en el compromiso de Colombia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. En concordancia con estos lineamientos, la Ley 1523 de (2012); estructura el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas.

No obstante, la escasez de modelos técnicos detallados que evalúen la amenaza de avenidas torrenciales dificulta la planificación territorial y la implementación de estrategias

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

de mitigación, dejando a poblaciones como la de San Joaquín en una condición de vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.

En respuesta a esta problemática, este estudio se enfoca en el análisis hidrológico e hidráulico del sector hidrográfico de la quebrada Panamá. Para ello, se plantea la recopilación y tratamiento de información geológica, hidrológica y meteorológica y el desarrollo de un modelo computacional mediante los programas HEC-HMS y HEC-RAS, integrados en un Sistema de información geográfica (SIG).

Este estudio permitirá simular escenarios torrenciales representativos del comportamiento hidrológico de la cuenca, con el propósito de generar una zonificación cartográfica de amenaza a escala 1:25 000 que sirva como insumo técnico.

Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados por entidades como la Alcaldía municipal de San Joaquín, las Juntas de Acción Comunal, la UNGRD y la Gobernación de Santander para diseñar estrategias de prevención y respuesta ante futuras emergencias. Además, se promoverá la divulgación de los hallazgos a la comunidad local mediante campañas de sensibilización y su posible integración en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Elaborar un modelo de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25 000 en el sector hidrográfico de la quebrada Panamá ubicada en el municipio de San Joaquín, Santander, mediante el análisis de variables geológicas, hidrológicas y climáticas, siguiendo la metodología propuesta por el servicio geológico (2021) e integrando la metodología propuesta por Valencia y Martinez (2024).

3.2 Objetivos específicos

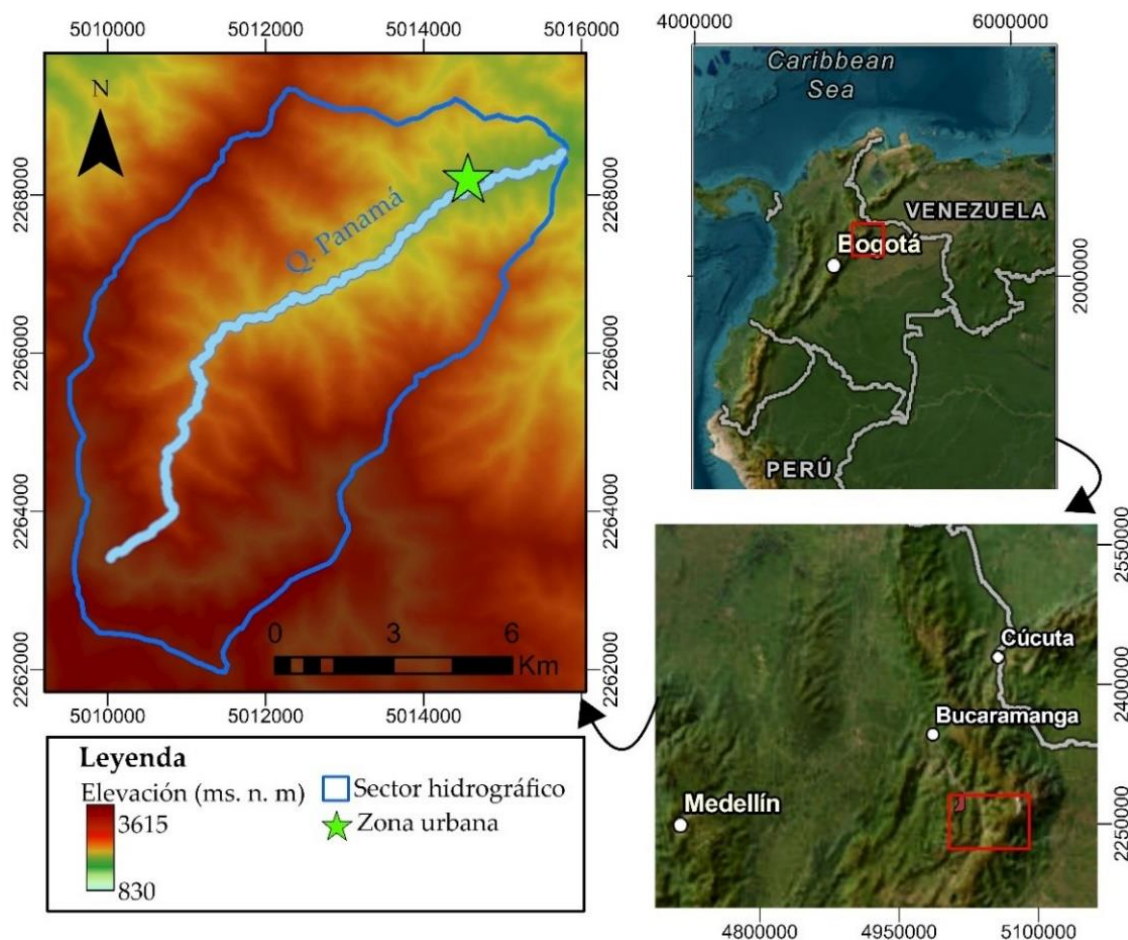
- Caracterizar la información geológicas, meteorológicas e hidrológicas, a partir de información proveniente de fuentes oficiales y registros históricos.
- Evaluar los factores condicionantes y detonantes de las avenidas torrenciales en el sector hidrográfico de la quebrada Panamá mediante el procesamiento y análisis de datos en los programas HEC-HMS y HEC-RAS, identificando patrones y tendencias espaciales de la amenaza.
- Generar un modelo computacional para la simulación de escenarios de amenaza por avenidas torrenciales, considerando la interacción de las variables geológicas, hidrológicas y meteorológicas.
- Elaborar una zonificación cartográfica escala 1:25 000, representado por el modelo de amenaza por avenidas torrenciales, con el propósito de proporcionar insumos técnicos para la gestión del riesgo y la planificación territorial en el municipio de San Joaquín.

4. Localización

La zona de estudio (Figura 2) comprende el casco urbano y parte del sector rural del municipio de San Joaquín (Santander), específicamente el área de la red hidrográfica de la quebrada Panamá la cual tiene un área de 26.76 km². El municipio se extiende en dirección noroeste a sureste y tiene una extensión de 192 km², de los cuales 0,18 km² corresponden al área urbana. Limita al norte y oriente con el municipio de Onzaga, al occidente con Mogotes y al sur con el departamento de Boyacá. Se encuentra situado en la provincia de Guanentá, a una distancia de 145 kilómetros de Bucaramanga, la capital de Santander (Alcaldía Municipal de San Joaquín Santander, 2001).

Figura 2

Mapa de la localización de la zona hidrográfica de la Quebrada Panamá. El mapa se encuentra en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Nacional, EPSG: 9377.



El municipio de San Joaquín se localiza sobre la Cordillera Oriental de los Andes, en un territorio de topografía montañosa: las elevaciones alcanzan hasta 3615 ms. n. m. en el extremo sur del municipio, mientras que su punto más bajo se ubica al norte, con 830 ms. n. m., y presenta una altitud media de 1974 ms. n. m. En cuanto al régimen climático, la distribución de las lluvias a lo largo del año no es uniforme: durante los últimos 10 años, la

mayor cantidad de precipitaciones se ha registrado entre los meses de abril y noviembre, mientras que la temporada más seca se presenta entre diciembre y febrero (IDEAM, 2025).

5. Contexto Geológico y Geomorfológico

El municipio de San Joaquín se localiza en el flanco suroccidental del Macizo de Santander, una región caracterizada por un fuerte control estructural ejercido por fallas y fracturas, las cuales condicionan la configuración geomorfológica, favorecen la meteorización del macizo rocoso y generan zonas de debilidad susceptibles al desarrollo de movimientos en masa (Goyes Peñafiel, 2024). En consecuencia, estos controles estructurales constituyen un factor determinante en la generación de sedimentos que pueden ser incorporados al cauce durante eventos de precipitación intensa. Litológicamente, la zona está compuesta por rocas metamórficas del supereón Precámbrico, cuerpos ígneos intrusivos y depósitos cuaternarios. De acuerdo con Mantilla et al. (2018) las unidades que afloran en la zona de estudio (Figura 3) corresponden a la Formación Silgará, la Formación Floresta (miembro metamorfoseado), el Granito de Pescadero y depósitos cuaternarios.

Figura 3

Mapa geológico de la zona hidrográfica de estudio. Mapa modificado de Hernández & Navas (2025).

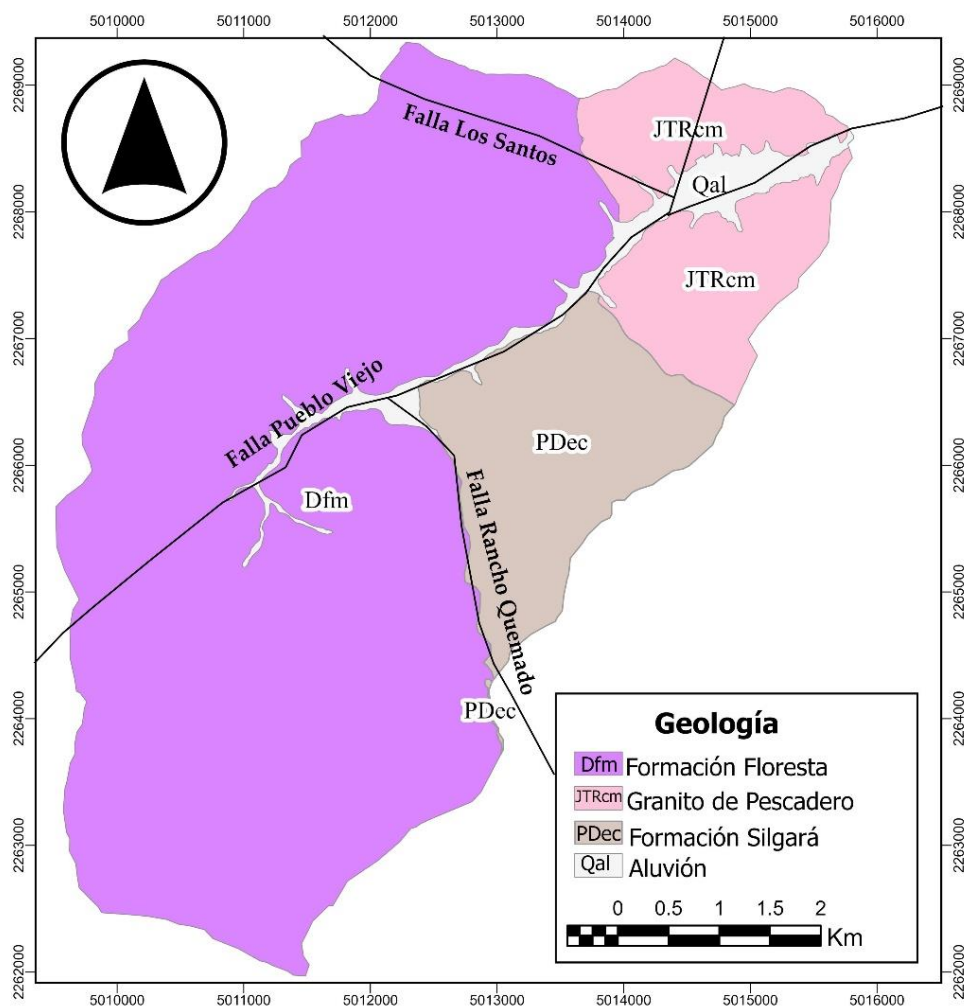


Tabla 2*Unidades geológicas aflorantes en la red hidrográfica de estudio.*

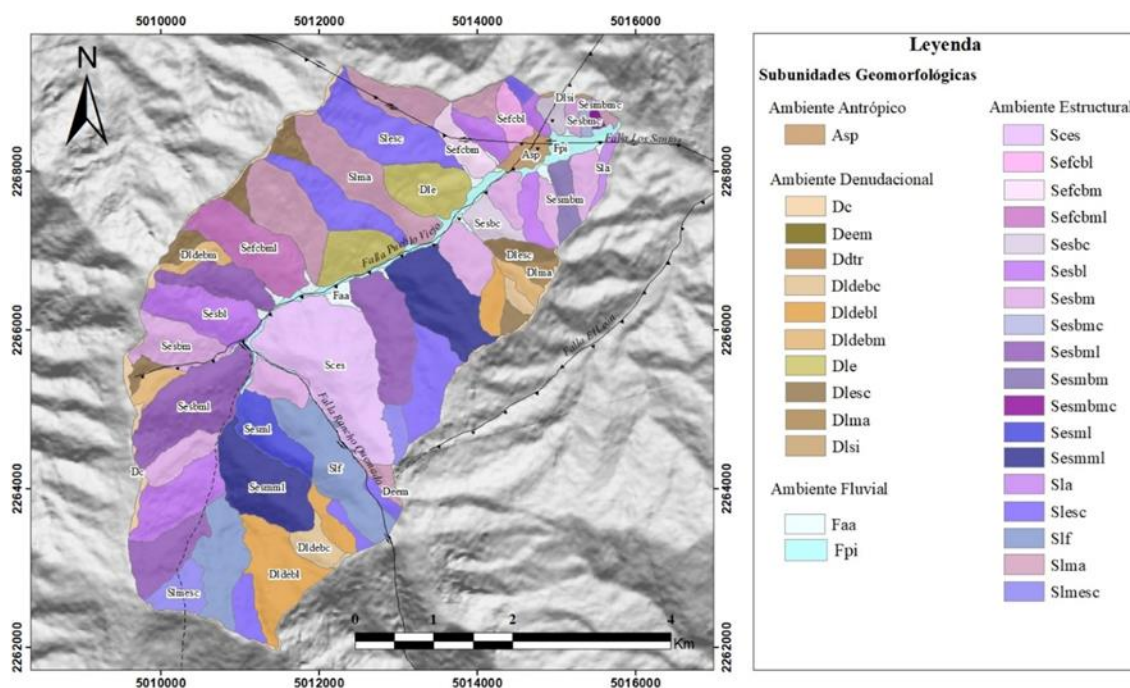
Código	Unidad	Litología
Qal	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Gravas, arenas y limos
JRcm	Granito de Pescadero	Granitos rosados, cuarzomonzonitas biotíticas blancas a rosadas y riolitas gris
Dfm	Formación Floresta	Esquistos verdes que ocasionan pizarras arcillosas a filitas
PDs	Formación Silgara	Conjunto de filitas, esquistos y cuarcitas de bajo a medio grado de metamorfismo

Nota. La tabla presenta las unidades geológicas aflorantes en el sector hidrográfico de la quebrada Panamá, ordenadas de acuerdo con su edad geológica desde la más reciente hasta la más antigua. Incluye su litología predominante. Adaptado de Goyes Peña (2024).

La caracterización geomorfológica de la red hidrográfica se basó en la cartografía a escala 1:25 000 elaborada por Hernández & Navas (2025). Identificando 31 subunidades distribuidas en cuatro ambientes geomorfológicos (Figura 4).

Figura 4

Mapa de subunidades geomorfológicas para la zona de estudio. Mapa modificado de Hernández & Navas (2025).



El ambiente denudacional es el predominante en el área de estudio con el 60% de la superficie total, seguido por el estructural (32%), el fluvial (6%) y el antrópico (2%). La clasificación detallada de las 31 subunidades identificadas se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Subunidades geomorfológicas de la zona de estudio.

Ambiente	Acrónimo	Unidad	Area (Km ²)
Antrópico	Asp	Superficies de explanación	0.18
	Dc	Cima	0.73

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Ambiente	Acrónimo	Unidad	Area (Km ²)
Denudacional	Deem	Escarpe de erosión mayor	0.28
	Ddtr	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional	0.14
	Dldebc	Lomo denudado bajo de longitud corta	2.34
	Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	1.64
	Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	0.45
	Del	Ladera erosiva	0.23
	Dlesc	Ladera escarpada	2.75
	Dlma	Ladera muy abrupta	1.4
	Dlsi	Ladera suavemente inclinada	0.02
Fluvial	Faa	Abanico aluvial	0.23
	Fpi	Plano o llanura de inundación	1.06
Estructural	Sces	Colina estructural	0.29
	Sefcbl	Espolón faceteado bajo de longitud larga	0.22
	Sefcbm	Espolón faceteado bajo de longitud media	0.28
	Sefcbml	Espolón facetado bajo de longitud muy larga	0.89
	Sesbc	Espolón bajo de longitud corta	0.38
	Sesbl	Espolón bajo de longitud larga	2.29
	Sesbm	Espolón bajo de longitud media	3.20
	Sesbmc	Espolón muy bajo de longitud muy corta	0.06
	Sesbml	Espolón bajo de longitud muy larga	3.87
	Sesmbmc	Espolón bajo de longitud larga	0.03
	Sesml	Espolón moderado de longitud larga	1.11
	Sesmml	Espolón moderado de longitud muy larga	1.99
	Sla	Ladera abrupta	0.10
	Slesc	Ladera escarpada	2.66

Ambiente	Acrónimo	Unidad	Area (Km ²)
	Slf	Lomo de falla	3.23
	Slma	Ladera muy abrupta	2.83
	Slmesc	Ladera muy escarpada	0.18

6. Estado del arte

El estudio de las avenidas torrenciales y la generación de modelos para el análisis de la amenaza en Colombia ha generado interés técnico e importancia debido al riesgo que representan para las comunidades. A continuación, se describen los trabajos que sirven como antecedente a esta investigación (Tabla 4).

Aristizábal et al. (2020) resaltan la importancia de integrar modelos hidrológicos e hidráulicos con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Su estudio considera factores geológicos y detonantes como sismos y lluvias intensas para evaluar el riesgo por inundaciones súbitas en el país.

En el contexto local, Castro & Ibáñez (2024) analizaron las avenidas torrenciales y flujos de detritos en la cuenca de la quebrada La Leona, en San Joaquín. Este trabajo documenta la dinámica geomorfológica e hidrológica de una cuenca vecina con características similares a la quebrada Panamá, aportando datos sobre los procesos torrenciales en el municipio del presente proyecto.

Asimismo, Parra Vásquez (2024) realizó una comparación de modelos hidráulicos en la quebrada Botijas, Santander. Utilizó HEC-RAS para evaluar flujos newtonianos y no newtonianos, demostrando que, al incluir la carga sólida en la simulación, el área de amenaza

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

aumenta un 17% para un periodo de retorno de 100 años respecto a los modelos convencionales. Este hallazgo es relevante para contextualizar el alcance metodológico de incorporar sólidos al modelo hidráulico.

Por otro lado, Valencia y Martínez (2024) evaluaron el riesgo por inundaciones en el área metropolitana de Bucaramanga. Aplicaron modelos hidrológicos e hidráulicos para clasificar la exposición urbana en cinco niveles de peligrosidad según periodos de retorno, enfocándose en la reducción de la vulnerabilidad mediante la planificación basada en evidencia ambiental, siendo un enfoque metodológico directamente aplicable al contexto del municipio de San Joaquín.

Además, Ramos et al. (2023) trabajaron en la definición de umbrales de alerta temprana en Mocoa, Colombia al combinar modelación física y análisis probabilísticos para establecer niveles críticos de precipitación y caudal, buscando reducir la incertidumbre en los sistemas de alerta de cuencas andinas.

En cuanto a herramientas de modelación, Sahu et al. (2023) revisaron la aplicación de HEC-HMS en diferentes cuencas. Concluyeron que el programa es versátil para trabajar con el método SCS-CN en regiones con alta variabilidad hídrica lo que fundamenta teóricamente su uso como herramienta central en el presente estudio, siendo la base para el cálculo de hidrogramas.

Adicionalmente, El-Bagoury & Gad (2024) demostraron la efectividad del enfoque integrado HEC-HMS/HEC-RAS con SIG para la evaluación de la amenaza torrencial en cuencas de montaña con datos escasos, obteniendo mapas de riesgo con clasificación en amenaza alta, extrema y media para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años; esquema metodológico directamente comparable al adoptado en este trabajo. Finalmente, Olcina &

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Oliva (2020) argumentan que las medidas estructurales como canalizaciones, comúnmente implementadas tras eventos catastróficos, pueden resultar ineficaces o generar una falsa sensación de seguridad; mientras que la cartografía de la amenaza, entendida como una medida no estructural, ofrece una vía más efectiva y sostenible para la gestión del riesgo de inundación, especialmente en contextos urbanos.

Este planteamiento refuerza la pertinencia del mapa de zonificación de amenaza a escala 1:25 000 generado en el presente estudio como insumo técnico aplicable al Plan de Ordenamiento Territorial y a la gestión del riesgo municipal de San Joaquín.

Tabla 4

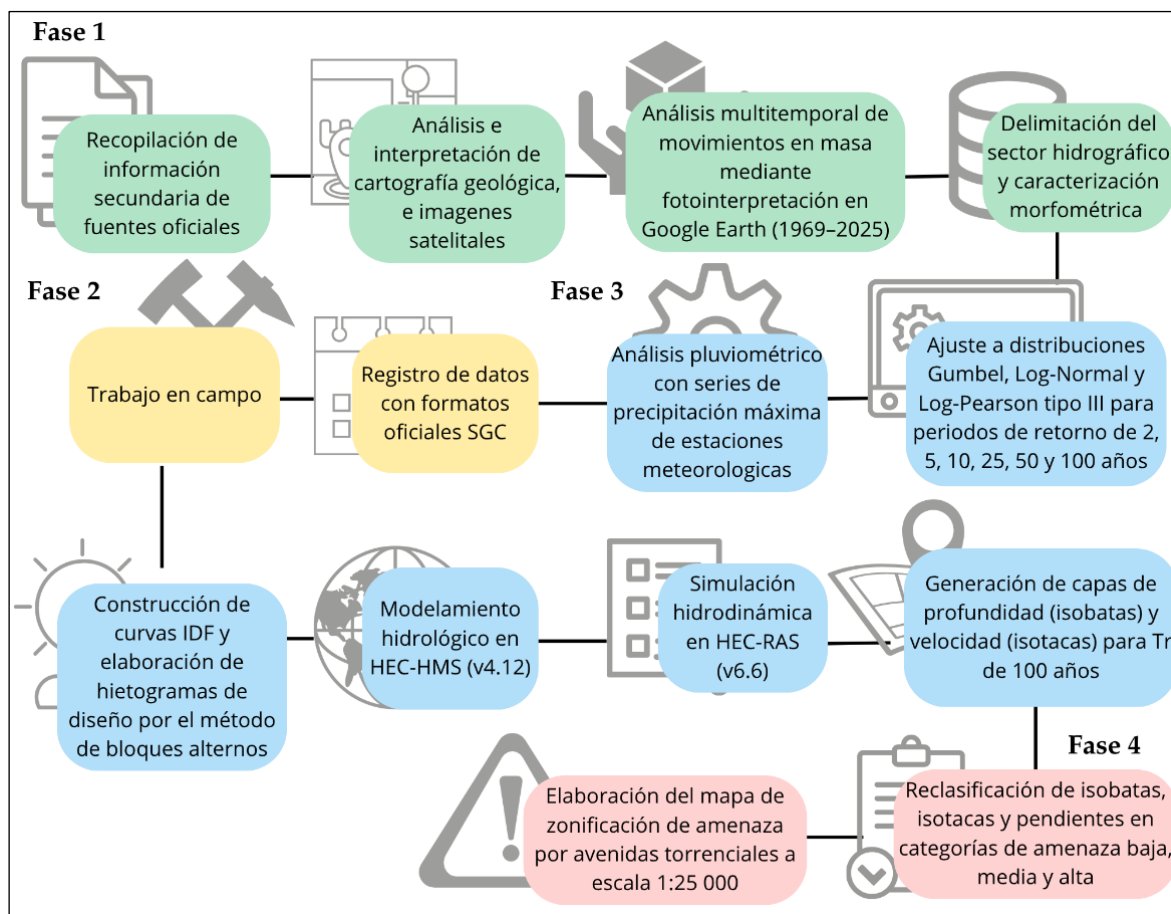
Síntesis de artículos científicos seleccionados.

Autores	Objetivo	Resultados
Aristizábal et al. (2020)	Integrar modelos hidrológicos e hidráulicos con SIG para evaluar riesgo por inundaciones súbitas en Colombia.	Marco metodológico para la evaluación de amenaza considerando factores geológicos y detonantes múltiples.
Castro & Ibáñez (2024)	Analizar avenidas torrenciales y flujos de detritos en la quebrada La Leona, San Joaquín.	Documentación de la dinámica geomorfológica e hidrológica de una cuenca vecina a la quebrada Panamá.
Parra Vásquez (2024)	Comparar modelos hidráulicos newtonianos y no newtonianos en la quebrada Botijas, Santander.	Incluir carga sólida incrementa el área de amenaza en un 17% para un periodo de retorno de 100 años.
Valencia & Martínez (2024)	Evaluar la exposición al riesgo por inundaciones en el área metropolitana de Bucaramanga.	Infraestructura vulnerable clasificada en cinco niveles de peligrosidad según periodos de retorno.

Ramos et al. (2023)	Definir umbrales probabilísticos de alerta temprana para cuencas andinas en Mocoa, Colombia.	Niveles críticos de precipitación y caudal con menor incertidumbre para sistemas de alerta.
Sahu et al. (2023)	Revisar la aplicación de HEC-HMS en cuencas con alta variabilidad hídrica.	HEC-HMS con método SCS-CN es versátil y confiable en regiones de alta variabilidad hídrica.
El-Bagoury & Gad (2024)	Evaluar amenaza torrencial en cuencas de montaña con datos escasos mediante HEC-HMS/HEC-RAS y SIG.	Mapas de amenaza clasificados en alta, extrema y media para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.
Olcina & Oliva (2020)	Comparar medidas estructurales frente a cartografía de amenaza como estrategias de gestión del riesgo.	La cartografía de amenaza es más efectiva y sostenible que las canalizaciones como medida de gestión.

7. Metodología

La presente investigación se estructuró metodológicamente en cuatro fases principales, basadas parcialmente en la Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del SGC (2021) y tomando como referente metodológico adicional la propuesta de Valencia y Martínez (2024). Cada fase se orientó al cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto, las fases correspondientes son: (1) Recopilación bibliográfica, (2) Fase de campo, (3) Análisis pluviométrico y modelamiento y (4) zonificación de la amenaza (Figura 5).

Figura 5*Metodología establecida para el proyecto.*

7.1 Fase 1: Recopilación bibliográfica

La primera fase comprendió la recopilación de información secundaria proveniente de fuentes oficiales. Los insumos consultados comprendieron los inventarios del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA, 2025), los registros pluviométricos del IDEAM (2025). Se revisaron también las memorias explicativas del mapa geológico de Santander (2001) y de las planchas geológicas 136 – Málaga y 152 – Soatá del SGC, así como el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Joaquín (CAS, 2024).

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Toda la información cartográfica fue georreferenciada en el sistema de referencia geodésico oficial de Colombia, MAGNA-SIRGAS con Origen Nacional Único (EPSG: 9377). Adicionalmente, se descargaron imágenes satelitales ALOS PALSAR con resolución espacial de 12,5 m del portal Alaska Satellite Facility (2025), con corrección radiométrica y topográfica, utilizadas como base para el modelo de elevación digital.

Paralelamente, se realizó un análisis multitemporal de movimientos en masa que se desarrolló mediante fotointerpretación de imágenes satelitales en Google Earth, con un rango temporal entre 1969 y 2025, registrando el área máxima y, con una precisión temporal a nivel de mes/año.

7.2 Fase 2: Campo

La salida de campo se realizó entre los días 20 y 29 de abril de 2025. El fin de esta fue la caracterización litológica de los depósitos, el análisis geomecánico del macizo rocoso y la identificación de evidencias de eventos torrenciales recientes, asimismo, se realizó la revisión técnica a uno de los movimientos en masa cercano al casco urbano para evaluar la inestabilidad del sector.

Para el registro de estos datos se utilizaron los formatos oficiales del SGC: el formato de caracterización de avenidas torrenciales (Apéndice A), el formato de caracterización del macizo rocoso a escala 1: 25 000 (Apéndice B) y el formato del Proyecto Multinacional Andino para movimientos en masa (Apéndice C).

Adicionalmente, se realizó la adquisición de datos batimétricos con un espaciamiento de 1 metros, tanto en sectores del casco urbano del municipio como en el cauce de la quebrada Panamá, con el fin de generar un modelo a escala 1:2 000 con el fin de enriquecer el modelo

hidráulico y mejorar la precisión de la simulación. Estos datos se adquirieron con la estación Global Navigation Satellite System (GNSS).

7.3 Fase 3: Análisis pluviométrico y modelamiento hidrológico e hidráulico

El análisis pluviométrico inició con la recopilación de series de precipitación máxima diaria anual del portal de datos hidrometeorológicos del IDEAM (2025), se consideran siete estaciones ubicadas en el área de influencia del municipio de San Joaquín: Aserrío, Escuela Agrícola Mogotes, San Joaquín, Pueblo Viejo, Molagavita, Molinos y Covarachia, con un registro histórico de 46 años entre 1979 y 2024.

La representatividad espacial de las estaciones se evaluó mediante polígonos de Thiessen (2006), determinando que la estación San Joaquín cubre la totalidad la zona de estudio, por lo que se trabajó con sus registros.

Posteriormente, las series se ajustaron a las distribuciones Gumbel, Log-Normal y Log-Pearson tipo III para la estimación de precipitaciones máximas en periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Chow et al., 1988). La selección de la distribución de mejor ajuste se realizó mediante la prueba Chi-cuadrado con un nivel de significancia del 5% utilizando el programa de libre acceso Hydrognomon. Debido a que esta prueba determina la aceptabilidad, pero no jerarquiza el ajuste, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente cuantifica el grado de ajuste de manera comparativa: cuanto más lejano a 1, más fielmente reproduce la distribución el patrón real de los datos. En la Figura 6 se representan las ecuaciones utilizadas en el análisis pluviométrico.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Con base en la distribución seleccionada, se construyeron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) mediante la metodología de Díaz-Granados (1998) adaptada a las condiciones hidrometeorológicas de la región andina. Finalmente, se elaboraron los hietogramas de diseño para cada periodo de retorno bajo el método de bloques alternos según la metodología de Chow et al. (1988), los cuales constituyen el insumo principal para el modelado hidrológico.

Para la estimación de los caudales de diseño, se desarrolló un modelo hidrológico en el programa HEC-HMS (versión 4.12), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU.

La delimitación y configuración del sistema se basó en la descarga de imágenes satelitales ALOS PALSAR con resolución de 12.5 m del portal Alaska Satellite Facility (ASF) (2025) necesarias para hacer el Modelo Digital de Elevación (MDE) el cual, fue corregido para asegurar la continuidad del flujo superficial, la identificación del cauce principal y el punto de salida en la desembocadura (Figura 7).

Figura 6

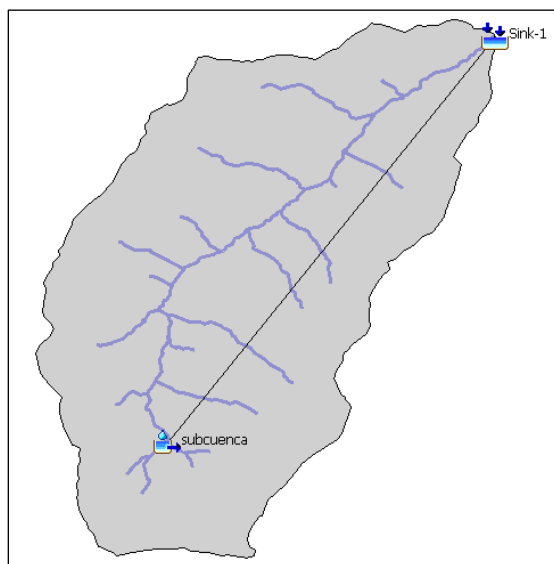
Síntesis de formulaciones estadísticas y matemáticas para el análisis pluviométrico; a) distribuciones estadísticas de probabilidad; b) pruebas de bondad de ajuste; c) formulas utilizadas para generar e análisis pluviométrico.

a) Distribuciones estadísticas de probabilidad Gumbel $\rho(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$ Log-Normal $f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, x > 0$ Log-Normal tipo III $y = \log(x) \rightarrow f(y) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)} \left[\frac{y-\gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{y-\gamma}{\alpha} \right]^\beta}$	b) Pruebas de bondad de ajuste Chi-cuadrado $\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$ Correlación de Pearson $r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}$ c) Curvas IDF e hietograma de diseño Curvas IDF $I = a \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT^f$ Hietograma de diseño $P_i = I_i \cdot t_i$
--	---

Nota. Elaboración propia basada en las metodologías de Chow et al. (1988) y Diaz-Granados (1998).

Figura 7

Esquema del modelo hidrológico en HEC-HMS, representando la subcuenca de aporte y el punto de salida (Sink-1) localizado en la desembocadura de la quebrada Panamá.



Las propiedades morfométricas del sector hidrográfico se determinaron mediante herramientas de análisis espacial en ArcGIS (Tabla 5 Insumos necesarios para calcular el tiempo de concentración a través del método de Kirpich (1940).

Tabla 5

Características morfométricas de la Cuenca de la quebrada Panamá generadas en ArcGIS.

Característica morfométrica	Valor
Área	26.76 km ²
Desnivel total	2.78 km
Longitud del cauce	8330 m
Pendiente media	57.24%
Tiempo de llenado	0.46 h

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Complementariamente, se asignó el Número de Curva (CN) siguiendo los lineamientos del Soil Conservation Service (SCS-USDA, 1972) como se citó en Chow et al. (1988). Para ello, se integró el Mapa de Coberturas de la Tierra a escala 1:25.000 del IDEAM (2025), correlacionándolo con el tipo de suelo hidrológico y la condición de humedad antecedente del sector.

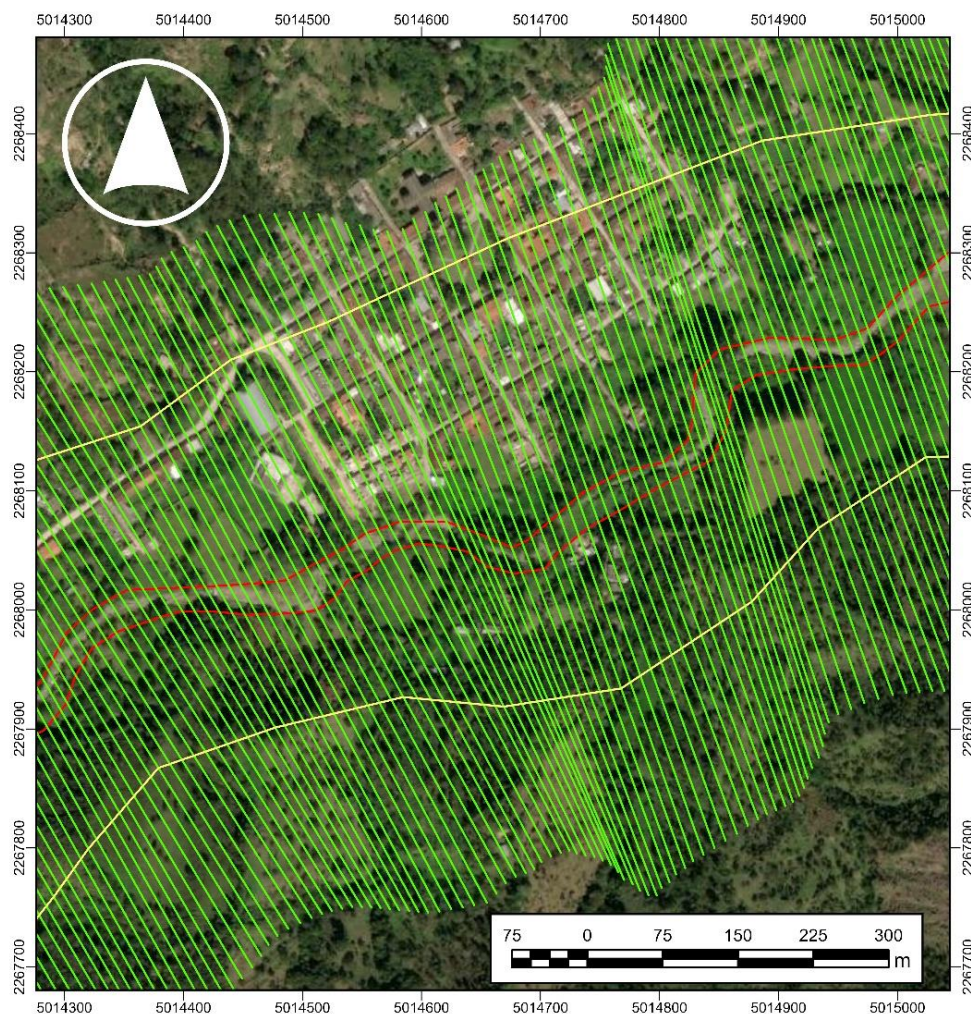
Finalmente, el modelo se configuró para determinar la lluvia efectiva a partir de los hietogramas de diseño. Mediante el método del Hidrograma Unitario del SCS descrito también por los autores mencionados anteriormente, se transformó la escorrentía directa en los caudales pico asociados a cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

La simulación hidrodinámica se realizó mediante el programa HEC-RAS (versión 6.6) y su extensión RAS Mapper, siguiendo los procedimientos técnicos establecidos en el HEC-RAS River Analysis System: User's Manual desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (2025).

Para la construcción de la geometría, el MDE corregido anteriormente fue procesado en ArcGIS para generar un modelo de Red de Triángulos Irregulares (TIN), el cual sirvió como base topográfica dentro de RAS Mapper. Sobre este insumo se trazó el eje del cauce, las márgenes y se incorporó una franja lateral de inundación definida según la morfología del terreno e imágenes satelitales, seguidamente, se generaron secciones transversales perpendiculares al cauce principal (Figura 8).

Figura 8

Representación de la geometría hidráulica en RAS Mapper: eje del cauce (Stream Centerline en color azul), márgenes (Bank Lines en color rojo), llanuras de inundación (Flow Path Lines en amarillo) y distribución de las secciones transversales de la quebrada Panamá (líneas verdes).



Los coeficientes de rugosidad de Manning (n) se asignaron mediante la reclasificación de la cartografía de cobertura y uso del suelo. Los valores asociados (Tabla 6)

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

se definieron según las recomendaciones del manual de HEC-RAS (2025), integrándose espacialmente a la geometría mediante un mapa en formato GeoTIFF.

Tabla 6

Coefficientes de rugosidad de Manning (n) utilizados en el modelado hidráulico.

Cobertura	Manning (n)
Agrícola pastos	0.045
Urbano	0.090
Agrícola cultivos	0.050
Residencial	0.080
Cauce	0.040

Nota. Adaptado del manual del usuario de HEC – RAS.

La simulación se configuró como flujo permanente (Steady Flow), ingresando los caudales pico obtenidos en HEC-HMS. Como condición de contorno (Boundary Conditions) tanto aguas arriba como aguas abajo, se estableció la profundidad crítica (Critical Depth). Este criterio se seleccionó debido a las pendientes pronunciadas de la quebrada Panamá, las cuales propician un régimen de flujo mixto.

Tras la ejecución, se generaron las capas de profundidad (isóbatas) y velocidad (isotacas) para el Tr de 100 años. Finalmente, los resultados se exportaron a ArcGIS con una resolución de un metro para el procesamiento cartográfico y la elaboración del mapa de zonificación de amenaza.

7.4 Fase 4: Zonificación de la amenaza

La elaboración del mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del SGC (2021) e integrando información geomorfológica, geológica, hidrológica e hidráulica en un entorno SIG mediante análisis multicriterio (Figura 9).

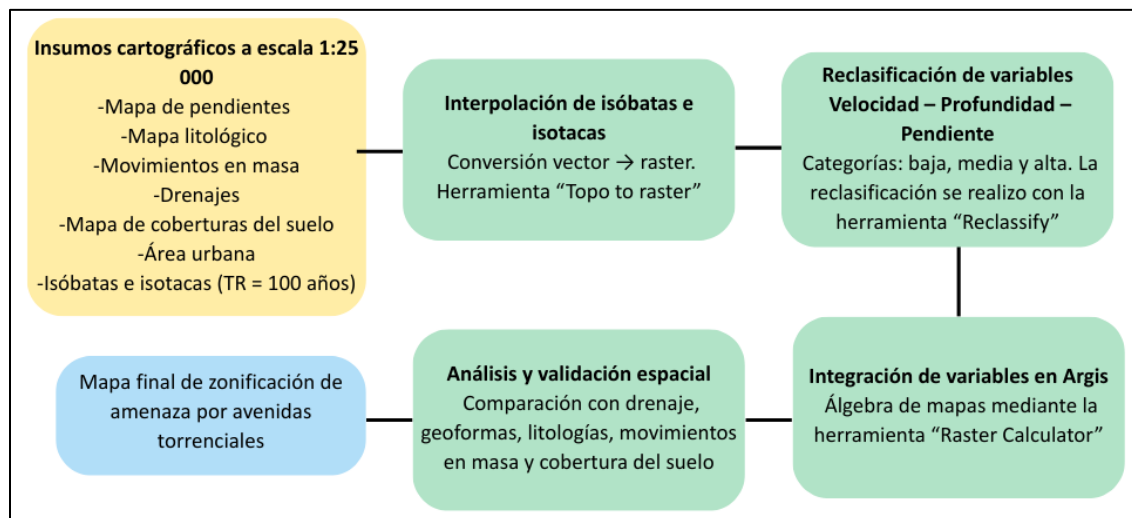
Como insumos base, se utilizaron capas de isobatas (profundidad), isotacas (velocidad) y pendientes, las cuales fueron reclasificadas en categorías de amenaza baja, media y alta siguiendo la Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación del IDEAM (2017) detallados en la Tabla 7.

Posteriormente se integraron mediante álgebra de mapas, asignando ponderaciones relativas a cada variable, como se detalla en la ecuación [1]. El resultado obtenido se validó bajo criterio experto mediante el cruce con capas de litología, inventario de movimientos en masa, red de drenaje y cobertura del suelo. Este proceso permitió ajustar la delimitación final de la amenaza.

$$\text{Raster de amenaza} = \text{Isotacas} * (0.5) + \text{Isobatas} * (0.3) + \text{Pendiente} * (0.2) \quad [1]$$

Figura 9

Flujograma del proceso realizado en ArcGIS para generar el mapa de zonificación de la amenaza.

**Tabla 7**

Parámetros de reclasificación para la capa ráster de isobatas, isotacas y pendientes.

Ráster	Amenaza baja	Amenaza media	Amenaza alta
Isobatas	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5
Isotacas	< 1	1 - 3	> 3
Pendiente	< 10	10 - 30	>30

8. Resultados

8.1 Inventario de procesos morfodinámicos

El inventario de movimientos en masa para la red hidrográfica de la quebrada Panamá es el insumo base para la caracterización de avenidas torrenciales según la guía metodológica del SGC (2021) y por ende se elaboró a partir de tres fases: La recopilación de datos de fuentes oficiales, el análisis multitemporal de imágenes satelitales y la validación directa en campo.

Inicialmente la base de datos se construyó utilizando información del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA, 2025) en donde se extrajeron siete registros de deslizamientos, de los cuales cinco corresponden a eventos de catálogo y dos a inventario, adicionalmente se hizo un registro de eventos históricos documentados en prensa local por Vanguardia y otros medios (2021; 2023; 2023b) asimismo, se realizó la expansión de la base de datos a través de fotointerpretación por medio de Google Earth Pro entre los años 1969 y 2025. Esta información es complementada con el análisis realizado en el área de estudio por Patarroyo y Roa (2026) y descrito en su tesis '*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*'.

Como resultado de este inventario (Figura 10), se identificaron 272 movimientos en masa, distribuidos por tipología así: flujos con 153 eventos (57%), deslizamientos con 116 eventos (42%) y flujos no canalizados con 3 eventos (1%).

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Esta identificación de movimientos en masa en las laderas constituye un factor crítico de ocurrencia de avenidas torrenciales en la quebrada Panamá, al ser estos eventos la principal fuente de carga sólida en cuencas de montaña según el SGC (2021) .

Adicionalmente para evaluar la magnitud de la inestabilidad, se calculó la Densidad de Movimientos en Masa (Dmm) relacionando el número de eventos con el área total de la cuenca, dando como resultado una densidad total de 10.16 eventos/km², como se aprecia en la Tabla 8.

Mientras que en cuencas con estabilidad moderada las densidades suelen ser inferiores a cinco eventos/km², el valor de 10.16 eventos/km² obtenido para la quebrada Panamá la clasifica como una cuenca de alta respuesta torrencial, llegando a 33.3 eventos/km² en los sectores de susceptibilidad Muy Alta (Patarroyo Silva & Roa Jaimes, 2026).

Este comportamiento es coherente con los umbrales de inestabilidad establecidos por Galvis Cobos & Cristancho Hernández (2025) para la misma red hidrográfica, quienes determinaron que lluvias acumuladas de 40.54 mm en los dos días previos a un evento presentan una probabilidad del 100% de detonar movimientos en masa para un $T_r=25$ años, y que precipitaciones antecedentes de 205.72 mm en 15 días incrementan significativamente la probabilidad de inestabilidad generalizada en las laderas de la cuenca. Bajo estas condiciones, cualquier evento de precipitación extrema no encontrará una ladera estable, sino un sistema ya fragmentado y predispuesto a fluir hacia el cauce principal.

Figura 10

Mapa de inventario de procesos morfodinámicos en la red hidrográfica de la quebrada Panamá. Modificado de Patarroyo y Roa (2026).

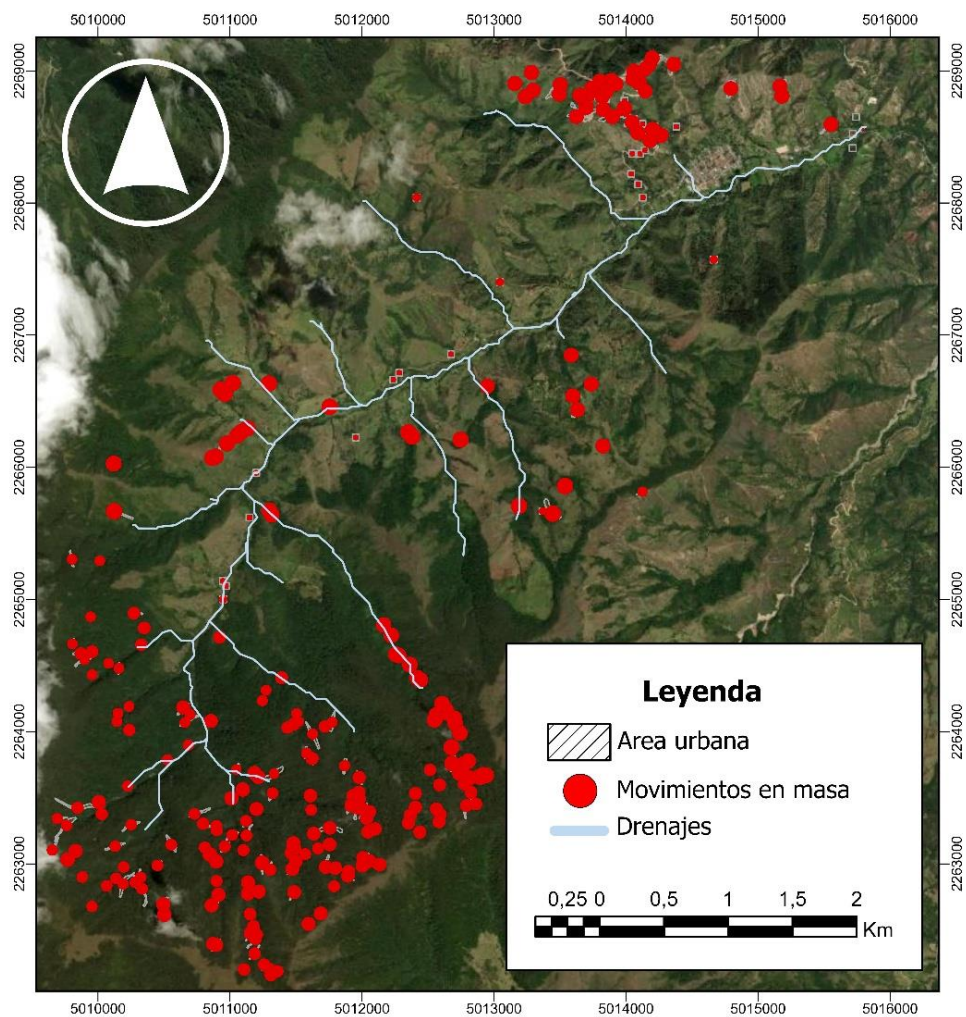


Tabla 8

Clasificación y densidad de incidencia de los procesos morfodinámicos identificados en la cuenca de la quebrada Panamá.

Tipología	Cantidad	Porcentaje	Densidad de eventos
Flujos	153	57%	5.72
Deslizamientos	116	42%	4.33
Flujos no canalizados	3	1%	0.11
Total	272	100%	10.16

El predominio de los flujos (57%) sobre los deslizamientos (42%) en el inventario de movimientos en masa refuerza este planteamiento, ya que indica que la mayor parte de los procesos morfodinámicos activos en la cuenca presentan un comportamiento saturado, aportando directamente sedimentos al sistema fluvial y potenciando el carácter torrencial de la quebrada Panamá ante eventos de precipitación extrema.

La distribución espacial de los eventos no es uniforme y muestra correlación con las zonas de influencia de las fallas Pueblo Viejo y Rancho Quemado. Esta concentración evidencia la degradación del macizo rocoso en dichos sectores, reduciendo su calidad geomecánica a niveles malos o muy malos, tal como lo indican Hernández Grimaldos & Navas Báez (2025).

El hecho de que el 47.4% del área total de la cuenca, correspondiente a las categorías de susceptibilidad Alta y Muy Alta, y sostengan 239 de los 272 procesos identificados,

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

confirma que la inestabilidad en la quebrada Panamá está regulada por controles estructurales y litológicos específicos. Bajo este contexto, los umbrales de lluvia establecidos por Galvis Cobos & Cristancho Hernández (2025) adquieren importancia: lluvias acumuladas de 40.54 mm en los dos días previos a un evento son suficientes para desestabilizar estas laderas ya comprometidas estructuralmente, generando aportes masivos de sedimentos al cauce principal. Esta clasificación confirma que el sistema posee tanto el aporte masivo de sedimentos identificado en el inventario como la capacidad de transporte necesaria para desencadenar eventos torrenciales de gran magnitud.

8.2 Trabajo de campo

A partir de la fotointerpretación y el control de campo, se identificaron los sectores de tránsito y las principales zonas de depósito (Figura 11). Asimismo, se realizó el levantamiento técnico de cinco puntos de control (SJ) que describen el aporte de material y la morfología del cauce. Los resultados obtenidos en campo permiten validar y complementar la cartografía geológica y geomorfológica del SGC, aportando evidencia directa sobre los procesos activos que condicionan la amenaza torrencial en la quebrada Panamá.

8.2.1 Caracterización del Macizo Rocosó

SJ-01: X: 1'098.542, Y: 1'265.874, Z: 2418 m s. n. m.

En la vereda Panamá se identificó un afloramiento de los Esquistos del Chicamocha (PDec), unidad metamórfica de bajo a medio grado compuesta por esquistos moscovíticos con cuarzo, biotita, magnetita y clorita, de estructura foliada en los niveles esquistosos y masiva en los lentes de cuarcita. El macizo presenta calidad GSI Mala con meteorización moderada a alta (Grado III) y dureza blanda a moderada.

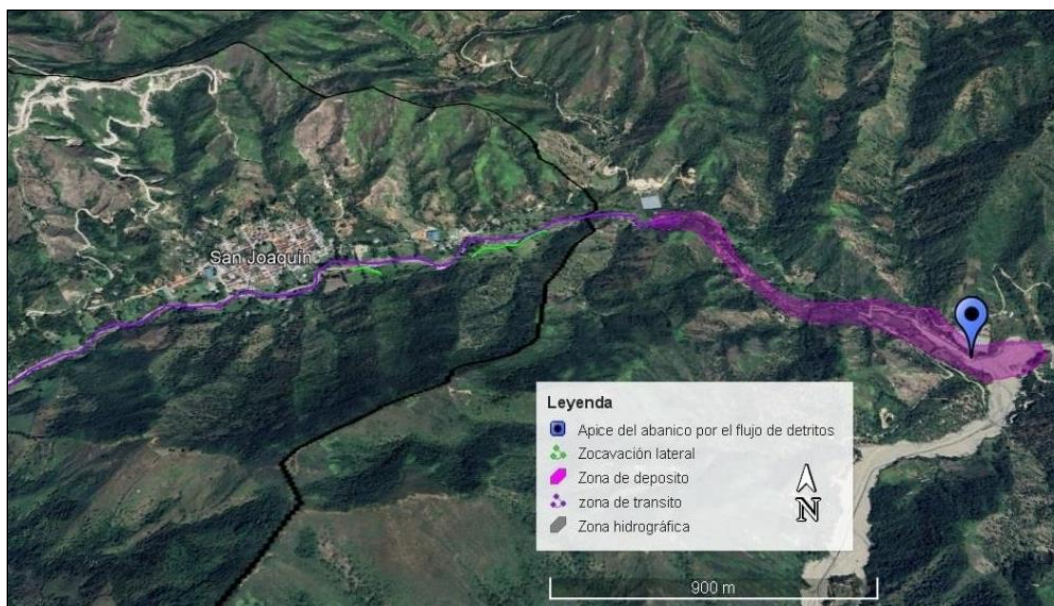
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Esta caracterización es coherente con lo reportado por Hernández Grimaldos & Navas Báez (2025), quienes identificaron para la Cuenca Panamá un predominio de rocas de calidad mala (32.11 %) y muy mala (30.07 %), siendo los Esquistos del Chicamocha clasificados en su cartografía como Rmeec (roca calidad mala de esquistos) y Rmmeec (roca calidad muy mala de esquistos) las unidades con mayor susceptibilidad a la inestabilidad superficial dentro de la cuenca. Estas unidades presentan suelos residuales derivados de tipo limo-arenoso (Srlaeec) y limo-arcilloso (Srlareec), materiales de baja cohesión y alta susceptibilidad a la saturación.

El control de campo en SJ-01 permitió precisar que el grado de meteorización Grado III es el factor local determinante: la alteración progresiva de los planos de foliación genera superficies de debilidad preferenciales para el deslizamiento que no son evidentes a escala 1:100 000 pero que son consistentes con la cartografía detallada de Hernández Grimaldos & Navas Báez (2025). Adicionalmente describen que la Falla Pueblo Viejo de cinemática sinistral con componente de retrocabalgamiento, dirección NE-SW, genera contactos fallados entre los Esquistos del Chicamocha y la Formación Floresta en la vereda Panamá, desarrollando zonas intensamente fracturadas y planos de debilidad que condicionan la meteorización y la susceptibilidad a movimientos en masa.

Figura 11

Fotointerpretación geomorfológica sobre imagen de Google Earth Pro de la dinámica torrencial aguas abajo del casco urbano de San Joaquín.

**8.2.2 Caracterización de Movimientos en Masa**

SJ-02: X: 1'101.271, Y: 1'269.401, Z: 2410 m s. n. m.

Sobre la vía de acceso al casco urbano, se identificó un movimiento en masa complejo (deslizamiento traslacional y flujo de detritos) en la Formación Floresta. El evento es de tipo activo y reactivado según la clasificación de Montero (2017), con una velocidad rápida (>1.8 m/h), un ancho de 120 m y un desnivel de 27 m desde la corona hasta el pie. Al estar en el área de influencia directa de la falla Pueblo Viejo, cuyo control estructural sobre la Formación Floresta propicia el cizallamiento del macizo en esta unidad, combinado con el bajo GSI observado, explica la magnitud del evento: un ancho de 120 m y un desnivel de 27

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

m son indicadores de que el volumen de material involucrado es significativo y que, ante condiciones de saturación del suelo, este material tiene alta probabilidad de reactivarse y aportar carga sólida directamente al sistema torrencial de la quebrada Panamá. En este sentido, SJ-02 no debe interpretarse como un evento aislado, sino como evidencia física del mecanismo de alimentación de sedimentos al cauce descrito en la Sección 8.1, donde el 57 % de los 272 procesos inventariados corresponde a flujos con potencial de aporte directo al canal principal.

8.2.3 Caracterización de Depósito Fluviotorrencial

SJ-03: X: 1'105.421, Y: 1'263.154, Z: 1974.7 m s. n. m.

Cerca al casco urbano sobre el margen de la quebrada se identificó un depósito clasificado como reciente y aluvial de origen metamórfico, con una fábrica matriz-soportada y bloques que superan los 300 mm. La mala selección de los clastos y la morfología subangular de estos es indicativa de un recorrido de transporte corto, pero de alta energía y la fábrica matriz-soportada son rasgos diagnósticos de flujos de detritos no newtonianos, coherentes con los procesos torrenciales documentados para cuencas andinas con pendientes superiores al 57 % como la quebrada Panamá (Parra Vasquez, 2024). La presencia de bloques métricos en el depósito tiene además implicaciones directas para el modelo hidráulico: con velocidades de 7.55 m/s obtenidas en la simulación HEC-RAS para $T_r=100$ años, la energía del flujo es suficiente para movilizar bloques de diámetro superior a 1.5 m (Costa & Fleisher, 1984), lo que valida que el modelo representa las condiciones de alta energía que generaron este depósito, además, se observa erosión lateral activa y socavación (Figura 12).

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Aguas abajo del depósito SJ-03, se encontró un tronco de aproximadamente 25 metros atravesado de margen a margen y 1 m de diametro en la quebrada Panama, actuando como potencial punto de represamiento de detritos (Figura 13).

Aunque parece tener un uso antrópico como paso peatonal, representa un riesgo geológico; ya que puede atrapar detritos y restos vegetales durante una creciente, facilitando un represamiento lo que incrementaría la energía del flujo aguas abajo de forma no lineal, amplificando el poder destructivo del evento. Este tipo de obstáculos ha sido identificado por el SGC (2021) como un factor agravante crítico en la dinámica de avenidas torrenciales en cuencas andinas.

Figura 12

Depósito de flujo de detritos con fábrica matriz-soportada y clastos subangulares a subredondeados en el margen de la quebrada Panamá, localizao en el punto SJ-04: X: 1'105.741, Y: 1'263.210, Z: 1967.2 m s. n. m.



Figura 13

Tronco de aproximadamente 25 m de largo y 1 m de diámetro atravesado de margen a margen en la quebrada Panamá, actuando como potencial punto de represamiento de detritos.

**8.2.4. Geometría de la Sección Transversal****SJ-05: Sección Transversal Quebrada Panamá**

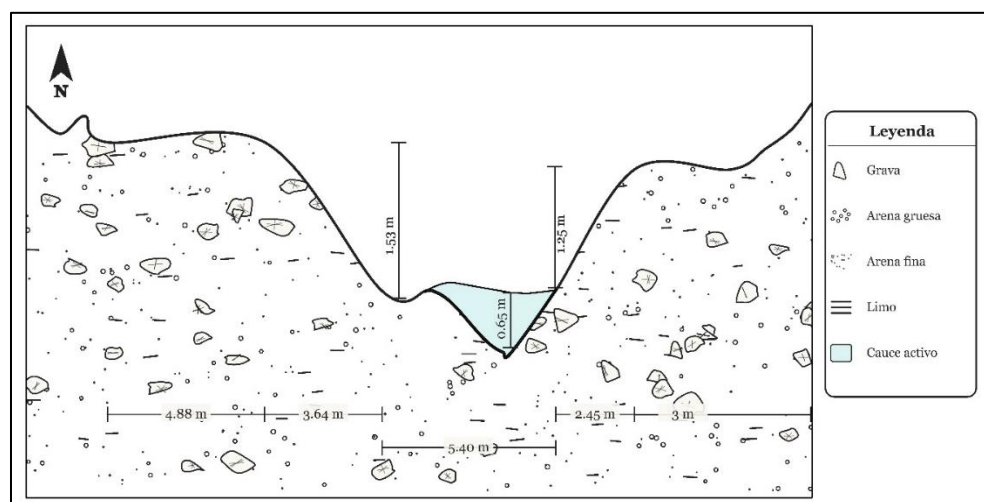
Para analizar el comportamiento del flujo en el tramo urbano, se levantó un perfil topográfico perpendicular al cauce con un ancho total de 15.97 m medidos entre márgenes, distribuidos asimétricamente: la margen izquierda presenta una extensión de 4.88 m hasta el inicio del canal activo, seguida de una zona de transición de 3.64 m, mientras que la margen derecha registra 2.45 m de plataforma y una terraza distal de 3 m adicionales (Figura 14). Las alturas de las orillas son notablemente bajas y desiguales: la margen izquierda alcanza

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

1.53 m sobre el nivel del cauce y la derecha apenas 1.25 m, diferencia que indica una asimetría hidráulica relevante, ya que ante un incremento del nivel de agua el desborde ocurrirá preferencialmente hacia la margen derecha, que es la de menor altura y mayor proximidad al casco urbano.

Figura 14

Perfil transversal del cauce de la quebrada Panamá con dimensiones de márgenes y composición.



El canal activo tiene un ancho en la base de 5.40 m y una profundidad basal en estado normal de 0.65 m, lo que resulta en una relación ancho-profundidad de 8.3:1, característica diagnóstica de cauces de baja capacidad hidráulica y alta tendencia al desborde lateral. Para ilustrar esta limitación en términos concretos, la sección transversal disponible para el flujo —estimada de forma simplificada como un trapecio de base 5.40 m y profundidad 0.65 m— arroja un área hidráulica aproximada de 3.5 m². Aplicando la ecuación de continuidad ($Q =$

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

A · v) definida por Chow, et al. (1988), con la velocidad media modelada en HEC-RAS de 3.0 m/s para el tramo urbano, la capacidad máxima del cauce en condiciones de flujo a orillas llenas es de aproximadamente 10.5 m³/s. Este valor es insignificante frente al caudal pico de diseño de 540.2 m³/s para Tr=100 años, lo que significa que el cauce en este tramo tiene capacidad para conducir menos del 2 % del caudal de diseño antes de desbordarse. El restante 98 % del caudal se distribuirá sobre las llanuras de inundación adyacentes, que es precisamente donde se asienta el casco urbano.

Desde el punto de vista sedimentológico, el canal está compuesto por clastos mal seleccionados embebidos en una matriz areno-limosa, textura matriz-soportada que constituye un rasgo de depósitos generados por flujos de detritos (Costa & Fleisher, 1984). Esta evidencia indica que el cauce ha sido transitado por eventos torrenciales previos con carga sólida, producto de los procesos morfodinámicos activos en las laderas de la cuenca descritos en la Sección 8.1.

Por su parte, desde el punto de vista hidráulico, la geometría en U del cauce, su profundidad basal y la escasa altura de sus orillas configuran en conjunto un escenario desfavorable en el tramo urbano: un canal que se desborda con menos del 2 % del caudal de diseño, sobre márgenes bajas y asimétricas, en dirección hacia la infraestructura del casco urbano.

Como parte de la metodología propuesta, se realizó la adquisición de datos batimétricos del cauce con un espaciamiento aproximado de un metro entre puntos. Sin embargo, estos datos no pudieron ser utilizados en la modelación debido a un error en la configuración del equipo GNSS, que alteró el sistema de coordenadas de los puntos

levantados y generó un desfase considerable en su posición respecto a la cartografía base del proyecto. Esta inconsistencia espacial impidió integrar el levantamiento batimétrico a la geometría del modelo hidráulico, condición que limitó el alcance de la modelación detallada a escala 1:2 000 y que se aborda en las recomendaciones del presente trabajo.

8.3 Caracterización Hidrológica y Comportamiento Hidráulico

8.3.1 Análisis Pluviométrico y Eventos de Diseño

Para el análisis de los periodos de retorno (T_r), se ajustaron datos de precipitación máxima anual de la estación San Joaquín a las distribuciones Normal, Log-Normal, Gumbel y Log-Pearson tipo III para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. La selección de la distribución con mejor ajuste se realizó mediante la prueba Chi-cuadrado y el coeficiente de correlación de Pearson, cuyos resultados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de la aplicación de cada uno de los ajustes estadísticos a los datos de la estación meteorológica San Joaquín.

Función	Chi cuadrado	Parámetro de Pearson
Normal	Aceptado	0.304
Log- normal	Aceptado	0.303
Gumbell	Aceptado	0.739
Log-Pearson tipo III	Aceptado	0.306

Nota. Todas las distribuciones fueron aceptadas por la prueba Chi-cuadrado con un nivel de significancia del 5%. La distribución Log-normal fue seleccionada por presentar el mejor ajuste según el coeficiente de Pearson.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Aunque todas las distribuciones evaluadas fueron aceptadas por la prueba Chi-cuadrado, se seleccionó la distribución Log-Normal para la estimación de las precipitaciones de diseño, dado que presentó el menor coeficiente de Pearson (0.303), lo que indica la menor diferencia entre las frecuencias observadas y las teóricas. Las precipitaciones máximas en 24 horas estimadas mediante el programa Hydrognomon para cada periodo de retorno se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10

Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) para cada periodo de retorno obtenidas mediante la distribución Log-Normal.

Tr (años)	Precipitación máxima (mm/24h)
2	62.26
5	75.15
10	82.91
25	92.07
50	98.52
100	104.71

Los valores obtenidos muestran un incremento progresivo de 62.26 mm para Tr=2 años hasta 104.71 mm para Tr=100 años. Para cuantificar este comportamiento, se calculó la tasa de incremento entre periodos de retorno consecutivos, presentada en la Tabla 11.

Tabla 11

Precipitación máxima en 24 horas y variabilidad porcentual según el periodo de retorno (Tr).

Tr (años)	Precipitación (mm/24h)	Incremento respecto a Tr=2 (%)	Incremento respecto a Tr anterior (%)
2	62.26	-	-
5	75.15	20.7	20.7
10	82.91	33.2	10.3
25	92.07	47.9	11.0
50	98.52	58.2	7.0
100	104.71	68.2	6.3

Los datos muestran que la precipitación aumenta de forma continua desde los 62.26 mm (Tr = 2 años) hasta 104.71 mm (Tr = 100 años) representando un incremento de 68.2%. Sin embargo, este crecimiento no es uniforme, ya que mientras el salto entre 2 y 5 años es del 20.7% entre 50 y 100 años es de 7.0% y 6.3% respectivamente. Este comportamiento de tasa de crecimiento decreciente es característico de la distribución Log-Normal y refleja que el modelo matemático seleccionado se ajusta adecuadamente a la realidad física de la cuenca.

La serie histórica disponible de 46 años de registros continuos (1979-2024) permite representar empíricamente eventos de hasta $Tr \approx 47$ años mediante la fórmula de Weibul, expresada como $Tr = (n+1)/m$ (Chow y otros, 1988). Esta expresión adaptada constituye un

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

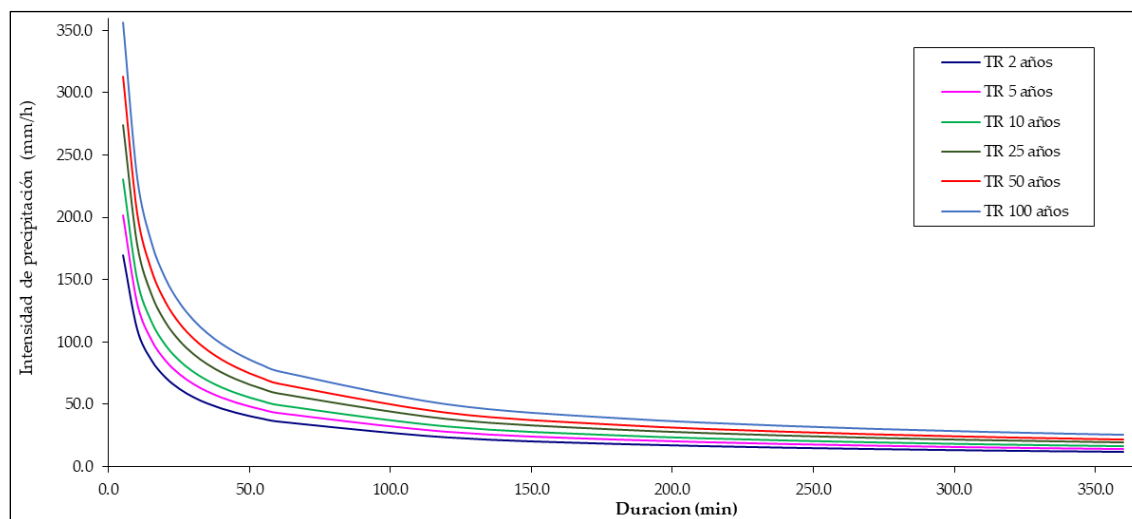
enfoque no paramétrico para el análisis de frecuencias, en el que el periodo de retorno empírico se estima a partir del ordenamiento jerárquico de los datos de precipitación, donde: n corresponde al número total de años de registro y m al rango del evento dentro de dicho ordenamiento, siendo $m = 1$ el valor asignado al evento de mayor magnitud. En consecuencia, los valores estimados para los periodos de retorno de 50 y 100 años se sitúan fuera del registro histórico disponible y corresponden a extrapolaciones estadísticas, lo que refuerza tanto la necesidad como la validez del uso de la distribución Log-Normal para la estimación de eventos extremos en la cuenca.

Los valores de precipitación máxima obtenidos se asemejan a los reportados por Galvis Cobos y Cristancho Hernández (2025) para la misma red hidrográfica, quienes, empleando la misma distribución, estimaron precipitaciones entre 62,21 mm/24h y 106,82 mm/24h para los mismos periodos de retorno, lo que otorga solidez a los eventos de diseño adoptados. En este contexto, la precipitación de 104,71 mm/24h correspondiente a $Tr=100$ años constituye el escenario crítico de referencia para la evaluación de amenaza, bajo este escenario posiblemente se generaría desbordamiento en el cauce e inestabilidad en las laderas, incrementando la carga sólida del flujo y agravando el potencial torrencial de la quebrada Panamá.

Con base en la distribución seleccionada, se construyó el diagrama de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) siguiendo la metodología de Vargas y Díaz-Granados (1998), cuyos resultados se presentan en la Figura 15.

Figura 15

Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para los diferentes periodos de retorno.



A partir de este diagrama, se extrajeron los valores críticos correspondientes a las duraciones de inicio (5 min) y estabilización (150 min), que permiten caracterizar la agresividad hídrica de la cuenca ante distintos escenarios de recurrencia (Tabla 12).

Tabla 12

Intensidades de precipitación (mm/h) para duraciones de 5 y 150 minutos y su variación para cada periodo de retorno.

Tr (años)	1 a 5 min(mm/h)	Aumento respecto a Tr=2 (%)	1 a 150 min (mm/h)	Decaimiento (%)
2	170	-	21	88.2
5	200	17.6	26	87.5
10	230	35.3	30	87.0
25	275	61.8	36	87.3
50	315	85.3	41	87.3
100	355	108.8	46	87.3

Las intensidades más elevadas se concentran en los primeros cinco minutos de duración y aumentan progresivamente con el periodo de retorno: desde 170 mm/h para Tr=2 años hasta valores superiores a 275, 315 y 355 mm/h para los periodos de 25, 50 y 100 años, respectivamente. Esta diferencia de 185 mm/h entre el escenario más frecuente y el más extremo representa un incremento del 108,8%, lo que ilustra con claridad la alta variabilidad de la respuesta pluviométrica de la cuenca según el nivel de recurrencia considerado. A medida que la duración aumenta, las intensidades decaen de forma pronunciada y tienden a estabilizarse a partir de los 150 minutos, con una tasa de decaimiento del 87% aproximadamente uniforme para todos los periodos de retorno, convergiendo hacia un rango de entre 21 y 46 mm/h.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

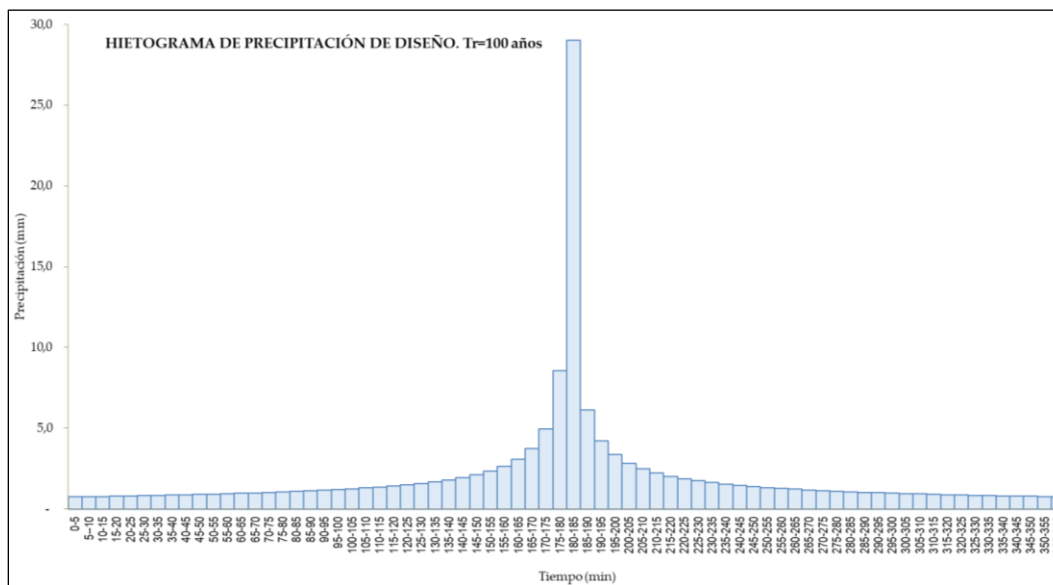
Si bien estudios hidrometeorológicos en la zona identifican eventos con $T_r=25$ años como detonantes recurrentes de movimientos en masa, para efectos de la simulación de amenaza se adoptó el escenario de $T_r=100$ años como referencia de diseño. Esta decisión se fundamenta en el Principio de Precaución y en los estándares del Servicio Geológico Colombiano (2021), bajo los cuales la zonificación de amenaza debe modelar el peor escenario probable. La pertinencia de esta elección se refuerza por las condiciones particulares de la cuenca: su respuesta hidrodinámica casi instantánea —con un tiempo de concentración de apenas 0,46 h— y la influencia de las fallas Pueblo Viejo y Rancho Quemado, factores que en conjunto potencian la magnitud de un posible flujo de detritos sobre el casco urbano de San Joaquín, haciendo indispensable que la zonificación resultante sea conservadora.

Para transformar estas intensidades teóricas en una tormenta de diseño, se aplicó el método de bloques alternos para generar los hietogramas de precipitación (Apéndice D). Estos representan gráficamente la distribución de la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo durante una tormenta para los diferentes periodos de retorno. El hietograma para un periodo de retorno de 100 años (Figura 16) es de referencia porque refleja la variabilidad temporal típica de la precipitación local real para eventos extremos (Wartalska, 2020). Siendo esencial para determinar el caudal máximo asociado a la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Figura 16

Hietograma de precipitación de diseño para un TR de 100 años realizado bajo el modelo de bloques alternos.



A partir de la distribución temporal de la tormenta, se calculan los siguientes indicadores críticos en la Tabla 13.

Tabla 13*Indicadores Críticos del Escenario de Diseño ($Tr=100$).*

Indicador	Parámetro	Valor
Pico de Lluvia	Intensidad máxima	29.1 mm (en 5 min)
Volumen total	Lámina de agua acumulada (6h)	138.4 mm
Respuesta	Tiempo de concentración (T_c)	0.46 h (~27.6 min)
Potencial	Caudal específico resultante	20.18 m ³ /s/km ²

Estos constituyen los parámetros de entrada fundamentales para la modelación hidrológica. El volumen total de 138.4 mm, distribuido según la serie temporal del hietograma de bloques alternos y condicionado por la saturación antecedente, permite que el programa HEC-HMS simule la transformación de lluvia en escorrentía para red hidrográfica. Esta configuración es la base para la generación de los hidrogramas de salida, los cuales definen la magnitud del caudal pico que corre por la red hídrica.

8.3.2 Análisis del Modelo hidrológico con HEC-HMS

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 Panamá simulado en HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Periodo de retorno	Caudal (m ³ /s)	Caudal específico (m ³ s/km ²)
2 años	183.3	6.85
5 años	242.8	9.07
10 años	296.5	11.08
25 años	380.5	14.22
50 años	455.0	17
100 años	540.2	20.18

Estos muestran un incremento progresivo desde 183.3 m³/s para Tr=2 años hasta 540.2 m³/s para Tr=100 años, representando un aumento del 194.7% entre el escenario más frecuente y el más extremo. Este incremento no es lineal, siendo más pronunciado en los primeros periodos de retorno y tendiendo a estabilizarse en los periodos más extremos, comportamiento consistente con la tendencia asintótica observada en las curvas IDF.

La interacción entre la saturación antecedente de movimientos en masa y la respuesta hidrodinámica de la cuenca se refleja en un caudal específico de 20.18 m³/s/km², calculado mediante la relación entre el caudal pico para Tr=100 años y el área de la cuenca. La magnitud de estos resultados adquiere rigurosidad al contrastarse con eventos históricos nacionales; el caudal proyectado se asemeja con el orden de magnitud del caudal pico estimado para la catástrofe del río Fraile en 1994 (415 m³/s) pero exhibe un rendimiento hídrico por unidad de área significativamente superior debido a la escala geomorfológica de la quebrada

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Panamá. Este elevado aporte específico supera ampliamente los umbrales de flujos hidráulicos convencionales y los registros de avenidas torrenciales regionales como la de San Carlos, Antioquia ($12.13 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) (Hermelin, 2005)

El análisis del caudal específico permite identificar una transición progresiva en el comportamiento hidráulico de la quebrada Panamá. Para los periodos de retorno de 2 y 5 años, los valores obtenidos de 6.85 y $9.07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ corresponden a un régimen de creciente convencional, caracterizado por una capacidad de transporte de sedimentos limitada. A partir del $T_r=10$ años, con un caudal específico de $11.08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, se evidencia un cambio cualitativo en la dinámica del flujo, con condiciones favorables para el inicio del transporte de sedimentos gruesos y el desarrollo de un comportamiento torrencial; tendencia que se consolida para el $T_r=100$ años, donde el valor de $20.18 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ indica que la cuenca opera bajo un régimen torrencial. Esta interpretación es afín con los criterios empleados para la caracterización de la dinámica torrencial en cuencas andinas colombianas, donde el caudal específico constituye un indicador clave de la transición entre regímenes de flujo (Aristizábal y otros, 2020) para la transición de crecientes a flujos de detritos en los Andes.

Este comportamiento es coherente con las características morfométricas de la cuenca, cuya pendiente media de 57.24% y tiempo de concentración de 0.46 h generan una transformación casi instantánea de lluvia en escorrentía, con un desfase mínimo entre el pico de la tormenta y la avenida torrencial.

8.3.3 Análisis del Modelo hidráulico con HEC-RAS

8.3.3.1 Caracterización del Régimen de Flujo y Número de Froude

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Para caracterizar el comportamiento del flujo se analizó el Número de Froude (Fr), un parámetro adimensional que relaciona la propensión del líquido a generar ondas gravitatorias, permitiendo clasificar el estado del flujo en subcrítico ($Fr < 1$), crítico ($Fr = 1$) o supercrítico ($Fr > 1$) (Chow y otros, 1988). El análisis se realizó sobre las 834 secciones transversales generadas a lo largo del cauce, evaluando el diferencial de energía entre el $Tr=2$ y el $Tr=100$ años. La distribución del régimen de flujo para el escenario crítico $Tr=100$ años se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15

Distribución del régimen de flujo en las secciones transversales de la quebrada Panamá para $Tr=100$ años.

Rango de ΔFr	Clasificación	Area del cauce (%)	Secciones	Localización
<0.8	Subcrítico	88.5	738	Tramos medios y bajos del cauce
0.8-1.0	Crítico	8.2	68	Zonas de cambio de pendiente y proximidades al casco urbano
>1.0	Supercrítico	3.3	28	Tramos de pendiente severa en la cuenca alta

Los resultados indican que el 88.5% del cauce presenta un régimen subcrítico, con valores de Fr mínimo de 0.01 registrados en zonas de depósito y llanuras de inundación planas. Sin embargo, el 8.2% de las secciones se encuentra en estado de transición hacia el régimen crítico, concentrándose principalmente en zonas de cambio de pendiente y en las

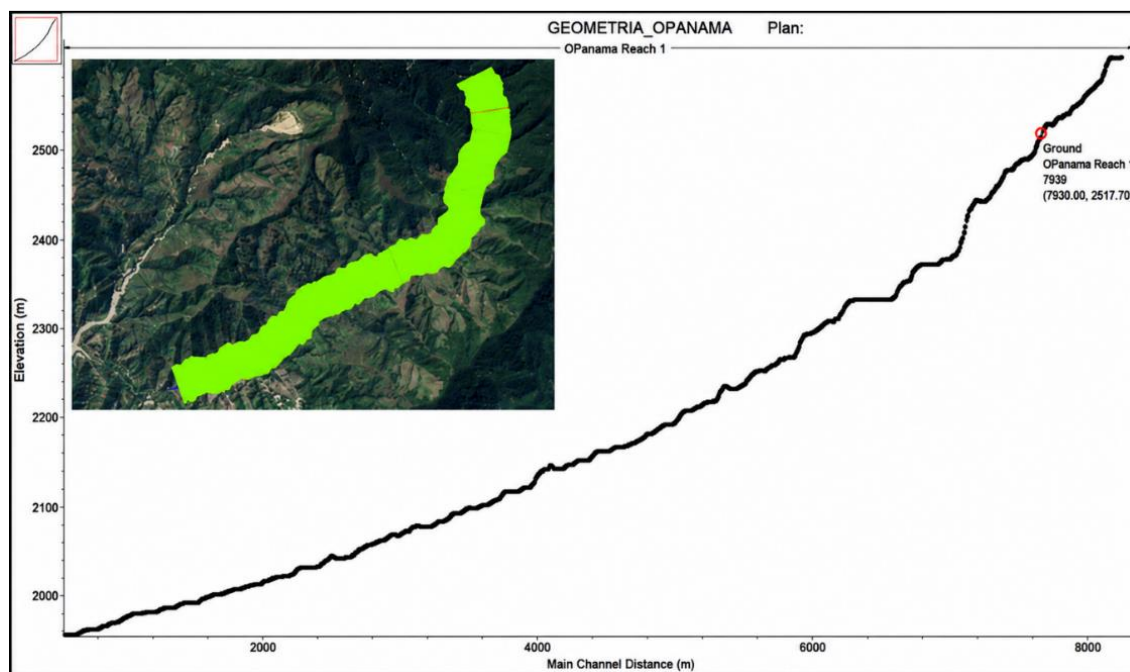
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

proximidades del casco urbano, donde los valores de Fr oscilan entre 0.94 y 0.97 para el $Tr=100$ años. El 3.3% restante corresponde a flujo supercrítico, localizado puntualmente en los tramos de mayor pendiente de la cuenca alta, con un valor máximo de $Fr=1.22$ registrado en la sección RS 7829 como se aprecia en la Figura 17.

La proximidad al estado crítico en las secciones del casco urbano (Fr entre 0.94 y 0.97) es particularmente relevante desde el punto de vista de la amenaza, ya que indica una vulnerabilidad extrema ante cambios en la geometría del cauce o presencia de obstrucciones. En estas condiciones, pequeños obstáculos como acumulaciones de detritos o troncos, similares a los identificados durante el trabajo de campo, pueden desencadenar resaltos hidráulicos que provocan aumentos súbitos en el nivel de inundación y fuertes presiones sobre la infraestructura colindante. Para periodos de retorno menores, como $Tr=2$ años, estas mismas secciones presentan valores de Fr de 0.45, confirmando que el riesgo de resalto hidráulico es exclusivo de eventos extremos de $Tr \geq 100$ años.

Figura 17

Correlación espacial entre el perfil longitudinal y la ubicación del punto crítico de energía (RS 7829) en la Quebrada Panamá.



Nota. El perfil longitudinal del cauce principal muestra la variación de la elevación (eje vertical) con respecto a la distancia acumulada a lo largo del canal principal (eje horizontal). La vista en planta presenta la geometría del cauce y la ubicación de las secciones transversales. Se destaca la estación RS 7829, localizada a una elevación de 2517,70 ms. n. m.

8.3.3.2 Isobatas e Isotacas

La simulación hidráulica permitió obtener las profundidades y velocidades máximas para cada periodo de retorno (Tabla 16).

Tabla 16

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

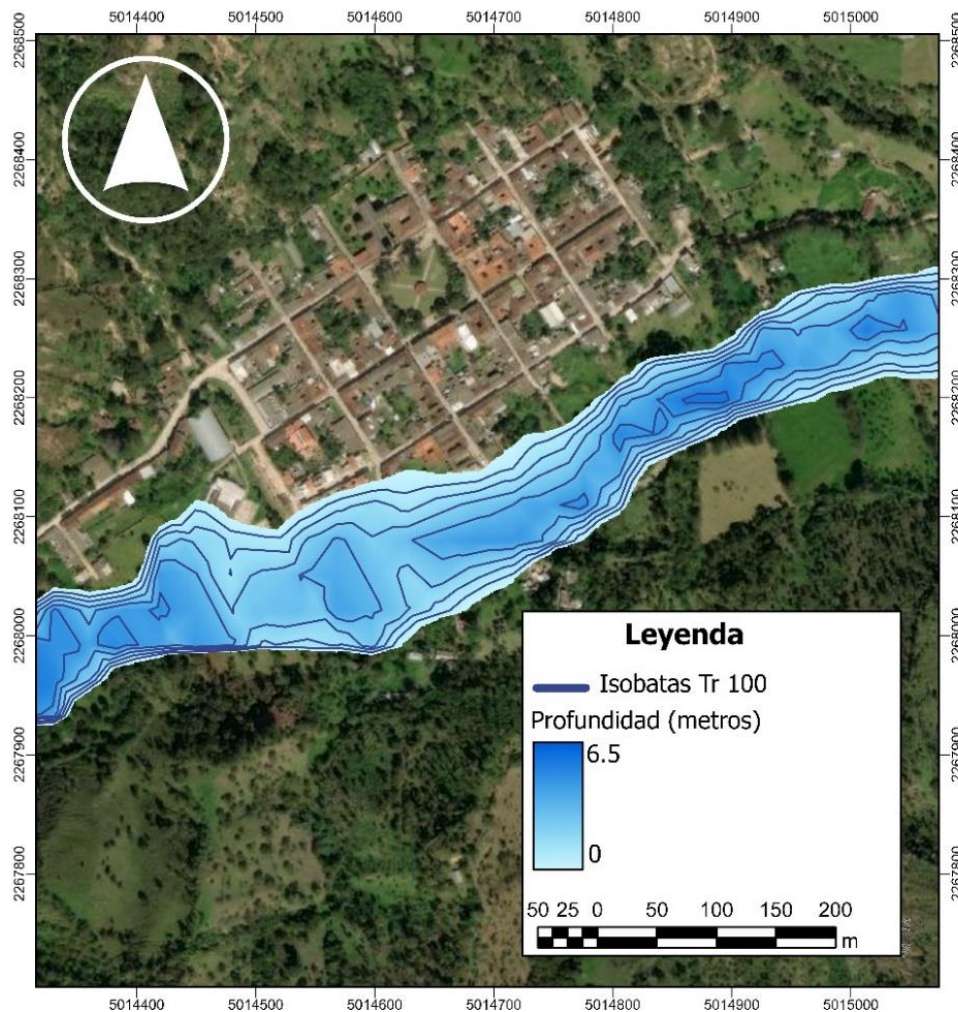
Periodo de retorno (años)	Profundidad máxima (m)	Velocidad máxima (m/s)
2	4.16	5.62
5	4.63	6.04
10	5.0	6.36
25	5.08	6.79
50	5.52	6.36
100	6.34	7.55

Los valores de profundidad muestran un incremento progresivo desde 4.16 m para $Tr=2$ años hasta 6.34 m para $Tr=100$ años, representando un aumento del 55.5%. Las velocidades máximas varían entre 5.62 m/s y 7.55 m/s, superando ampliamente el umbral crítico de 2.0 m/s establecido por la UNGRD (2025), para clasificar un evento como avenida torrencial de alta energía con capacidad de arrastre de bloques métricos. El área total de inundación para el escenario extremo de $Tr=100$ años es de 0.51 km².

El mapa de isobatas (Figura 18) evidencia profundidades máximas de 6.34 m en el canal y valores entre 1.5 y 3.0 m en la zona sur del casco urbano, donde la quebrada Panamá atraviesa directamente el área poblada. La extensión lateral de la inundación está limitada por la topografía montañosa del municipio, donde el desarrollo urbano en ladera restringe la propagación del flujo fuera del cauce principal.

Figura 18

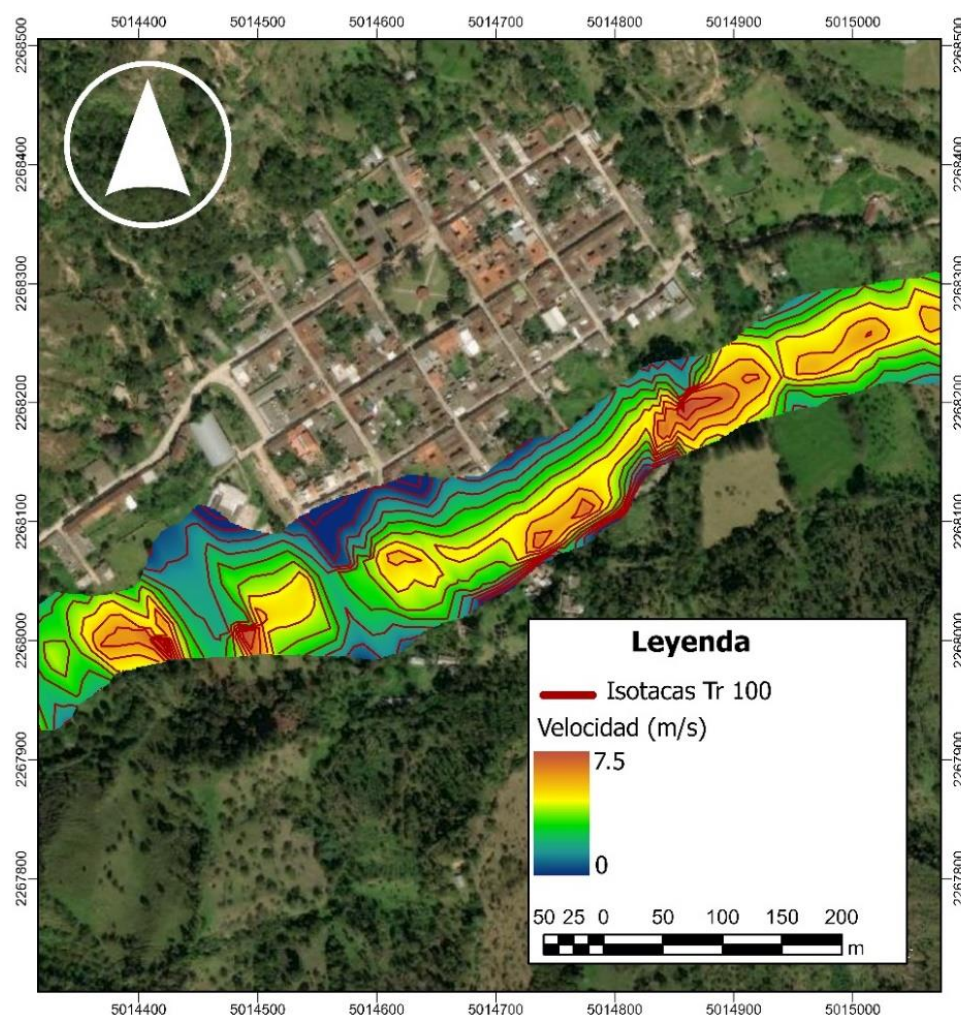
Mapa de isobatas para un periodo de retorno de 100 años.



El mapa de isotacas (Figura 19) registra velocidades máximas de 7.55 m/s en el cauce principal y rangos de 2.0 a 4.0 m/s en el área urbana, comprometiendo infraestructura crítica como el colegio municipal. Ambos mapas confirman un desborde lateral con mayor intensidad en el sector sur del casco urbano, correspondiente al tramo donde la quebrada Panamá atraviesa directamente el área urbana y donde se concentran las mayores profundidades y velocidades del flujo.

Figura 19

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

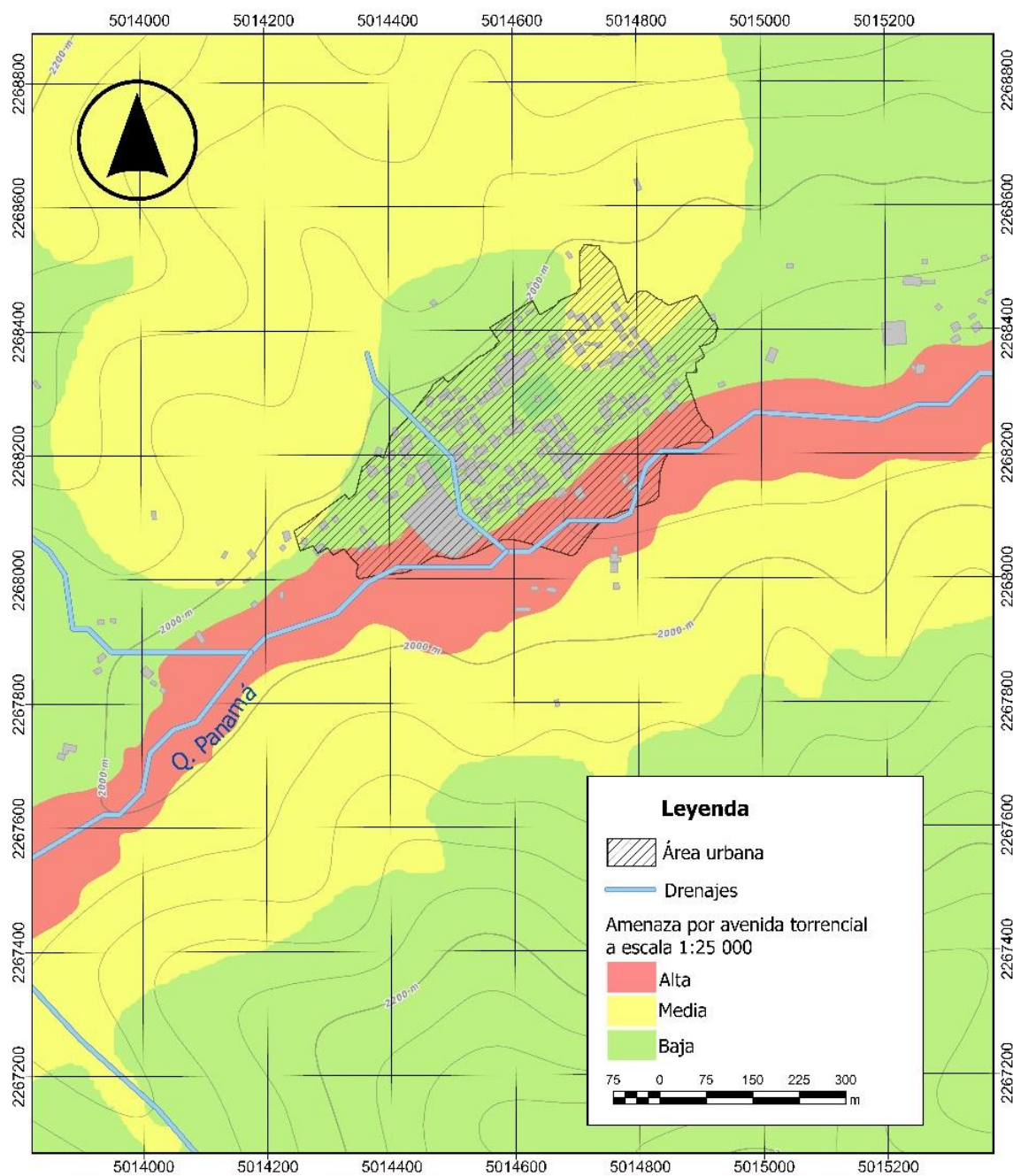


8.4 Zonificación de la amenaza

El mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de San Joaquín clasifica la amenaza en tres categorías: amenaza baja, amenaza media y amenaza alta como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Mapa de zonificación por avenidas torrenciales en el municipio de San Joaquín a escala 1:25 000. Esquema del área de estudio a escala 1:6 000.



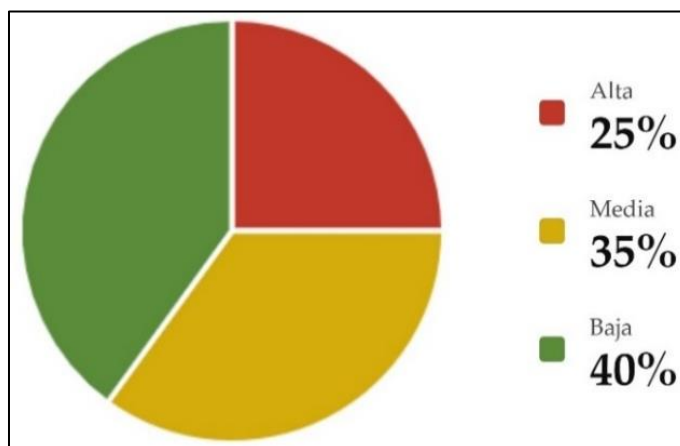
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

El mapa de susceptibilidad por MM generado por Patarroyo Silva & Roa Jaimes (2026), presenta categorías de susceptibilidad alta y muy alta concentran el 88.3 % de los 2.053 eventos de movimientos en masa registrados, ocupando el 47.4 % del área de la cuenca. Al superponer este resultado con el mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, la zona de amenaza alta coincide con los sectores de mayor predisposición a la inestabilidad, lo que significa que el flujo de diseño no impacta sobre terreno estable sino sobre laderas y depósitos ya comprometidos, incrementando el potencial de daño de forma no lineal respecto a lo que indicaría cada amenaza de manera independiente.

La magnitud de esta afectación específicamente para el casco urbano se detalla en la Figura 21, donde se exponen los porcentajes del área urbana de San Joaquín impactados bajo un escenario de periodo de retorno de 100 años.

Figura 21

Porcentajes del área urbana afectada asociada a la amenaza por avenidas torrenciales correspondiente a un periodo de retorno de 100 años del municipio de San Joaquín.



8.4.1 Amenaza alta

Esta categoría representa el 25 % del área urbana analizada, equivalente a 0.045 km², y constituye la zona de mayor criticidad dentro de la zonificación. Su distribución espacial se concentra en el sector sur del casco urbano, en el tramo donde la quebrada Panamá atraviesa directamente el área urbana. Geomorfológicamente este sector presenta las condiciones más desfavorables: orillas bajas con alturas de apenas 1.25 m en la margen derecha y 1.53 m en la margen izquierda, sección transversal en U con una profundidad efectiva del canal de 0.65 m y una sinuosidad que favorece el desborde lateral inmediato. El modelo HEC-RAS arroja en este tramo velocidades superiores a 4 m/s y profundidades de entre 1.5 y 3.0 m, superando simultáneamente los umbrales de profundidad y velocidad que el SGC (2021) establece como críticos para el daño estructural de edificaciones. En esta zona se localiza el colegio municipal como infraestructura crítica expuesta, junto con viviendas del sector sur construidas en su mayoría en mampostería.

El 25 % del área urbana bajo amenaza alta no representa una zona de riesgo teórico: es el sector donde las condiciones hidrodinámicas del escenario de diseño superan de forma cuantificable los límites que el SGC define como críticos para la integridad de las edificaciones. Se tiene en consideración que el umbral pluviométrico capaz de desestabilizar las laderas de la cuenca de la quebrada Panamá es relativamente bajo, Galvis Cobos & Cristancho Hernández (2025) determinaron que una acumulación de 40.54 mm en los dos días previos al evento es suficiente para detonar movimientos en masa en esta cuenca, con una recurrencia estimada de dos años. Esto significa que, aunque el flujo de diseño del modelo HEC-RAS corresponde a un período de retorno de 100 años, las laderas que

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

alimentan este tramo se desestabilizan con una frecuencia mucho mayor, incrementando continuamente la disponibilidad de material sólido que cualquier creciente incluso por debajo del caudal de diseño puede movilizar hacia el área urbana.

8.4.2 Amenaza media

Esta categoría representa el 35 % del área urbana, equivalente a 0.063 km². Se distribuye principalmente en las márgenes laterales del área inundable, flanqueando la zona de amenaza alta hacia el sur y el norte del casco urbano. En este sector las profundidades disminuyen respecto al tramo de amenaza alta, pero las velocidades continúan superando 1 m/s, umbral a partir del cual el SGC (2021) considera que existe riesgo para la estabilidad de estructuras livianas. La vía principal de acceso al municipio se encuentra dentro de esta franja, condición que comprometería tanto la evacuación de la población como la respuesta de emergencia durante el evento torrencial. Esta zona está siendo afectada estructuralmente por las fallas Pueblo Viejo y Rancho Quemado, las cuales condicionan la inestabilidad de las laderas adyacentes al cauce (Hernández Grimaldos & Navas Báez, 2025), incrementando el aporte potencial de sólidos al flujo en este tramo.

En conjunto, la amenaza media y alta cubren el 60 % del área urbana analizada, lo que significa que más de la mitad del casco urbano de San Joaquín está expuesto a condiciones que superan los umbrales de seguridad establecidos por el SGC (2021), evidenciando la urgencia de incorporar este mapa como insumo técnico en la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial municipal.

8.4.3 Amenaza baja

Esta categoría representa el 40 % del área analizada, equivalente a 0.072 km², y es la de mayor extensión dentro de la clasificación. Se distribuye en los sectores más alejados del cauce, hacia el Sur y noreste del casco urbano, donde las cotas topográficas más elevadas reducen la lámina de inundación. Tanto las profundidades como las velocidades modeladas se sitúan por debajo de los umbrales de daño estructural establecidos por el SGC (2021). Sin embargo, su condición de amenaza baja no implica ausencia total de riesgo: al tratarse de un flujo detrítico con caudal específico de 20.18 m³/s/km², la dinámica sedimentológica puede generar depósitos en esta zona que afecten la funcionalidad de la infraestructura existente aun sin alcanzar velocidades o profundidades críticas. Esta zona está siendo afectada por la falla Pueblo Viejo, la cual condiciona la inestabilidad de las rocas del Granito de Pescadero, los Esquistos del Chicamocha y la Formación Floresta en el sector norte de la cuenca (Hernández Grimaldos & Navas Báez, 2025), manteniendo latente el aporte de material desde las laderas hacia el sistema torrencial incluso bajo escenarios de menor intensidad que el de diseño.

9. Conclusiones

Esta investigación creo un modelo de amenaza por avenidas torrenciales y un mapa de zonificación a escala 1:25 000 para el sector hidrográfico de la quebrada Panamá, municipio de San Joaquín, mediante la integración de información geológica, geomorfológica y meteorológica sumado a una simulación bajo los programas HEC-HMS y HEC-RAS.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

La cuenca presenta un ambiente predominantemente denudacional (60%), estructural (32%), fluvial (6%) y antrópico (2%), con una pendiente media de 57.24% y un tiempo de concentración de 0.46 h, condiciones que generan una respuesta hidrológica rápida ante precipitaciones intensas. La zona de depósito fluvial coincide espacialmente con el área urbana del municipio, lo que representa un factor de amenaza directo para la población.

Los caudales obtenidos en HEC-HMS muestran un incremento progresivo desde 183.3 m³/s para Tr=2 años hasta 540.2 m³/s para Tr=100 años. La simulación hidráulica en HEC-RAS para el escenario crítico de Tr=100 años evidenció profundidades máximas de 6.34 m y velocidades máximas de 7.55 m/s, con un área total inundada de 0.51 km². En el tramo urbano las profundidades alcanzan hasta 3 m en el sector sur del casco urbano, donde infraestructuras como el colegio del municipio se encuentran dentro de la zona de inundación.

En cuanto a los factores condicionantes y detonantes de la amenaza, el análisis evidenció que la inestabilidad de la cuenca está regulada por controles estructurales y litológicos específicos: el 47.4 % del área de la cuenca, clasificada en susceptibilidad alta y muy alta, concentra el 88.3 % de los 272 movimientos en masa inventariados, asociados principalmente a la influencia de las fallas Pueblo Viejo y Rancho Quemado. Como factor detonante se identificó que precipitaciones acumuladas de apenas 40.54 mm en dos días son suficientes para desencadenar movimientos en masa con un periodo de retorno de solo 2 años, lo que indica que el aporte de sedimentos al sistema torrencial es recurrente y no depende exclusivamente de un evento extremo.

El mapa de zonificación de amenaza indica que del área urbana total de 0.18 km², el 25% se clasifica en amenaza alta (0.045 km²), el 35% en amenaza media (0.063 km²) y el 40% en

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

amenaza baja (0.072 km²). Los sectores de amenaza alta coinciden con el tramo donde la quebrada atraviesa directamente el casco urbano.

Los resultados obtenidos constituyen un insumo técnico directo para el Plan de Ordenamiento Territorial y la gestión del riesgo del municipio de San Joaquín, destacando la necesidad de implementar medidas de prevención y monitoreo en el tramo urbano de la quebrada Panamá.

10. Recomendaciones y trabajo futuro

Como recomendación prioritaria para el análisis de la amenaza por avenidas torrenciales, se propone incorporar el transporte de sedimentos activos en el modelo hidráulico. En cuanto al modelo hidrológico, se recomienda incorporar valores de evapotranspiración, lo que contribuiría a una mejor estimación de la escurrimiento efectiva y de la respuesta de la cuenca ante precipitaciones intensas. Asimismo, se sugiere actualizar los usos del suelo, ya que posibles variaciones en estos datos podrían modificar el coeficiente de escurrimiento y los valores de rugosidad, impactando los cálculos de caudales y el modelo de inundación.

Dado que el mapa de zonificación de amenaza a escala 1:25 000 evidencia zonas de alta amenaza en el casco urbano de San Joaquín, se identifica la necesidad de generar un mapa de amenaza a escala 1:2 000. Esto permitiría una delimitación más detallada de las zonas amenazadas.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

En relación con la prevención, se recomienda realizar estudios específicos sobre los movimientos en masa asociados con el corte de la vía en el casco urbano (sectores clasificados en amenaza media), con el fin de proponer medidas de estabilización y mitigación que reduzcan la vulnerabilidad asociada a estos procesos en el contexto de avenidas torrenciales.

Finalmente, como trabajo futuro, para corregir la limitación técnica identificada durante el desarrollo del trabajo de campo (insuficiencia de los datos batimétricos adquiridos), se recomienda realizar un levantamiento batimétrico con estación total o ecosonda, para garantizar una cobertura continua de márgenes y fondo del cauce, lo que permitirá generar un modelo en HEC-RAS a escala 1: 2000.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de San Joaquín Santander. (2001). Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de San Joaquín, Santander. Santander: Repositorio ESAP. Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de San Joaquín, Santander.: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/23587>
- Aristizábal, E., Arango, M., & Lopez, G. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 29(1). <https://doi.org/10.15446/r>.
- Blu radio. (21 de febrero de 2025). Agencia de periodismo informativo. API: <https://www.agenciapi.co/noticia/regiones/devastadora-avalancha-en-san-joaquin-santander-consecuencias-y-necesidades-urgentes>
- Caballero Acosta, J. H. (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. Gestion y ambiente, 14(3), 45-50.
- CAS. (2024). Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Joaquin. San Joaquín: Corporación Autónoma Regional de Santander.: <https://cas.gov.co/wpcontent/uploads/2023/06/RESOLUCION-DGL-No-819-DE-NOVIEMBRE-29-DE2024.pdf>
- Castro, E., & Ibáñez, D. (2024). Avenidas torrenciales y flujos de detritos en la cuenca de la quebrada La Leona, municipio de San Joaquín. Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Hidrología aplicada. McGraw-Hill. https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

- Costa, J., & Fleisher, P. (1984). Physical geomorphology of debris flows. *Developments and applications of geomorphology*, 268-317.
- Díaz, O., & Granados, M. (1998). Curvas sintéticas regionalización de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. *Ingeniería e Investigación*(41), 35-43.
- El-Bagoury, H., & Gad, A. (2024). Integrated hydrological modeling for watershed analysis, flood prediction, and mitigation using meteorological and morphometric data, SCS-CN, HEC-HMS/RAS, and QGIS. *Water*, 16(2), 356.
<https://doi.org/10.3390/w16020356>.
- Galvis Cobos, V., & Cristancho Hernández, L. J. (2025). Caracterización de los umbrales de lluvia y sismo que detonan movimientos en masa para los sectores hidrográficos, quebradas Panamá y el León, pertenecientes al municipio de San Joaquín, Santander. Universidad Industrial de Santander.
<https://doi.org/https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/46526>
- Goyes Peñafiel, Y. P. (2024). Estudio básico de amenazas de acuerdo con los establecido en el decreto único reglamentario 1077 de 2015 para el municipio de San Joaquín, Santander. Ordeam.
- Han, D., & Bray, M. (2006). Generación automatizada de polígonos de Thiessen. *Recursos hídricos*.
- Hermelin, A. (2005). *Desastres de Origen Natural en Colombia 1979–2004*. Fondo editorial universidad EAFIT.
- Hernández Grimaldos, A., & Navas Báez, M. (2025). Caracterización de las unidades geológicas superficiales (UGS) y subunidades geomorfológicas (SGMF) a escala

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

1:25 000 para el municipio de San Joaquín, Santander, como una herramienta en la evaluación de los factores de inestabilidad superficial. Bucaramanga.

Hydrologic Engineering Center (HEC). (21 de Julio de 2025). HEC-RAS Mapper User's Manual. HEC-RAS Mapper User's Manual:

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rmum/6.3/geometry-data/manning-s-n-values>

IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas. Publicaciones del IDEAM.

IDEAM. (2017). Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. IDEAM. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/publicaciones/guia_metodologica_para_la_elaboracion_de_mapas_de_inundacion.pdf

IDEAM. (10 de Marzo de 2025). Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering.

Ley 1523. (2012). Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Gobierno de la República de Colombia. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 48.411.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Mantilla Figueroa, L. C. (2018). Geología y geocronología de las litologías aflorantes en el tramo Mogotes-San Joaquín (sector SW del Macizo de Santander). Boletín de Geología, 123-124.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Montero, J. (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Servicio Geológico Colombiano.

NASA. (15 de Septiembre de 2025). ASF Data search. EARTHDATA:

<https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=3.000¢er=-97.494,39.673>

Olcina, J., & Oliva, A. (2020). Medidas estructurales versus cartografía de inundación en la valoración del riesgo en áreas urbanas: El caso del barranco de las Ovejas (Alicante, España). 22. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.10278>

Parra Vasquez, C. J. (06 de Febrero de 2024). Análisis comparativo de la modelación hidráulica de flujos newtonianos y no-newtonianos en HEC-RAS para el modelamiento de avenidas torrenciales. Caso de estudio: Quebrada Botijas (Santander. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2859>

Patarroyo Silva, R., & Roa Jaimes, J. (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.

Ramos, A. F., Munévar, M., Prada, L. F., Escobar, J., Vargas, A., Prieto, A. F., . . . Dorado, L. (2023). Redundancia de los umbrales del sistema de alerta temprana para avenidas torrenciales de Mocoa, Putumayo, Colombia. Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER), 7(2), 14. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.129>

Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2025, Julio 17). Nuestro mundo en datos. https://ourworldindata-org.translate.google.com/grapher/economic-damage-from-natural-disasters?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Royero Gutiérrez, J. M., & Clavijo, J. (2001). Memoria Explicativa del mapa geológico del departamento de Santander. Ingeominas.

https://www.academia.edu/26408553/Memoria_Explicativa_del_Departamento_de_Santander

Sahu, M. K., Shwetha, H. R., & Dwarakish, G. S. (2023). State of the art hydrological models and application of the HEC-HMS model: a review.

<https://doi.org/10.1007/s40808-023-01704-7>

Servicio Geológico Colombiano . (2021). Guía metodológica para zonificación por avenidas torrenciales. Publicaciones Servicio Geológico Colombiano.

<https://doi.org/10.32685/9789585313156>

SIMMA, S. . (05 de 04 de 2025). Sistema de Información de Movimiento en Masa -

SIMMA. <https://simma.sgc.gov.co/#/>

UNGRD. (21 de febrero de 2025). Desinventar Sendai. Sendai Framework for disasters risk reduction: <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp>

Valencia, J. A., & Martínez, A. M. (2024). Evaluation of flood exposure in anthropic environments applied to different areas in the region of Bucaramanga, Colombia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, XV(1), 30.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2375544>

Vanguardia. (02 de Mayo de 2021). Taponamiento de vía y riesgo de avalancha en zona rural de San Joaquín. <https://www.vanguardia.com/santander/guanenta/hay-taponamiento-de-via-y-riesgo-de-avalancha-en-zona-rural-de-san-joaquin-MN3719781>

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Vanguardia. (28 de Mayo de 2023). Represamiento amenaza a cuatro veredas en municipio de San Joaquín. <https://www.vanguardia.com/santander/guanenta/creciente-causo-estragos-en-san-joaquin-santander-EC6703868>

Vanguardia. (28 de mayo de 2023b). Creciente causó estragos en San Joaquín, Santander. Vanguardia. <https://www.vanguardia.com/santander/guanenta/creciente-causo-estragos-en-san-joaquin-santander-EC6703868>

Wartalska, K. K. (2020). Analysis of Hyetographs for Drainage System Modeling. . Water , Vol. 12, N°1, 149.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Apéndices

Apéndice A. Formatos para la caracterización de avenidas torrenciales.

Formato para caracterización de avenidas torrenciales Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana									
Encuestador John Perez Fecha del evento DD MM A.A. 21 04 2025 Proyecto Tesis amenaza por AVT Institución Universidad Industrial de Santander Formato N° 001									
Por división política Departamento Santander Municipio San Joaquín Vereda Casco Urbano Localización geográfica Referente geográfico Quebrada Panama Coordenadas geográficas Latitud/Norte 7° 26' 06.4 Longitud/Este 75° 01' 4.641 Altura (m. s. n. m.) 1078 m Proyección MAGNA-SIRGAS Origen Nacional Localización geomorfológica Zona de transporte Cuenca alta ☒ Cuenca media ☐ Cuenca baja ☐ Margen derecha ☐ Margen izquierda ☐ Zona de depósito Proximal ☒ Medio ☐ Distal ☐									
Morfología de los depósitos recientes* Superficie del depósito 1. Relieve positivo ☒ 2. Superficies inclinadas por canales con cantos y bloques ☒ 3. Dura y/o rippled ☐ 4. Superficies inclinadas por canales ☐ 5. Acumulación aluvial de clastos gruesos y en contacto ☐ 6. Superficie suave y/o rugosa ☐ 7. Amplitudes ☐ Márgenes del depósito 1. Márgenes lobulados y/o diques ☐ 2. Evidencias de representamientos (acumulación de material vegetal y detrital, terraces de sedimentos orgánicos o asociados sobre las márgenes del canal) ☒ 3. Depósitos de avulsión ☐ 4. Frente de bloques ☐ Daños en la vegetación y evidencias de erosión* 1. Revestimiento de todo o todo anexo sobre la vegetación, cantos etc. ☒ 2. Árboles con madera atillada ☐ 3. Gravas embebidas en la madera ☐ 4. Troncos de árboles cortados ☐ 5. Ramas cortadas por erosión o dobladas ☒ 6. Herida en la corteza del tronco (desorezados) ☐ 7. Vegetación arrancada de raíz ☒ 8. Hierta o pasto aplastado ☐ 9. Hierta, pasto y material antrópico en las ramas de los árboles ☐ 10. Sedimentos "consolidados" empaquetados entre raíces o dentro de cavidades de árboles ☐									

Formato para caracterización de avenidas torrenciales											
Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana											
Datos de registro											
Encuestador		Fecha del evento		Fecha del reporte		Proyecto		Institución			
Andrés Ríos Robles		DD MM AA 22 04 2025		Tesis amenaza por AVT		Universidad Industrial de Santander		Formato N° 002			
Por división política				Localización geográfica			Localización geomorfológica				
Departamento: Santander				Coordenadas geográficas/Planas			Zona de transporte				
Municipio: San Joaquín				Referente geográfico: Quebrada Panama (600m aguas arriba)			Cuenca alta				
Vereda: Casco Urbano				Latitud/Norte: 7.268.064			☒				
				Longitud/Este: 5.014.641			Cuenca media				
				Altura (m. s. n. m.): 1978 m			☒				
				Proyección: MAGNA-SIRGAS Origen Nacional			Cuenca baja				
							☐				
							Margen derecha				
							☐				
							Margen izquierda				
							☐				
Morfología de los depósitos recientes*				Daños en la vegetación y evidencias de erosión*							
Superficie del depósito				Márgenes del depósito		1. Revestimiento de todo o todo arenoso sobre la vegetación, cantos etc.		6. Herida en la corteza del tronco (descorizado)			
1. Relieve positivo				1. Márgenes lobulados y/o diques		☐		7. Vegetación arrancada de raíz		☐	
2. Superficies incididas por canales con cantos y bloques				☐		☐		8. Hierba pasto aplinado		☐	
3. Dura y/o ríspide				2. Evidencias de regresamientos (acumulación de material vegetal y detritus, terrazas de sedimentos colgadas o adosadas sobre las márgenes del canal)		☒		9. Hierba, pasto y material antrópico en las ramas de los árboles		☐	
4. Superficies incididas por canales				3. Depósitos de avalancha		☐		10. Sedimentos "consolidados" empaquetados entre raíces o dentro de cavidades de árboles		☐	
5. Acumulación aleatoria de clastos gruesos y en contacto				4. Frente de bloques		☐					
6. Superficie suave y/o rugosa											
7. Antidunas											
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 1) (Margen izquierdo)											
Fábrica		Relación Armazón/Matriz		Textura del armazón		Selección		Textura de la matriz		Consolidación	
Armazón (N) 45		Matriz-esportado ☒ Clastos-esportado ☐		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad	
Matriz (N) 55				Finos (líneo-arcillas < 0.075 mm)		1. Muy angular		Finos (líneo-arcillas < 0.075 mm)		1. Muy angular	
Espesor 80 cm				Arenita fina (0.075-0.425 mm)		☐		Arenita fina (0.075-0.425 mm)		☒	
				Arenita media (0.425-2.0 mm)		☐		Arenita media (0.425-2.0 mm)		☒	
				Arenita gruesa (2.0-4.75 mm)		☐		Arenita gruesa (2.0-4.75 mm)		☐	
				Gravas finas (4.75-19 mm)		☒		Gravas finas (4.75-19 mm)		☐	
				Gravas gruesas (19-75 mm)		☐		Gravas gruesas (19-75 mm)		☐	
				Bloques (> 300 mm)		☒		Cantos (75-300 mm)		☐	
Orientación de los granos		3. Orientación aleatoria ☒		5. Redondeada		2. Esfericidad alta ☒		5. Redondeada		2. Esfericidad alta ☒	
1. Imbricación		☐		6. Bien redondeada		☐		6. Bien redondeada		☐	
2. Paralela al flujo		☐									
Dirección (Azimut)		☐									
Composición litológica/Descripción				Meteorización de los clastos				Estructuras sedimentarias			
Clastos de origen metamórfico e igneo				Anillos de meteorización				1. Estratificación masiva o sin estructuras			
				Superficies de oxidación de tonalidad clara				☒			
				Superficies de oxidación de tonalidad oscura				☐			
				Desarrollo de relieve en la superficie del clasto				2. Estratos con laminación planar			
				Presencia de fracturas				☐			
				Presencia de minerales arcillosos por meteorización				Estratificación cruzada			
				Presencia de excavación				☐			
								4. Gradación inversa			
								☐			
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 2) (Margen derecho)											
Fábrica		Relación Armazón/Matriz		Textura del armazón		Selección		Textura de la matriz		Consolidación	
Armazón (N) 15		Matriz-esportado ☒ Clastos-esportado ☐		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad	
Matriz (N) 75				Finos (líneo-arcillas < 0.075 mm)		1. Muy angular		Finos (líneo-arcillas < 0.075 mm)		1. Muy angular	
Espesor 80 cm				Arenita fina (0.075-0.425 mm)		☐		Arenita fina (0.075-0.425 mm)		☒	
				Arenita media (0.425-2.0 mm)		☐		Arenita media (0.425-2.0 mm)		☒	
				Arenita gruesa (2.0-4.75 mm)		☐		Arenita gruesa (2.0-4.75 mm)		☐	
				Gravas finas (4.75-19 mm)		☒		Gravas finas (4.75-19 mm)			

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Formato para caracterización de avenidas torrenciales											
Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana											
											
Datos de registro											
Encuestador		Fecha del evento		Fecha del reporte		Proyecto		Institución			
John Perez		DD MM AA		DD MM AA		Tesis amenaza por AVT		Universidad Industrial de Santander			
		22 04 2025						003			
Por división política				Localización geográfica			Localización geomorfológica				
Departamento: Santander				Coordenadas geográficas/Planas			Zona de transporte				
Municipio: San Joaquín				Referente geográfico: Quebrada Panamá (Antes del puente colgante)			Zona de depósito				
Vereda: Casco Urbano				Latitud/Norte: 1°202.488 Longitud/Este: 1°133.991 Altura (m. s. n. m.): 1951 m Proyección: MAGNA-SIRGAS Origen Bogotá			Cuenca alta: ☐ Cuenca media: ☒ Cuenca baja: ☐ Margen derecha: ☐ Margen izquierda: ☐				
Morfología de los depósitos recientes*				Daños en la vegetación y evidencias de erosión*							
Superficie del depósito				Márgenes del depósito		1. Revestimiento de lodo o lodo arenoso sobre la vegetación, cantos etc.		6. Herida en la corteza del tronco (desortezado)			
1. Relieve positivo ☒ 2. Superficies inclinadas por canales con cantos y bloques ☒ 3. Dura y/o rippled ☒ 4. Superficies inclinadas por canales ☒ 5. Acumulación aleatoria de clastos gruesos y en contacto ☒ 6. Superficie suave y/o rugosa ☐ 7. Antidunas ☐				1. Márgenes lobulados y/o diques ☐ 2. Evidencias de representamientos (acumulación de material vegetal y detritus, terrazas de sedimentos colgadas o adosadas sobre las márgenes del canal) ☒ 3. Depósitos de avulsión ☐ 4. Frente de bloques ☒		2. Árboles con madera astillada ☐ 3. Gravas embebidas en la madera ☐ 4. Troncos de árboles cortados ☐ 5. Ramas cortadas por erosión o dobladas ☐		7. Vegetación arrancada de raíz ☒ 8. Hierba o pasto aplastado ☐ 9. Hierba, pasto y material antrópico en las ramas de los árboles ☐ 10. Sedimentos "consolidados" empaquetados entre raíces o dentro de cavidades de árboles ☐			
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 1) (Margen izquierdo)											
Fábrica		Textura del armazón		Selección		Textura de la matriz		Consolidación			
Relación Armazón/Matrix: ☒ Armazón (N): 40 ☐ Matrix (N): 60 ☐ Espesor: 1.30 m ☐		Tamaños de grano (%) Finos (limos-arcillas < 0.075 mm) ☐ Arena fina (0.075-0.425 mm) ☐ Arena media (0.425-2.0 mm) ☐ Arena gruesa (2.0-4.75 mm) ☒ Gravas finas (4.75-19 mm) ☒ Gravas gruesas (19-75 mm) ☒ Cantos (75-300 mm) ☒ Bloques (> 300 mm) ☒		Forma y esfericidad 1. Muy angular ☐ 2. Angular ☐ 3. Subangular ☒ 4. Subredondeada ☒ 5. Redondeada ☐ 6. Bien redondeada ☐		1. Buena ☐ 2. Moderada ☐ 3. Mala ☒ 4. Muy mala ☒		Tamaños de grano (%) Finos (limos-arcillas < 0.075 mm) ☒ Arena fina (0.075-0.425 mm) ☒ Arena media (0.425-2.0 mm) ☐ Arena gruesa (2.0-4.75 mm) ☒ Gravas finas (4.75-19 mm) ☐ Gravas gruesas (19-75 mm) ☐ Cantos (75-300 mm) ☐		Forma y esfericidad 1. Muy angular ☐ 2. Angular ☐ 3. Subangular ☒ 4. Subredondeada ☐ 5. Redondeada ☐ 6. Bien redondeada ☐	
Orientación de los granos		1. Imbricación ☐ 2. Paralela al flujo ☐ Dirección (Azimut):		3. Orientación aleatoria ☒		1. Efericidad alta ☒ 2. Efericidad baja ☐		1. Semi-consolidado ☒ 2. Consolidado ☐ 3. Suelto/Fríasle ☐			
Composición litológica/Descripción				Meteorización de los clastos		Estructuras sedimentarias		Est. Erosión			
Clastos de origen metamórfico e igneo				Anillos de meteorización ☒ Superficies de oxidación de tonalidad clara ☒ Superficies de oxidación de tonalidad oscura ☒ Desarrollo de relieve en la superficie del clasto ☒ Presencia de fracturas ☒ Presencia de minerales arcillosos por meteorización ☒ Presencia de escamación ☒		1. Estratificación masiva o sin estructuras ☒ 2. Estratos con laminación planar ☐ Estratificación gradada ☐ 3. Gradación normal ☐ 4. Gradación inversa ☐		5. Estratos con laminación cruzada ☐ 6. Estratos con laminación en artesa ☐			
1. Seor and fill ☐		2. Surcos ☐ 3. Cárcavas ☐ 4. Erosión lateral ☒ 5. Socavación de fondo ☒									
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.º 2) (Margen derecho)											
Fábrica		Textura del armazón		Selección		Textura de la matriz		Consolidación			
Relación Armazón/Matrix: ☒ Armazón (N): 40 ☐ Matrix (N): 60 ☐ Espesor: 2.10 m ☐		Tamaños de grano (%) Finos (limos-arcillas < 0.075 mm) ☐ Arena fina (0.075-0.425 mm) ☐ Arena media (0.425-2.0 mm) ☐ Arena gruesa (2.0-4.75 mm) ☒ Gravas finas (4.75-19 mm) ☒ Gravas gruesas (19-75 mm) ☒ Cantos (75-300 mm) ☒ Bloques (> 300 mm) ☒		Forma y esfericidad 1. Muy angular ☐ 2. Angular ☐ 3. Subangular ☒ 4. Subredondeada ☒ 5. Redondeada ☐ 6. Bien redondeada ☐		1. Buena ☐ 2. Moderada ☐ 3. Mala ☒ 4. Muy mala ☒		Tamaños de grano (%) Finos (limos-arcillas < 0.075 mm) ☒ Arena fina (0.075-0.425 mm) ☒ Arena media (0.425-2.0 mm) ☐ Arena gruesa (2.0-4.75 mm) ☒ Gravas finas (4.75-19 mm) ☐ Gravas gruesas (19-75 mm) ☐ Cantos (75-300 mm) ☐		Forma y esfericidad 1. Muy angular ☐ 2. Angular ☐ 3. Subangular ☒ 4. Subredondeada ☐ 5. Redondeada ☐ 6. Bien redondeada ☐	
Orientación de los granos		1. Imbricación ☐ 2. Paralela al flujo ☐ Dirección (Azimut):		3. Orientación aleatoria ☐		1. Efericidad alta ☐ 2. Efericidad baja ☐		1. Semi-consolidado ☒ 2. Consolidado ☐ 3. Suelto/Fríasle ☐			
Composición litológica/Descripción				Meteorización de los clastos		Estructuras sedimentarias		Est. Erosión			
Clastos de origen metamórfico e igneo				Anillos de meteorización ☒ Superficies de oxidación de tonalidad clara ☒ Superficies de oxidación de tonalidad oscura ☒ Desarrollo de relieve en la superficie del clasto ☒ Presencia de fracturas ☒ Presencia de minerales arcillosos por meteorización ☒ Presencia de escamación ☒		1. Estratificación masiva o sin estructuras ☒ 2. Estratos con laminación planar ☐ Estratificación gradada ☐ 3. Gradación normal ☐ 4. Gradación inversa ☐		5. Estratos con laminación cruzada ☐ 6. Estratos con laminación en artesa ☐			
1. Seor and fill ☐		2. Surcos ☐ 3. Cárcavas ☐ 4. Erosión lateral ☒ 5. Socavación de fondo ☒									

Forma para caracterización de avenidas torrenciales

Servicio Geológico Colombiano - Pontificia Universidad Javeriana

Datos de registro																											
Encuestador		Fecha del evento			Fecha del reporte			Proyecto		Institución		Formato N°															
John Perez		DD	MM	AA	DD	MM	AA	23	04	2025	Tesis amenaza por AVT	Universidad Industrial de Santander	004														
Por división política					Localización geográfica				Localización geomorfológica																		
					Coordenadas geográficas/Planas				Zona de transporte				Zona de depósito														
Departamento: Santander					Referente geográfico: Quebrada Panama (30 m del puente - árbol)				Cuenca alta				Proximal Media Distal														
Municipio: San Joaquín					Latitud/Norte: 5°044.962				☒																		
Vereda: Casco Urbano					Longitud/Este: 2°268212				Cuenca baja																		
					Altura (m. s. n. m.): 1922 m				Margen derecha																		
					Proyección: MAGNA-SIRGAS Origen Nacional				Margen izquierda																		
Morfología de los depósitos recientes*					Daños en la vegetación y evidencias de erosión*																						
Superficie del depósito		Márgenes del depósito			1. Revestimiento de todo o todo arenoso sobre la vegetación, cantos etc.				6. Herida en la corteza del tronco (descoartado)																		
1. Relieve positivo		1. Márgenes lobulados y/o diques			☐				☐																		
2. Superficies inclinadas por canales con cantos y bloques		☒			2. Árboles con madera astillada				☐																		
3. Dura y/o ripios		☒			3. Gravas embebidas en la madera				7. Vegetación arrancada de raíz																		
4. Superficies inclinadas por canales		☒			4. Troncos de árboles cortados				☐																		
5. Acumulación aleatoria de clastos gruesos y en contacto		☒			5. Ramas cortadas por erosión o dobladas				8. Hierba, pasto y material antrópico en las ramas de los árboles																		
6. Superficie suave y/o rugosa		☐			☐				9. Hierba, pasto y material antrópico en las ramas de los árboles																		
7. Antidunas		☐			☐				10. Sedimentos "consolidados" empaquetados entre raíces o dentro de cavidades de árboles																		
4. Frente de bloques		☐																									
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.° 1) (Margen izquierdo)																											
Fábrica		Relación Armazón/Matriz		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Selección		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Consolidación													
Armazón (N) 45		Matriz-esportado ☒		Finos (línea-Arillo: < 0.075 mm)		1. Muy angular		1. Buena		Finos (línea-Arillo: < 0.075 mm)		1. Muy angular		1. Semi-consolidado													
Matriz (N)		Clasto-esportado		Arena fina (0.075-0.425 mm)		2. Angular		2. Moderada		Arena fina (0.075-0.425 mm)		2. Angular		2. Consolidado													
Exposor				Arena media (0.425-2.0 mm)		3. Subangular		3. Mala		Arena media (0.425-2.0 mm)		3. Subangular		3. Sueto/Frías													
Orientación de los granos		3. Orientación aleatoria ☒		Arena gruesa (2.0-4.75 mm)		4. Subredondeada		4. Muy mala		Arena gruesa (2.0-4.75 mm)		4. Subredondeada															
1. Imbricación				Gravas finas (4.75-19 mm)		5. Redondeada				Gravas finas (4.75-19 mm)		5. Redondeada															
2. Paralela al flujo				Gravas gruesas (19-75 mm)		6. Bien redondeada				Gravas gruesas (19-75 mm)		6. Bien redondeada															
Dirección (Azimut)				Bloques (> 300 mm)						Bloques (> 300 mm)																	
Composición litológica/Descripción												Meteorización de los clastos				Estructuras sedimentarias				Est. Erosión							
Clastos de origen metamórfico e igneo												Anillos de meteorización				1. Estratificación masiva o sin estructuras				5. Estratos con laminación cruzada				1. Seor and fill			
												Superficies de oxidación de tonalidad clara				2. Estratos con laminación planar				6. Estratos con laminación en artesa				2. Surcos			
												Superficies de oxidación de tonalidad oscura				Estratificación inversa								3. Gárgaras			
												Desarrollo de relieve en la superficie del clasto				Gradación normal								4. Erosión lateral			
												Presencia de fracturas				Gradación inversa				5. Snowación de fondo							
												Presencia de minerales arcillosos por meteorización				Gradación normal											
												Presencia de escamación				Gradación inversa											
Propiedades físicas del depósito (Estrato n.° 2) (Margen derecho)																											
Fábrica		Relación Armazón/Matriz		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Selección		Tamaño de grano (%)		Forma y esfericidad		Consolidación													
Armazón (N) 35		Matriz-esportado ☒		Finos (línea-Arillo: < 0.075 mm)		1. Muy angular		1. Buena		Finos (línea-Arillo: < 0.075 mm)		1. Muy angular		1. Semi-consolidado													
Matriz (N)		Clasto-esportado		Arena fina (0.075-0.425 mm)		2. Angular		2. Moderada		Arena fina (0.075-0.425 mm)		2. Angular		2. Consolidado													
Exposor				Arena media (0.425-2.0 mm)		3. Subangular		3. Mala		Arena media (0.425-2.0 mm)		3. Subangular		3. Sueto/Frías													
Orientación de los granos		3. Orientación aleatoria ☒		Arena gruesa (2.0-4.75 mm)		4. Subredondeada		4. Muy mala		Arena gruesa (2.0-4.75 mm)		4. Subredondeada															
1. Imbricación				Gravas finas (4.75-19 mm)		5. Redondeada				Gravas finas (4.75-19 mm)		5. Redondeada															
2. Paralela al flujo				Gravas gruesas (19-75 mm)		6. Bien redondeada																					

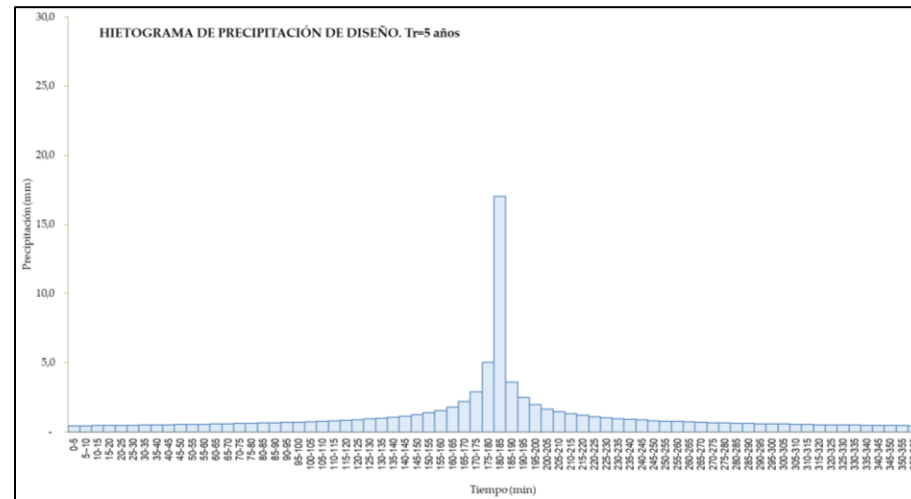
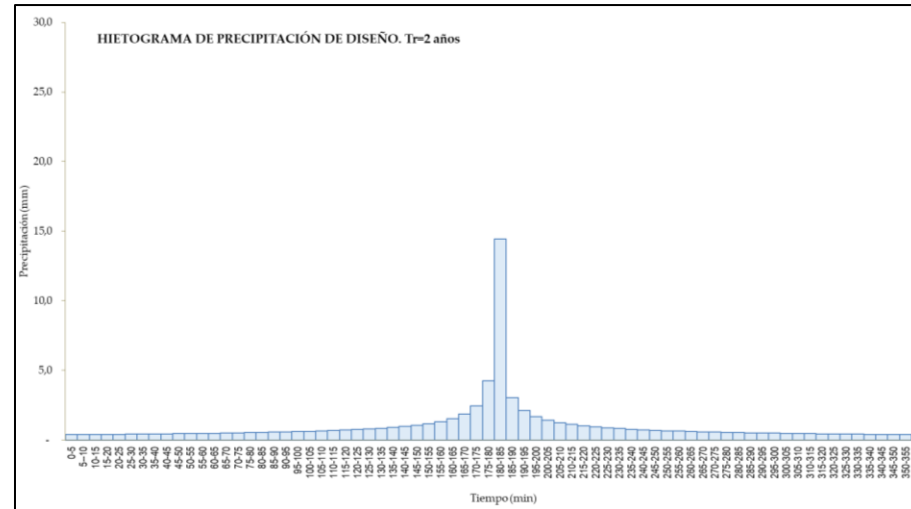
AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Apéndice B. Formato para la caracterización de macizo rocoso.

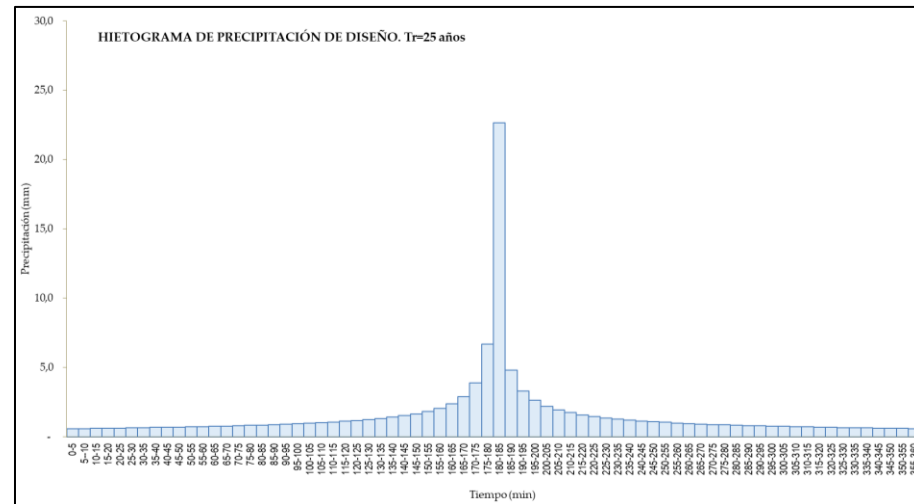
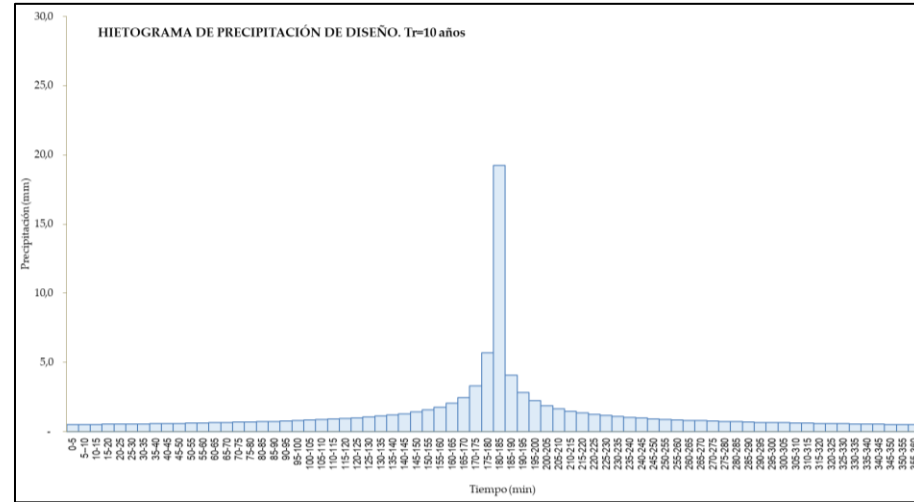
[illegible]

[illegible]

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

Apéndice D. Hietogramas para cada uno de los periodos de retorno analizados.

AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ



AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES QDA. PANAMÁ

