

Caracterización de las unidades geológicas superficiales (UGS) y subunidades geomorfológicas (SGMF) a escala 1:25.000 para el municipio de San Joaquín, Santander, como una herramienta en la evaluación de los factores de inestabilidad superficial.

Andrea Hernández Grimaldos y María Alejandra Navas Báez

Trabajo de grado para optar por el título de geólogas

Director:

Leonardo Palmera Sánchez
Magíster en Geociencias

Codirector:

Joaquín Andrés Valencia Ortiz
Doctorado en Geología

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2026

Dedicatoria

A mi madre, Gladys, por su amor incondicional y ser mi ejemplo de amor, paciencia, perseverancia y esfuerzo. A mi padre, por su amor y comprensión.

A mi hermana, Angelica, quien nunca dudo del camino que elegí recorrer y sus infinitos consejos a nivel académico y personal.

A mis amigos, en especial al Equipo Dinamita, quienes me alegraron en cada paso y siempre me impulsaron a seguir adelante.

Finalmente, este trabajo me lo dedico a mí misma, quien a pesar de los tropiezos nunca se rindió y cumplió su sueño de ser geóloga.

Andrea

A mis padres Olga y José, y a mi hermano Felipe, que formaron el suelo firme sobre el que me sostuve. Especialmente a ti, mami, que tuviste fe en mí incluso cuando yo la perdía.

A mi nona Graciela, cuyas oraciones viajaron conmigo cada noche sin que yo lo supiera, y a Lucas, mi compañero peludo, que se acurrucó a mi lado en cada traspasada.

A mis amigos y compañeros de disciplina, que me recordaron por qué empecé cuando yo ya lo había olvidado, y a Nico, mi compañero de vida, que siempre encuentra la forma de motivarme a hacer lo que amo.

Y a mí. Por cada vez que quise rendirme y no lo hice.

María Alejandra

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, quien me ha dado fortaleza y paciencia, iluminando cada paso para recorrer este camino.

Agradezco a mi alma mater, la Universidad Industrial de Santander, por abrirme las puertas del conocimiento y acompañarme en mi proceso formativo, en especial a la Escuela de Geología y a los profesores que hicieron que amara cada día más la geología: Joaquín, Leonardo, Angélica, entre otros. Agradezco su infinita paciencia y su amor por la profesión.

Agradezco a mis padres, en especial a mi madre, por su gran sacrificio, paciencia y su motivación en las noches de traspasos o en los días que dudaba de mí misma. A mi padre, por su amor incondicional. Este logro es tanto suyo como mío, ustedes fueron mi pilar en tiempos difíciles.

Gracias a mi hermana, que desde que le conté mi sueño de ser geóloga nunca dejó de motivarme y su fe siempre estuvo en mí, siempre me brindó su sabiduría a pesar de la distancia.

Agradezco a mis amigos del Equipo Dinamita, en especial a mi mejor amiga Angie, quienes fueron parte esencial de este proceso, ya que fueron fuente de inspiración y siempre hicieron más llevadero todas las cargas.

Finalmente, a mi compañera María, quien me enseñó que este viaje se hacía más ligero mientras estuviéramos las dos. Gracias por tu esfuerzo, paciencia y por apasionarte por las geoamenazas tanto como yo.

Andrea

Para empezar, agradezco a la vida por cruzarme con la geología y a la Universidad Industrial de Santander por ser el espacio donde ese amor tomó forma, especialmente a mis profesores Angelica, Joaquín y Leonardo.

A mi familia, que sostuvo este proceso desde el primer día. No me alcanza esta vida para agradecerles tanto amor.

Nico, gracias por apoyarme, por escucharme y por ser el lugar donde siempre quise llegar después de un día difícil.

Gracias a mis amigos Santi, Sylvi, Juli, Sebas, Raúl, Juan Pablo y al Equipo Dinamita por las risas que llegaban justo cuando más las necesitaba.

Karol, Brayan, Valentina y al grupo Teatro UIS, gracias por darme un espacio donde soltar todo y simplemente poder ser yo.

A Andrea, porque pocas veces se encuentra a alguien que se apasione tanto por lo mismo que tú. Gracias por acompañarme y tenderme la mano cuando lo necesité. No hubiera sido lo mismo sin ti.

María Alejandra

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción-----	13
1. Planteamiento del problema -----	14
2. Justificación-----	17
3. Localización -----	18
4. Objetivos -----	21
4.1. Objetivo general-----	21
4.2. Objetivos específicos-----	21
5. Marco teórico -----	21
5.1. Subunidades geomorfológicas-----	21
5.2. Unidades Geológicas Superficiales-----	23
6. Estado del arte-----	23
7. Marco geológico regional -----	25
7.1. Estratigrafía -----	25
7.1.1. Esquistos del Chicamocha (PDec) -----	26
7.1.2. Formación Floresta (Dfm)-----	27
7.1.3. Granito de pescadero (JTRcm) -----	28
7.1.4. Cuaternario (Qal) -----	29
7.2. Geología estructural -----	30
7.3. Geomorfología -----	31
7.3.1. Sierra denudada (Dsd) -----	32
7.3.2. Loma denudada (Dld)-----	33
7.3.3. Escarpe de erosión menor (Deeme) -----	33

7.3.4. Espolón (Ses) -----	34
7.3.5. Plano o llanura de inundación (Fpi) -----	34
8. Metodología-----	35
9. Resultados -----	40
9.1. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)-----	40
9.1.1. Cuenca Panamá -----	41
9.1.2. Cuenca El León -----	45
9.2. Subunidades Geomorfológicas (SGMF)-----	47
9.2.1. Ambiente estructural -----	50
9.2.2. Ambiente Denudacional -----	53
9.2.3. Ambiente fluvial -----	55
9.2.4. Ambiente antrópico-----	56
9.3. Análisis estructural -----	57
9.3.1. Fallas -----	57
9.3.2. Lineamientos-----	63
9.3.3. Zonas críticas -----	65
9.4. Evolución geomorfológica -----	70
9.5. Correlación geo-ambiental -----	72
10. Conclusiones-----	74
11. Recomendaciones-----	75
Referencias Bibliográficas-----	77
Apéndices-----	83

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Listado de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la Cuenca Panamá.</i>	43
Tabla 2. <i>Listado de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la Cuenca El León.</i>	46
Tabla 3. <i>Área ocupada por ambiente morfogenético.</i>	49
Tabla 4. <i>distribución del área total de las subunidades del ambiente estructural.</i>	51
Tabla 5. <i>Distribución del área de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional.</i>	54
Tabla 6. <i>Área de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial.</i>	55

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Localización geográfica del área de estudio.</i>	19
Figura 2. <i>Ubicación espacial de las veredas del municipio de San Joaquín.</i>	19
Figura 3. <i>Mapa de la geología regional a escala 1:25.000 del área de estudio.</i>	26
Figura 4. <i>Estación UGS-25 de Esquistos biotíticos de Esquistos del Chicamocha.</i>	27
Figura 5. <i>Afloramiento de cuarcitas de la Formación Floresta en la Quebrada Panamá</i>	28
Figura 6. <i>Afloramiento de Monzogranito del Granito de Pescadero alterado a sericita</i>	29
Figura 7. <i>Afloramiento en la Quebrada El León</i>	30
Figura 8. <i>Mapa de las Unidades Geomorfológicas regionales</i>	32
Figura 9. <i>Flujo de trabajo propuesto para el trabajo de investigación</i>	36
Figura 10. <i>Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a cada una de las Unidades Geológicas en la zona de estudio</i>	41
Figura 11. <i>Mapa de la Cuenca Panamá de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000</i>	42
Figura 12. <i>Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a la calidad de cada una de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la cuenca Panamá.</i>	43
Figura 13. <i>Mapa de la Cuenca El León de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000</i>	45
Figura 14. <i>Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a la calidad de cada una de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) de la Cuenca El León</i>	46
Figura 15. <i>Mapa de subunidades geomorfológicas (SGMF).</i>	48
Figura 16. <i>Distribución porcentual del área según ambientes morfogenéticos</i>	50

Figura 17. <i>Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente estructural</i>	51
Figura 18. <i>Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacio- nal</i>	53
Figura 19. <i>Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial</i> ...	56
Figura 20. <i>Vista panorámica de la Falla Los Santos</i>	58
Figura 21. <i>Vista panorámica de la Falla Pueblo Viejo</i>	59
Figura 22. <i>Vista panorámica de la Falla El León tomada en la cuenca El León</i>	60
Figura 23. <i>Falla Rancho Quemado vista desde Google Earth</i>	61
Figura 24. <i>Mapa estructural del área de estudio a escala 1:25.000</i>	63
Figura 25. <i>Mapa de las zonas críticas en el área de estudio</i>	66
Figura 26. <i>Bloque diagrama donde se evidencia la distribución de las UGS y SGMF con control estructural</i>	72

Lista de Apéndices**Pág.**

A. Formatos de roca y suelo para UGS -----	83
B. Formato de caracterización morfométrica para cartografía de subunidades geomorfológicas (SGMF) -----	85
C. Descripción de las Unidades geológicas Superficiales (UGS) -----	87
D. Descripción Subunidades geomorfológicas (SGMF) -----	118

Resumen

Título: Caracterización de las unidades geológicas superficiales (UGS) y subunidades geomorfológicas (SGMF) a escala 1:25.000 para el municipio de San Joaquín, Santander, como una herramienta en la evaluación de los factores de inestabilidad superficial*

Autor: Andrea Hernández Grimaldos y María Alejandra Navas Báez**

Palabras Clave: Unidades Geológicas Superficiales, Subunidades Geomorfológicas, Movimientos en masa, Inestabilidad superficial, San Joaquín.

Descripción:

El municipio de San Joaquín, Santander, presenta condiciones geológicas, geomorfológicas y estructurales que favorecen la ocurrencia de procesos de inestabilidad superficial, especialmente movimientos en masa y avenidas torrenciales, los cuales representan una amenaza para la población, la infraestructura y las actividades productivas. El presente estudio tuvo como objetivo realizar la cartografía y caracterización de las UGS y las SGMF a escala 1:25.000, como insumo técnico para el análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad superficial.

La metodología integró la recopilación de información, fotointerpretación, análisis morfo-métrico y verificación en campo. La caracterización de las UGS se realizó mediante la aplicación del índice de resistencia geológica (GSI) de Hoek y Brown (1980), mientras que las SGMF se definieron a partir del análisis de parámetros como pendiente, curvatura, longitud de ladera, patrón de drenaje y control estructural.

Los resultados evidenciaron que en los macizos rocosos predominan calidades de mala a muy mala y suelos residuales altamente meteorizados, asociados principalmente a geoformas denudacionales y estructurales con pendientes abruptas. Asimismo, se identificó una estrecha relación entre las UGS, SGMF y la ocurrencia de movimientos en masa, influenciada por el control tectónico y los procesos denudacionales activos. Estos resultados constituyen un insumo fundamental para la gestión del riesgo y la planificación territorial en el municipio de San Joaquín.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Leonardo Palmera Sánchez, Magíster en Geociencias. Codirector: Joaquín Andrés Valencia Ortiz, Doctorado en Geología

Abstract

Title: Characterization of Superficial Geological Units (SGU) and Geomorphological Subunits (GMS) at 1:25,000 scale in the municipality of San Joaquín, Santander, as a tool for superficial instability assessment.*

Author(s): Andrea Hernández Grimaldos, María Alejandra Navas Báez **

Key Words: Superficial Geological Units, Geomorphological Subunits, Mass movements, Superficial instability, San Joaquín.

Description:

The municipality of San Joaquín, Santander, has geological, geomorphological, and structural conditions that favor the occurrence of surface instability processes, especially mass movements and torrential avenue, which pose a threat to the population, infrastructure, and productive activities. The objective of this study was to map and characterize the UGS and SGMF at a scale of 1:25,000 as technical input for the analysis of the factors conditioning surface instability.

The methodology integrated information gathering, photo interpretation, morphometric analysis, and field verification. The characterization of the UGS was carried out using Hoek and Brown's geological strength index (GSI) (1980), while the SGMF were defined based on the analysis of parameters such as slope, curvature, slope length, drainage pattern, and structural control.

The results showed that poor to very poor soil quality and highly weathered residual soils predominate in the rock massifs, mainly associated with denudational and structural landforms with steep slopes. A close relationship was also identified between the UGS, SGMF, and the occurrence of mass movements, influenced by tectonic control and active denudational processes. These results constitute a fundamental input for risk management and territorial planning in the municipality of San Joaquín.

** Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Leonardo Palmera Sánchez, Master in Geosciences. Co-director: Joaquín Andrés Valencia Ortiz, Ph.D. in Geology.

Introducción

La caracterización de las unidades geológicas superficiales y de las subunidades geomorfológicas se presentan como una herramienta esencial para entender los procesos que moldean el relieve y afectan la estabilidad del terreno. El análisis integrado de la litología, la geomorfología, la inclinación, las propiedades del suelo y la cobertura vegetal facilita la identificación de áreas con comportamientos geodinámicos distintos, proporcionando información crucial para la planificación territorial, el ordenamiento del uso del suelo y la gestión del riesgo. En este contexto, el conocimiento exhaustivo de las características superficiales del terreno es fundamental para evaluar la vulnerabilidad a diversos procesos geológicos, incluyendo los movimientos en masa.

Los movimientos en masa son una de las amenazas naturales más comunes y destructivas que pueden generar pérdidas humanas y económicas significativas a lo largo del mundo. Estos fenómenos implican desplazamientos de materiales que pueden comprender rocas, detritos y lodos a diferentes velocidades, las cuales son determinadas por factores como la litología, la pendiente, cobertura vegetal, propiedades del suelo y geomorfología (Castro Marín & Ibáñez Almeida, 2024). En Colombia, las geodinámicas derivadas de la convergencia de las placas Suramericana, Nazca y Caribe, junto con la topografía montañosa y los regímenes de lluvias extremas, han incrementado de manera significativa la susceptibilidad de este tipo de eventos (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2020).

En el departamento de Santander, las características tectónicas, litológicas y topográficas crean escenarios críticos de inestabilidad superficial. En particular, el municipio de San Joaquín ha evidenciado ser una amenaza latente para la comunidad, esto se ha constatado en la clasificación de amenaza que fue asignado por Castro e Ibáñez (2024) como un área de amenaza alta a muy alta y el EOT (Alcaldía de San Joaquín, 2024), que cataloga el 93% del territorio con una amenaza que

va desde alta a muy alta, donde los tipos de movimientos en masa que prevalecen son los deslizamientos y flujos. Estos procesos pueden ser desencadenados por factores desencadenantes como lluvias intensas o actividad sísmica, que desestabilizan las capas superficiales del suelo y originan afectaciones tanto en ambientes naturales como en espacios intervenidos por el ser humano (Keefer, 1984).

Ante este contexto, la planificación territorial debe tener en cuenta la integración de metodologías que permiten evaluar las condiciones críticas asociadas a los movimientos en masa, no solo para generar insumos técnicos que refuercen la gestión de riesgo y la planificación territorial, si no también contribuir al cumplimiento de las metas establecidas en el Marco Sendai y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2030, que están orientadas a la reducción de pérdidas humanas y económicas derivadas de fenómenos naturales.

De este modo, la presente investigación tiene como objetivo consolidar un análisis científico exhaustivo relacionando las unidades geológicas superficiales y subunidades geomorfológicas del área, como base para la identificación de susceptibilidad de movimientos en masa, aportando conocimiento técnico y científico para la prevención y mitigación de riesgos en zonas de alta amenaza.

1. Planteamiento del problema

Los movimientos en masa constituyen uno de los fenómenos naturales más recurrentes y devastadores en regiones montañosas, cuya ocurrencia está condicionada por una interacción compleja entre factores geológicos, climáticos y antrópicos. En Colombia, y particularmente en Santander, las características tectónicas, litológicas y topográficas generan escenarios de alta

susceptibilidad a estos procesos, que se ven intensificados por las condiciones climáticas extremas y por la presión ejercida por el uso inadecuado del suelo y las actividades humanas.

Según Froude & Petley (2018), entre 2004 y 2016 ocurrieron un total de 4,862 deslizamientos a nivel global, en los que fallecieron un total de 55,997 personas. Para el año 2024 se registró una cifra alarmante de 766 movimientos en masa con víctimas mortales, excluyendo aquellos provocados por sismos, lo que resultó en aproximadamente de 4,933 fallecidos. Esta cifra superó los registros históricos por casi 100 eventos adicionales (Petley, 2025).

Muchos de estos deslizamientos están estrechamente relacionados con factores topográficos y climáticos, como la lluvia, los cuales desencadenan procesos de inestabilidad del terreno. Además, los efectos del cambio climático han intensificado esta problemática y se prevé que los movimientos en masa aumenten en los próximos años (Gariano & Guzzetti, 2016).

Las zonas montañosas son las más afectadas, ya que, gracias a sus altas pendientes combinadas con condiciones climáticas extremas, favorecen la inestabilidad en las superficies del terreno, incrementando el riesgo de deslizamientos y otros procesos de movimientos en masa (Froude & Petley, 2018). Adicional a esto, se debe destacar el cambio del uso de los suelos y algunas actividades humanas que afectan la estabilidad del terreno, esto ha provocado un aumento en los movimientos en masa de origen antropogénico (Anderson & Holcombe, 2013; Fidan y otros, 2024).

Colombia no es ajena a esta problemática debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrometeorológicas, de ocupación y el uso del suelo, esto teniendo en cuenta que, el país cuenta con sistemas orogénicos y la convergencia de tres placas tectónicas (Suramericana, Nazca y Caribe). Debido a esto, para el escenario colombiano se observa que, en los últimos años estos

eventos se han magnificado debido a la interacción con entornos antrópicos, lo que se evidencia en el aumento de registros de movimientos en masa en los últimos años (UNGRD, 2020).

Para el año 2015, el Servicio Geológico Colombiano actualizó el Mapa Nacional de Amenaza relativa por Movimientos en Masa a escala 1:100.000 (Pastrana Caviedes & Blair Camacho, 2023), en el que se identificó que el 50% del país se encuentra en amenaza baja, el 22% en amenaza media, 20% en amenaza alta y 4% en amenaza muy alta (UNGRD, 2020). La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre (UNGRD), indica que a partir del Mapa Nacional de Amenaza relativa por Movimientos en Masa y con los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda DANE (2018), aproximadamente el 83% de la población colombiana se encuentra ubicada en una región categorizada como zona de amenaza alta a muy alta (UNGRD, 2020).

El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre (2015 – 2030) adoptó las cuatro prioridades formuladas en el Marco de Sendai en cinco objetivos estratégicos, como son la reducción de pérdidas económicas, personas afectadas y la mortalidad causada por los desastres naturales para el 2030 (UNGRD, 2020). Siguiendo estos objetivos, el presente trabajo de investigación, busca aportar conocimientos para ayudar a disminuir los daños causados por los movimientos en masa y mejorar la prevención de desastres en el municipio de San Joaquín, Santander.

El municipio de San Joaquín, localizado en el Departamento de Santander, de acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de San Joaquín, 2024), más del 93% de su territorio está clasificado con un nivel de amenaza que varía de alta a muy alta debido a movimientos en masa, lo que representa un riesgo tanto para la población como para la infraestructura y los sistemas productivos locales. A pesar de esto, los estudios disponibles sobre la caracterización geológica y geomorfológica de la región resultan generales o a escalas poco detalladas, lo que

restringe la capacidad de evaluar con precisión los factores que contribuyen a la inestabilidad superficial.

La falta de cartografía a una escala adecuada y la ausencia de una integración sistemática entre las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) y las Subunidades Geomorfológicas (SGMF) complican la comprensión de cómo la litología, la disposición estructural, la pendiente y los procesos morfodinámicos influyen en la ocurrencia de deslizamientos, flujos y otros fenómenos relacionados. Esta falta de información detallada no solo limita los procesos de planificación territorial, sino que también obstaculiza la formulación de estrategias de prevención y mitigación de riesgos que son requeridas por la comunidad y las instituciones responsables de la gestión del riesgo.

2. Justificación

La presente investigación se presenta debido a la necesidad de fortalecer el conocimiento geológico y geomorfológico a escala local como herramienta fundamental para la gestión del riesgo por movimientos en masa. En este sentido, la limitada disponibilidad de cartografía detallada y actualizada dificulta la identificación precisa de los factores que condicionan la ocurrencia de estos fenómenos, lo que resalta la importancia de desarrollar estudios específicos con un enfoque técnico y sistemático.

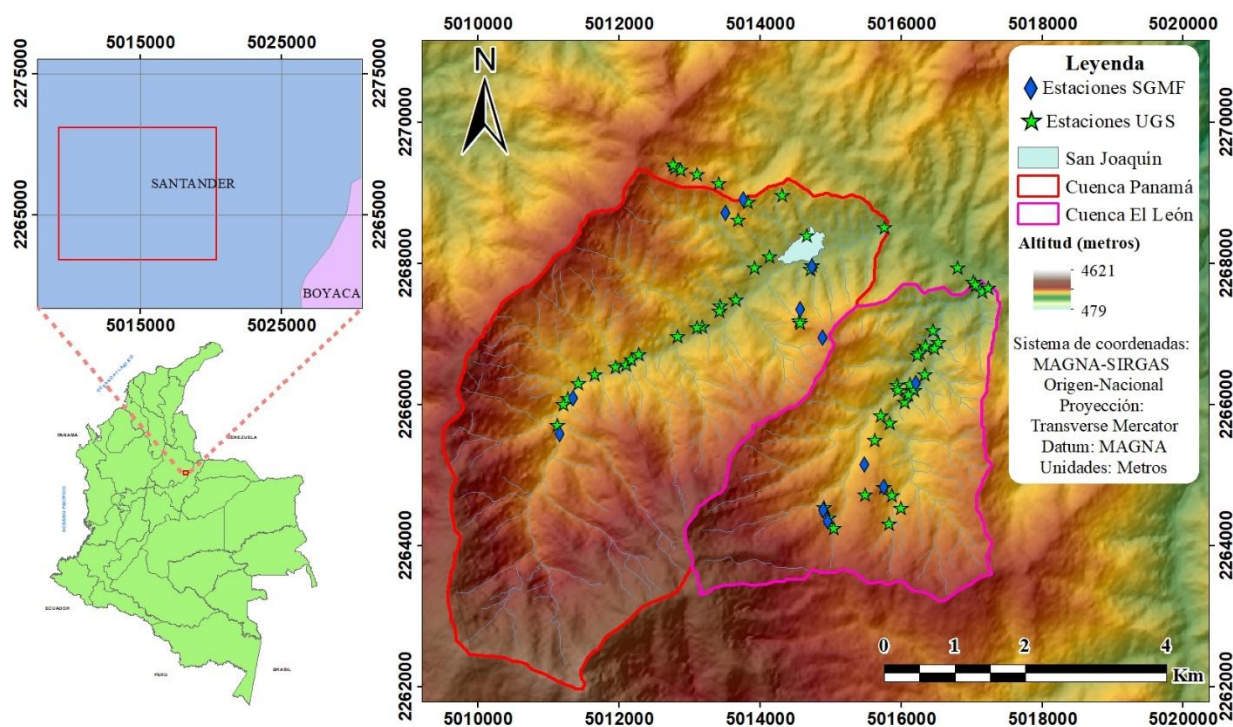
En concordancia con el objetivo general del estudio, orientado a la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) y las Subunidades Geomorfológicas (SGMF) como insumo para el análisis de la amenaza por movimientos en masa, esta investigación propone la elaboración de la cartografía a escala 1:25.000 para el municipio de San Joaquín, siguiendo las directrices técnicas del Servicio Geológico Colombiano. Este nivel de detalle permitirá identificar de manera detallada las condiciones físicas del terreno y su relación con los procesos geomorfológicos

activos, aportando información clave para el entendimiento de la evolución geomorfológica de las cuencas locales.

Por lo tanto, la caracterización de las UGS y SGMF se consolida como una herramienta técnica esencial para la evaluación de los factores de inestabilidad superficial, al proporcionar una base sólida de conocimientos que permite identificar los elementos que contribuyen y/o condicionan estos procesos. Los resultados de estudio aportarán información relevante para futuros análisis de amenaza y riesgo, y sustituyen un insumo técnico valioso para la gestión del territorio y la reducción del riesgo por movimientos en masa en el municipio de San Joaquín.

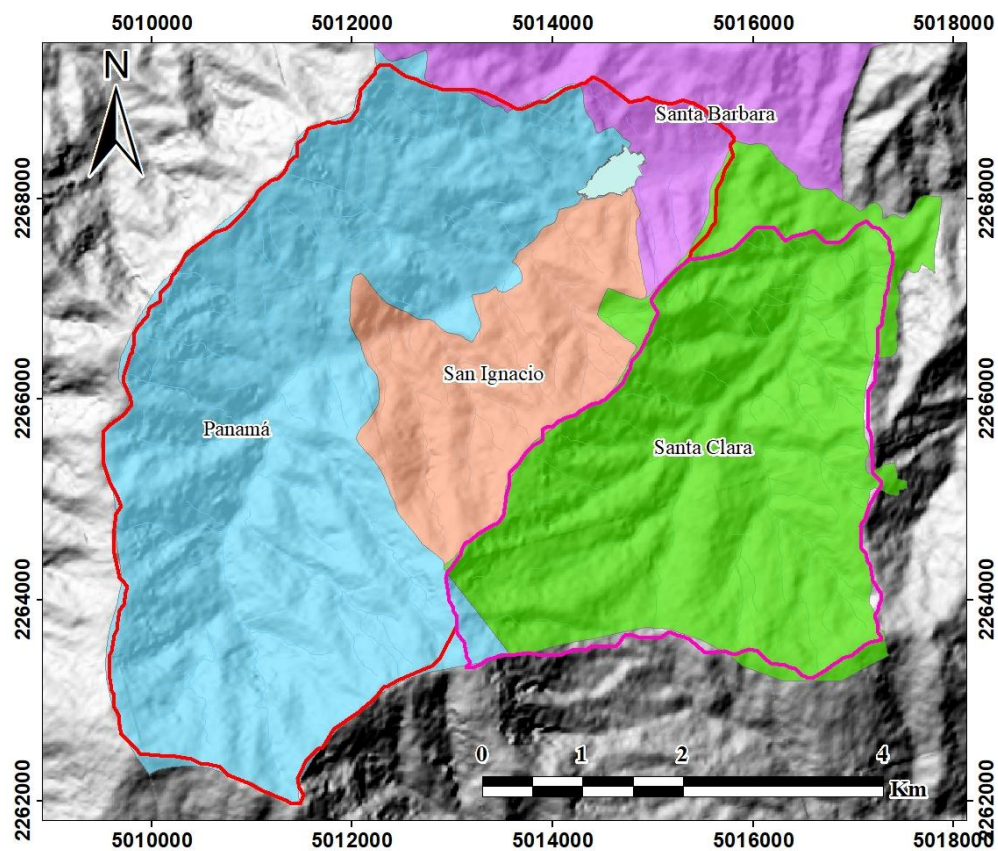
3. Localización

La región de estudio se localiza en el municipio de San Joaquín, perteneciente a la provincia de Guantán en el suroriente del departamento de Santander, situado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental y la zona suroeste del Macizo de Santander. El municipio limita con Molagavita y Mogotes al norte, Molagavita y Onzaga al este, Coromoro y Onzaga al sur, y Mogotes al oeste, abarcando 192 km² (0.17 km² urbanos y 191.83 km² rurales) con elevaciones entre 958 y 3,264 m s.n.m ([Alcaldía de San Joaquín, 2024](#)). La cartografía base correspondiente al municipio hace parte de las planchas 136 y 152 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) ([Figura 1](#)).

Figura 1*Localización geográfica del área de estudio.*

El estudio se enfocó en dos cuencas que suman un área total de 39.97 km² incluyendo el casco urbano y las veredas Panamá, San Ignacio, Santa Clara y Santa Bárbara, cuya ubicación se observa en la Figura 2, caracterizadas por su morfología montañosa variada con accidentes orográficos que incluyen cuchillas, cerros y altos, así como importantes afluentes determinantes en el desarrollo de procesos morfogenéticos como las quebradas Panamá, El Durazno y El León (conocida en el municipio como La Leona), que junto con las microcuencas de los ríos San Joaquín y Panamá forman valles angostos que confluyen hacia el río Onzaga ([Administración Municipal de San Joaquín, 2014](#)).

Figura 2*Ubicación espacial de las veredas del municipio de San Joaquín.*



4. Objetivos

4.1.Objetivo general

Elaborar una cartografía y un análisis de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) y de las Subunidades geomorfológicas (SGMF) a escala 1:25.000, siguiendo los documentos técnicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC) para el municipio de San Joaquín, Santander, como una herramienta en la evaluación de los factores de inestabilidad superficial.

4.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar la cartografía de las Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:25.000, utilizando como referencia la caracterización del macizo rocoso usando la clasificación GSI de Hoek y Brown (1980) en el municipio de San Joaquín.
- ✓ Elaborar la cartografía de las Subunidades Geomorfológicas a escala 1:25.000, a través de diversas técnicas, como son la fotointerpretación y el análisis en campo.
- ✓ Evaluar la influencia de las Unidades Geológicas Superficiales y las Subunidades Geomorfológicas en la ocurrencia de movimientos en masa en el municipio de San Joaquín.
- ✓ Analizar la evolución geomorfológica de las cuencas de estudio considerando el relieve, los procesos de erosión y los factores geológicos que han condicionado su formación.

5. Marco teórico

5.1.Subunidades geomorfológicas

La geomorfología es la rama de la geología encargada de estudiar el relieve terrestre, así como su origen, evolución y los diferentes procesos que intervienen en el modelamiento del terreno

(Carvajal, 2008). Esta ciencia considera el análisis de la interacción entre los procesos endógenos (internos como la tectónica y el vulcanismo) y exógenos (externos como la meteorización, erosión y sedimentación) que inciden en la configuración del paisaje (Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017)). De esta manera, la geomorfología no solo permite describir el estado actual del terreno, si no también reconstruir los procesos históricos que han llevado a la conformación de los ambientes morfogenéticos observados.

El análisis geomorfológico inicia con observaciones a nivel regional y se profundiza en escalas locales, siguiendo la jerarquización propuesta por Carvajal (2008). Para la escala del trabajo (1:25.000) se usa la clasificación de subunidades geomorfológicas, la cual corresponde a formas individuales caracterizadas por su homogeneidad genética su formación a partir de un proceso específico (Carvajal, 2008).

Dentro de la escala de análisis se identifican distintos ambientes morfogenéticos tales como:

Ambiente estructural: Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación (SGC, 2014).

Ambiente denudacional: Estas geoformas están relacionadas con los procesos de erosión, depositación y movimientos en masa (Carvajal, 2008). Estos procesos también actúan sobre formas preexistentes, dando lugar a nuevas geoformas (SGC, 2014).

Ambiente fluvial: Este ambiente se caracteriza principalmente por estar dominado por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre y en

menor proporción por los ambientes lacustres que son sistemas dinámicos que evolucionan lentamente con el tiempo y el clima (SGC, 2015).

Ambiente antropogénico: Carvajal (2008) define este ambiente como aquellas formas originadas por la intervención del hombre al modificar la superficie del terreno.

5.2. Unidades Geológicas Superficiales

La geología también aborda el estudio de las unidades geológicas superficiales (UGS) definidas como “El resultado de procesos morfodinámicos por acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre” (INGEOMINAS, 2012). Teniendo en cuenta la metodología propuesta por SGC (2017), la clasificación de unidades geológicas superficiales (UGS), en un estudio, son de gran importancia ya que nos muestra dentro del mapa geológico, la distribución y propiedades físicas y mecánicas de las rocas y los suelos caracterizados, los cuales son considerados los componentes básicos del ambiente geológico y de suma importancia en estudios de geología.

La caracterización geológica de los macizos rocosos y de las Unidades Geológicas Superficiales es uno de los elementos básicos para la evaluación del comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial.

6. Estado del arte

La evaluación de los factores de inestabilidad superficial y la caracterización detallada de las unidades geológicas y geomorfológicas han sido temas ampliamente abordados en la geología

aplicada y la geomorfología, dada su relevancia para la mitigación de riesgos y la planificación territorial ([Petley, 2025](#)).

La literatura resalta la relación directa entre factores topográficos, climáticos y antrópicos con la ocurrencia de deslizamientos y otros movimientos en masa. Anderson y Holcombe ([2013](#)) enfatizan la necesidad de integrar enfoques comunitarios y técnicos para reducir el riesgo, mientras que Fidan y otros ([2024](#)) muestran que la identificación precisa de unidades de suelo y roca, así como la comprensión de los procesos geomorfológicos, son fundamentales para predecir zonas susceptibles a fallas del terreno.

En Colombia, las condiciones geodinámicas complejas, sumadas a factores climáticos y antrópicos, han incrementado la frecuencia e impacto de los movimientos en masa, situando al país como uno de los más vulnerables a este tipo de fenómenos ([SGC, 2023](#))

En este contexto, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha desarrollado metodologías para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, consolidando lineamientos técnicos que guían la caracterización de las Unidades Geológica Superficiales (UGS) y las Subunidades Geomorfológicas (SGMF) a escalas detalladas, como 1:25.000, lo que permite un análisis de alta resolución de los factores inestabilidad del terreno ([SGC, 2017](#)).

En el ámbito local, San Joaquín ha registrado eventos recientes que evidencian la magnitud de la problemática, como en 2023, donde el municipio fue afectado por una avenida torrencial que perjudicó parte del casco urbano de San Joaquín y las veredas San Ignacio, Santa Barbara, Santa Clara y San Isidro ([Corporación Autónoma Regional de Santander, 2023](#)). En respuesta a esta situación, se realizaron revisiones y actualizaciones del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de San Joaquín ([Alcaldía de San Joaquín, 2024](#)), la cual sigue los estudios básicos de amenazas según lo estipulado en el decreto 1077 de 2015.

Así, la caracterización precisa de las UGS y SGMF mediante la fotointerpretación, trabajo en campo y análisis geotécnico se consolida como una herramienta esencial para la evaluación de la inestabilidad superficial. Este enfoque integrador proporciona insumos fundamentales para formular estrategias de prevención y mitigación de riesgos, apoyar la toma de decisiones en gestión territorial y orientar la planificación de infraestructura en zonas de alta amenaza geológica.

7. Marco geológico regional

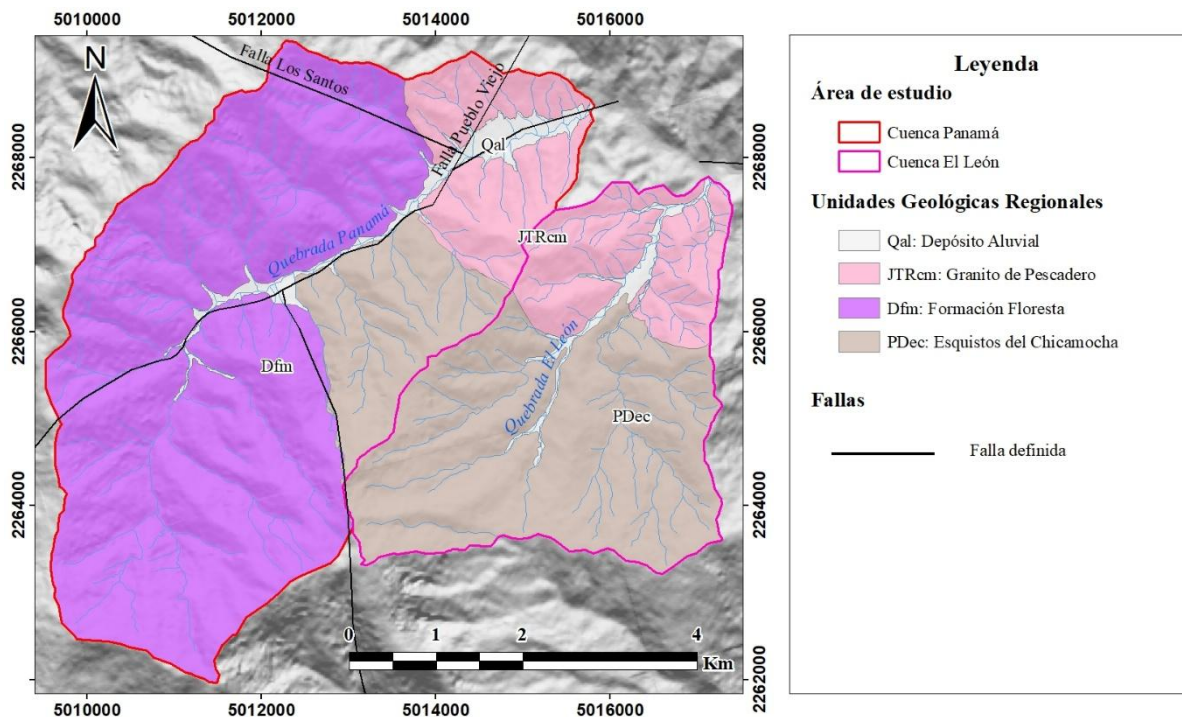
En esta sección se describe de manera detallada las principales características litológicas, estratigráficas y tectónicas que conforman el área de estudio, con el fin de contextualizar los procesos geológicos que han influido en la configuración actual del territorio. Se presentan las unidades geológicas y geomorfológicas aflorantes, relaciones estratigráficas y edades relativas, así como los principales sistemas de fallas que han condicionado la región.

7.1.Estratigrafía

La zona de estudio presenta cuatro unidades geológicas (Figura 3). La formación más antigua son los Esquistos del Chicamocha datada del Ordovícico con protolito del Pre- Cámbrico (Mantilla Figueroa y otros, 2016) que se ubica hacia el Sureste del municipio. También, se identifican rocas pertenecientes al miembro metamorfozado de la Formación Floresta (Devónico -Pérmico) en dirección noroeste (Amorocho Parra y otros, 2024). De igual modo, el noreste de la zona de estudio se encuentra compuesto por rocas ígneas de edad Pérmico-Carbonífero correspondientes al Granito de Pescadero (SGC, 2016). Finalmente, se observan depósitos Cuaternarios abarcando el municipio de San Joaquín y las quebradas Panamá y El León.

Figura 3

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



Nota: La figura muestra la distribución de las principales unidades litológicas y depósitos aluviales, así como las fallas propuestas por el SGC. Modificado de las planchas 136 (INGEOMINAS, 1984) y 152 (INGEOMINAS, 1987) del SGC.

7.1.1. Esquistos del Chicamocha (PDec)

En la zona de estudio, esta unidad presenta litologías de cuarcitas y esquistos. Las cuarcitas de estructura masiva y color gris se encuentran compuestas por cuarzo y moscovita, sugiriendo un metamorfismo de bajo grado. Los esquistos biotíticos de la zona se caracterizan por su tono rojizo debido a procesos de meteorización y oxidación (Figura 4)

Esta unidad fue definida inicialmente como la Formación Silgara por Ward y otros (1973), quienes la describieron como un conjunto de rocas de metamorfismo de bajo a medio grado y se

encuentra conformado por cuarcitas, esquistos micáceos, metagravauacas, filitas y metareniscas. Posteriormente, Mantilla (2016) propuso la separación de la Formación Silgará en tres unidades basado en dataciones U-Pb y análisis isotópicos Lu-Hf: Esquistos del Silgará, con una edad de depositación atribuida al Tónico; Esquistos del Chicamocha depositado durante el Ediacárico ;y finalmente, las Filitas de San Pedro cuya edad corresponde al Ordovícico.

Figura 4

Estación UGS-25 de Esquistos biotíticos de Esquistos del Chicamocha.



7.1.2. Formación Floresta (Dfm)

Las litologías observadas de esta formación en la zona de estudio corresponden a metareniscas, metaconglomerados, filitas y cuarcitas, aflorando principalmente en la Quebrada Panamá. Las metareniscas y los metaconglomerados se caracterizan por la presencia de cuarzo Jaspe. Las

filitas están compuestas por moscovita y cuarzo, mientras que las cuarcitas, de manera muy localizada (Figura 5).

Caster (1939) describió por primera vez esta unidad bajo el nombre “Floresta Series”, como una secuencia de Shales amarillos estratificados que afloran en Floresta, Boyacá. Sin embargo, Ward y otros (1973) dividen la Formación Floresta en tres miembros los cuales denominaron: Metamorfizado, Tibet y Arcilloso, siendo solo el primer miembro en aflorar en la zona de estudio y que es documentado como un conjunto de pizarras arcillosas y filitas.

Figura 5

Afloramiento de cuarcitas de la Formación Floresta en la Quebrada Panamá.



7.1.3. Granito de pescadero (JTRcm)

Esta unidad corresponde a una unidad ígnea plutónica aflorante en la vertiente del río Chicamocha, asociada al basamento profundo del Macizo de Santander. Está constituido principalmente por rocas graníticas con texturas porfiríticas a afaníticas, incluye sienogranitos, granodioritas y monzogranito biotítico de cristales anhedrales con colores blancos, pardos, rosas e incoloros, además presenta a su vez minerales de alteración como la sericita y la clorita (Figura 6). La primera

datación radiométrica de esta unidad la realizaron Goldsmith y otros (1971) mediante K-Ar, la cual dio una edad de 193 ± 6 Ma. Posteriormente, el SGC (2016) realizó una datación por el método U-Pb en circones y arrojaron edades de 194.8 ± 3.2 y 199.1 ± 1.3 Ma.

Figura 6

Afloramiento de Monzogranito del Granito de Pescadero alterado a sericita.



7.1.4. Cuaternario (Qal)

Corresponde a depósitos de origen aluvial y coluvial presentes en el área de estudio. Los depósitos aluviales se relacionan a los materiales acumulados por las quebradas mayores y que pueden constituir abanicos aluviales y llanuras de inundación (Figura 7). Los depósitos coluviales constituyen acumulaciones de fragmentos de rocas transportadas por los movimientos en masa.

Figura 7

Afloramiento en la Quebrada El León.



Nota: la zona en amarillo resalta el depósito de aluviotorrencial, mientras que la zona en rojo el suelo residual del Monzogranito del Granito de Pescadero.

7.2. Geología estructural

La geología del departamento de Santander está controlada por una compleja interacción de eventos tectónicos asociados a la evolución de la cordillera oriental, resultado de múltiples fases de deformación desde el Precámbrico hasta el Cenozoico (Royero & Clavijo, 2001). Estos eventos han generado un arreglo estructural caracterizado por sistemas de fallas regionales pliegues y zonas de deformación. La región oriental, comprendida por el Macizo de Santander, se caracteriza por un estilo estructural dominado por sistemas de fallas inversas, pliegues y cabalgamientos con orientación preferencial NE-SW a N-S (Royero & Clavijo, 2001).

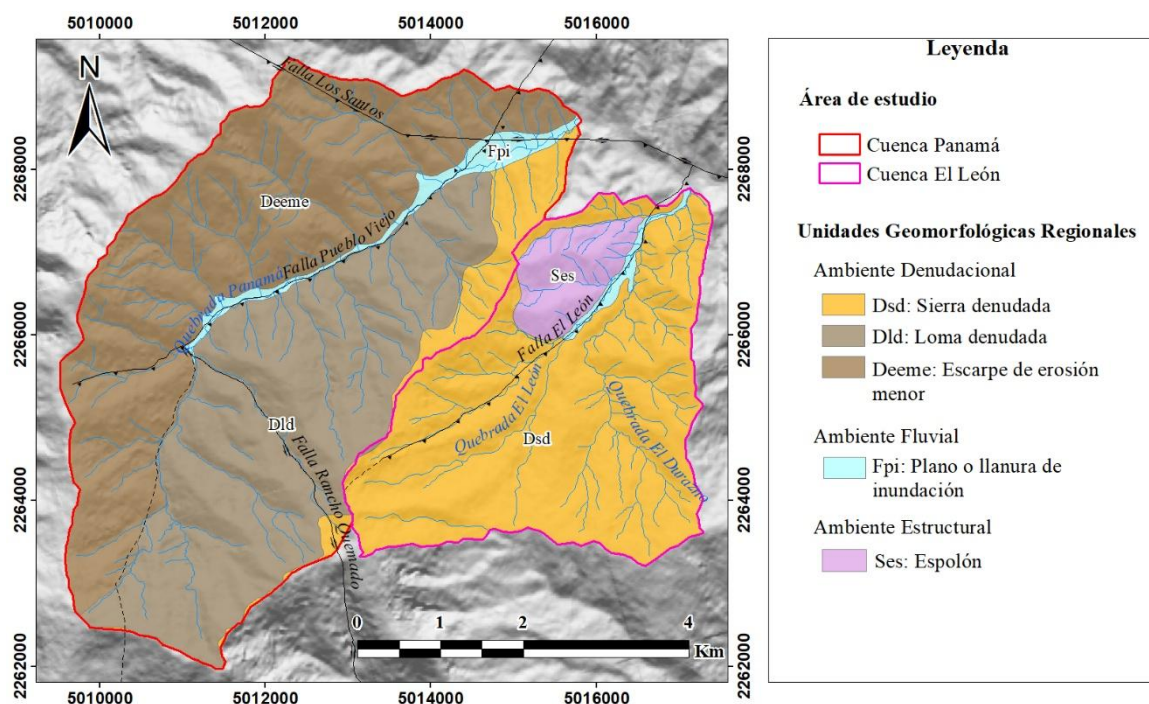
El municipio de San Joaquín se encuentra en una zona compleja estructuralmente, debido a que se sitúa hacia el SW del complejo estructural del Macizo de Santander. Esto se puede evidenciar en la variedad de lineamientos y fallas (Figura 3) que se encuentran relacionadas con la

parte sur de la Falla de Bucaramanga y la Falla Los Santos (ambas con rumbo NW de régimen transpresivo) ([Velandia Patiño, 2017](#)).

7.3. Geomorfología

El estudio de la geomorfología regional se presenta como una herramienta para interpretar y anticipar el comportamiento del terreno, captando la información de las formas del terreno, así como el material por el que está constituido y los procesos superficiales que lo afectan ([Carvajal, 2008](#)). La geomorfología del área de estudio está representada en las planchas 136-Málaga ([SGC, 2014](#)) y 152-Soatá ([SGC, 2015](#)) del Servicio Geológico Colombiano, donde se evidencia el predominio de geoformas de origen denudacional, que comprende un 93.57% del total del área estudiada, haciendo que la morfología del terreno este controlada por procesos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, los cuales han generado un relieve colinado caracterizado por laderas de pendientes abruptas y escarpadas ([SGC, 2014; 2015](#)).

Las unidades geomorfológicas del ambiente morfoestructural comprenden una extensión de 1.42683 km², representando el 3.97% de la superficie total analizada, y están conformadas por el espolón (Ses). Por otro lado, el ambiente fluvial ocupa un área total de 1.0601 km², correspondiente al 2.65% restante del área de estudio. Las geoformas de este ambiente se originan a partir de procesos erosivos vinculados a la dinámica fluvial ([SGC, 2015](#)), donde la planicie de inundación (Fpi) constituye la única unidad morfológica identificada, que se asocia al cauce de la quebrada Panamá.

Figura 8*Mapa de las Unidades Geomorfológicas regionales*

Nota: Modificado de las planchas 136-Málaga (SGC, 2014) y 152-Soatá (SGC, 2015).

A continuación, se presentan las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio, descritas conforme a la estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia propuesta por Carvajal (2008), esta notación cartográfica emplea una abreviatura de hasta cinco caracteres, en los cuales el primero describe el ambiente morfogenético principal: Denudacional (D), Fluvial (F) y Estructural (S), y las letras restantes corresponden al nombre de la geoforma.

7.3.1. Sierra denudada (Dsd)

Esta geoforma corresponde a prominencias topográficas de morfología montañosa y alargada, con laderas que varían de largas a extremadamente largas, y perfiles que oscilan entre cóncavos y convexos. Las pendientes son marcadamente inclinadas, llegando a ser abruptas en algunos

sectores. En estas unidades del relieve predominan procesos de erosión hídrica intensos, así como movimientos en masa de gran magnitud, tales como flujos, deslizamientos y reptación en laderas (SGC, 2015).

Su génesis está asociada a la acción erosiva pluvial, tanto difusa como concentrada, sobre unidades ígneas y metamórficas, así como sobre suelos residuales y saprolíticos derivados de la alteración de dichos macizos (SGC, 2014). En el área de estudio esta geoforma se encuentra hacia el este y abarca gran parte de la Cuenca El León (Figura 8).

7.3.2. Loma denudada (Dld)

Corresponde a prominencias topográficas de baja altitud, con elevaciones que no superan los 200 metros respecto al nivel base local. Presentan una morfología alomada y alargada, con relieve relativo bajo, laderas cortas a muy cortas de perfil convexo y pendientes que varían entre muy inclinadas y abruptas (SGC, 2014). Estas unidades se originan por procesos intensos de meteorización física y química, así como por erosión diferencial que actúa sobre las laderas, generando formas erosivas concentradas como surcos y cárcavas, está situada en la parte este de la Cuenca Panamá, especialmente en zonas sin cobertura vegetal o intervenidas por actividades humanas.

7.3.3. Escarpe de erosión menor (Deeme)

Esta unidad está representada por escarpes y laderas abruptas, con longitudes que varían desde muy cortas hasta extensas, y alturas generalmente inferiores a 20 metros (SGC, 2014). Presentan una morfología variable, en la que predomina la forma cóncavo-convexa, aunque también

se presentan perfiles rectos. Las pendientes oscilan entre escarpadas y muy escarpadas, por lo que se puede inferir que la zona se ve afectada por una fuerte dinámica erosiva (SGC, 2014).

Estas geoformas se caracterizan por la presencia de depósitos de caída, como taludes y coluviones clastosoportados y su origen está asociado principalmente a la socavación fluvial lateral, procesos de erosión activa y movimientos en masa remontantes que se desarrollan a lo largo de drenajes menores (SGC, 2015).

7.3.4. *Espolón (Ses)*

En el área de estudio solo se encuentra esta unidad asociada al ambiente morfoestructural (Figura 8), los espolones son aquellas salientes de morfología alomada presentes en la región se caracterizan por su disposición transversal respecto a la estructura geológica dominante, la cual se puede desarrollar sobre rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (SGC, 2015). Estas geoformas están delimitadas por sistemas de drenaje que siguen patrones paralelos o subparalelos, lo que contribuye a su configuración espacial (SGC, 2014). Estas geoformas están conformadas por laderas de longitudes variables y pendientes que se han visto afectadas por procesos denudativos intensos, especialmente de tipo hídrico (SGC, 2015).

7.3.5. *Plano o llanura de inundación (Fpi)*

Estas geoformas se describen como franjas de terreno plano, de morfología baja y ondulada, que se desarrollan en los márgenes de los cauces fluviales dentro de valles intramontañosos (SGC, 2014). Estas superficies se caracterizan por ser eventualmente inundables, están localmente delimitadas por escarpes de terraza y presentan una configuración estrecha, alargada y profunda en zonas montañosas. La red de drenaje asociada es de tipo subparalelo y de mediana densidad,

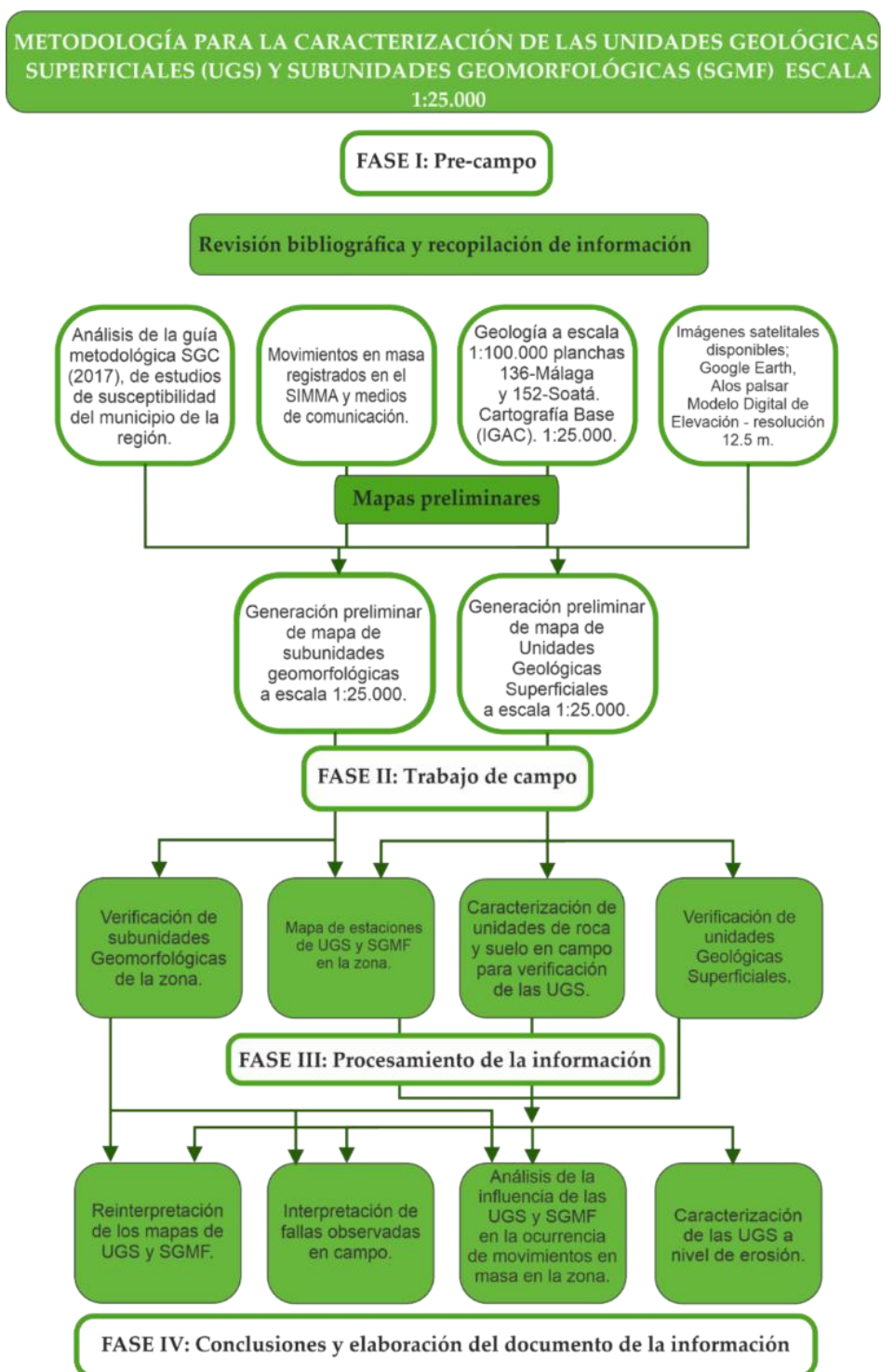
reflejando una dinámica fluvial moderada. En algunos sectores, sobresalen pequeñas colinas formadas por procesos de erosión laminar y acumulación de sedimentos (SGC, 2014). En el área de estudio, estas planicies presentan dimensiones reducidas, debido a la limitada generación de sedimentos y al bajo caudal de las quebradas que las atraviesan (SGC, 2014), se asocian principalmente a la Quebrada Panamá, en la Cuenca Panamá, y la Quebrada El León, en la Cuenca El León.

8. Metodología

Este proyecto de investigación se realizó llevando a cabo cinco fases (Figura 9) que se muestran a continuación:

Fase 1: Pre-Campo

En esta fase del proyecto, se recopiló información bibliográfica para la generación de los mapas preliminares de las Unidades Geológicas Superficiales y las Subunidades Geomorfológicas. La búsqueda se realizó mediante los softwares del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2025), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2025) y el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIMMA) (SGC, 2025). Además, se hizo uso de las planchas 136 y 152 de INGEOMINAS (SGC, 2025) y la Guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017).

Figura 9*Flujo de trabajo propuesto para el trabajo de investigación.*

Con la información anterior recopilada y a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), se extrajeron algunos productos derivados como el mapa de pendientes y de sombras, que, al combinarse con el mapa geológico base a escala 1:100.000, permitieron elaborar un mapa preliminar de Unidades Geológicas Superficiales mediante la correlación espacial de las formaciones geológicas y las características topográficas.

Se obtuvo el mapa preliminar de Subunidades Geomorfológicas a través de la fotointerpretación de imágenes satelitales y el análisis morfométrico del MDE, fundamentado en criterios geomorfológicos que incluyen la forma del relieve, los procesos dominantes y los patrones de drenaje. Estos mapas preliminares fueron utilizados como base para la planificación del trabajo de campo, donde se verifica y corrige la información interpretada mediante observaciones directas y caracterización in situ.

Fase 2: Trabajo de campo

Para esta fase, al ir al municipio de San Joaquín se hizo uso de los mapas preliminares que se desarrollaron en la fase de pre-campo y con ayuda de la aplicación de Avenza Maps se georreferenciaron las rutas, en las que se marcaron algunas estaciones para verificar o corregir las Unidades Geológicas Superficiales y Subunidades Geomorfológicas. En cada estación se diligenciaron los formatos para registrar las características de las UGS y SGMF.

Para describir las UGS se siguió la clasificación de índice de resistencia geológica (GSI) de Hoek y Brown (1980), se realizaron estaciones donde los afloramientos fueron mayor a 25 metros y se usaron los formatos de Caracterización de unidades de roca y Caracterización de unidades de suelo (SGC, 2017) según correspondía a la litología. Si la estación correspondía a una unidad de roca, en el formato se detallaron características como son la litología, textura, color,

grado de humedad y meteorización, permeabilidad, la dureza del macizo rocos y las propiedades de las discontinuidades que estuvieran presente. Por otro lado, si la estación correspondía a una unidad de suelo se debía detallar las características de los clastos y de la matriz.

Las estaciones de SGMF se realizaron mediante visuales y con ayuda de los drones en donde no se logra acceder u observar claramente, allí se emplearon los formatos de Caracterización de Subunidades Geomorfológicas que permitieron registrar la información de las geoformas observadas teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Inclinación: La inclinación o pendiente es el ángulo que existe entre la superficie del terreno en la horizontal y que puede ser expresada de 0-90°. Son un factor relacionado a los movimientos en masa ya que, a mayor pendiente, la susceptibilidad a que ocurra un evento aumenta (SGC, 2017), los rangos de pendiente usados se encuentran en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 (SGC, 2017).

Curvatura: La curvatura hace referencia a la forma de las laderas y el grado de concavidad/convexidad de la superficie del terreno, que se determina mediante el radio de una celda según el plano vertical (SGC, 2017). La clasificación de las formas de ladera usadas para la descripción geomorfológica fue tomada de Hernández (2014).

Longitud de la ladera: Es un parámetro que refleja uniformidad del material que compone geoformas. Esto puede establecer una mayor área para el avance de los procesos morfodinámicos, Hernández (2014). muestra la descripción de las laderas que tiene en cuenta el parámetro de longitud.

Patrón de drenaje: Hace referencia a la red de cursos de agua, la cual juega un papel importante en la mejora de la configuración y el diseño de los contornos de las geoformas, para precisar en la descripción de los drenajes del área de estudio se tiene en cuenta la clasificación de los patrones de drenaje propuesta por Howard (1967).

Fase 3: Procesamiento de la información

Una vez concluida la fase de trabajo de campo, se dio inicio a la etapa de integración y análisis de la información recopilada. En primer lugar, se registraron las estaciones capturadas en Avenza Maps en los mapas preliminares, con el objetivo de reinterpretar de manera detallada las UGS y las SGMF. Paralelamente, se incorporaron las fallas y lineamientos estructurales identificados en la fase de campo. Posteriormente, se ejecutó un análisis estructural, procesando los datos de diaclasas, fallas, lineamientos y foliaciones obtenidos.

Se evaluaron las zonas críticas del área de estudio; asimismo, se reconstruyó la evolución geomorfológica de la zona considerando la secuencia de eventos y procesos geológicos que configuraron el paisaje actual, y se estableció la correlación geoambiental que permitió evaluar la influencia de las UGS y las SGMF en la ocurrencia de movimientos en masa. Como productos cartográficos, se elaboraron dos cortes geológicos, junto con un bloque diagrama que permiten representar el relieve estructural y las relaciones espaciales entre las diferentes unidades geológicas.

Fase 4: Elaboración y entrega del documento final

En esta última fase se describieron las características finales de cada una de las UGS y SGMF y se recopilaron en un informe en el que se detallan los productos entregados, se anexaron

los mapas y los formatos usados y finalmente se dan las últimas conclusiones para la zona del municipio de San Joaquín.

9. Resultados

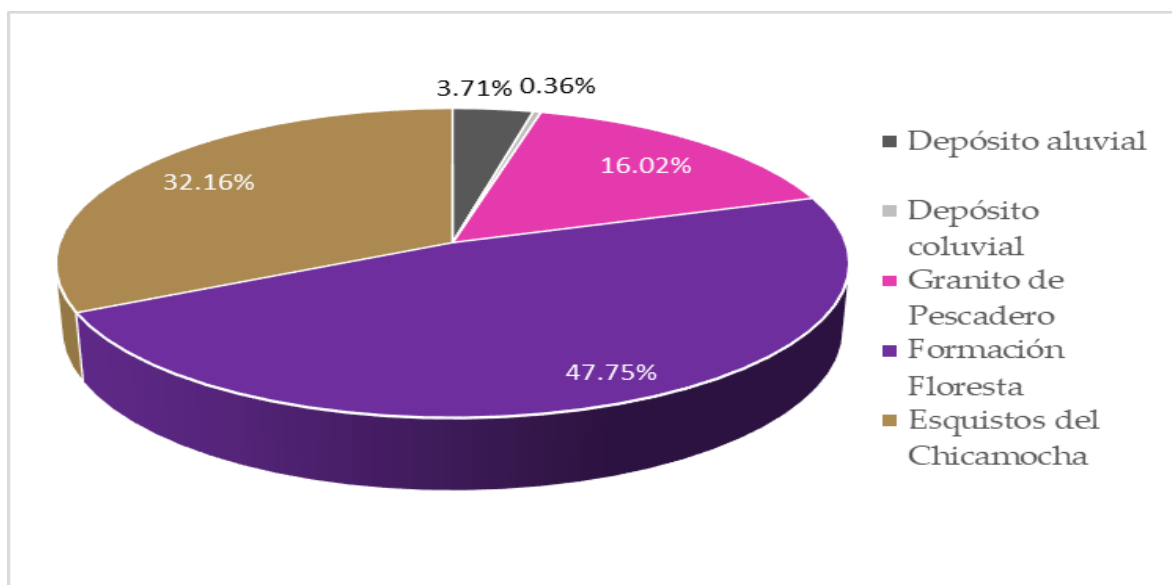
La identificación y delimitación de las UGS y SGMF constituyen la base para el análisis de la interacción entre la litología, la geomorfología y los procesos de modelado del relieve, permitiendo reconocer patrones espaciales asociados a distintos grados de estabilidad del terreno. Esta caracterización aporta información importante para evaluaciones posteriores de susceptibilidad por movimientos en masa y avenidas torrenciales esenciales para el ordenamiento territorial.

9.1. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Durante el proceso de elaboración de la cartografía geológica a escala 1:25.000 se clasificaron teniendo en cuenta la meteorización, en estas se corroboró la presencia de las unidades previamente identificadas en la zona de estudio, entre las cuales se encuentran Granito de Pescadero, que ocupa aproximadamente 16.02% del área, la Formación Floresta con una cobertura del 47.75% y los Esquistos del Chicamocha que representan cerca del 32.36% del territorio. No obstante, el mayor nivel de detalle alcanzado en esta escala permitió cartografiar cuerpos de depósitos coluviales que constituyen aproximadamente el 0.36% del área de estudio (Figura 10). Adicionalmente, se realizaron ajustes a los límites entre varias unidades geológicas, evidenciando variaciones significativas con respecto a la cartografía geológica previamente elaborada a una escala de 1:100.000 (Figura 3), lo que resalta la importancia del análisis a escala local para una mejor representación de las condiciones geológicas del terreno.

Figura 10

Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a cada una de las Unidades Geológicas en la zona de estudio.



9.1.1. Cuenca Panamá

La Cuenca Panamá ubicada en las veredas Panamá, Santa Barbara y San Ignacio, se identificaron un total de 19 Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la que 3 corresponden a roca de calidad intermedia (24.10%), 4 unidades de roca de calidad mala (32.11%), 5 de roca de calidad muy mala (30.07%), 5 pertenecen a suelos residuales (10.14%), 1 a suelo transportado (2.92%) y 1 a suelo antrópico (0.65%) ([Tabla 1](#)). En la Figura 11 se observa el mapa con la distribución en la zona de estudio, mientras que, en la Figura 12; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el diagrama ilustrativo con los porcentajes correspondientes. Las descripciones detalladas de cada UGS se encuentran en el [Apéndice C](#).

Figura 11

Mapa de la Cuenca Panamá de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000.

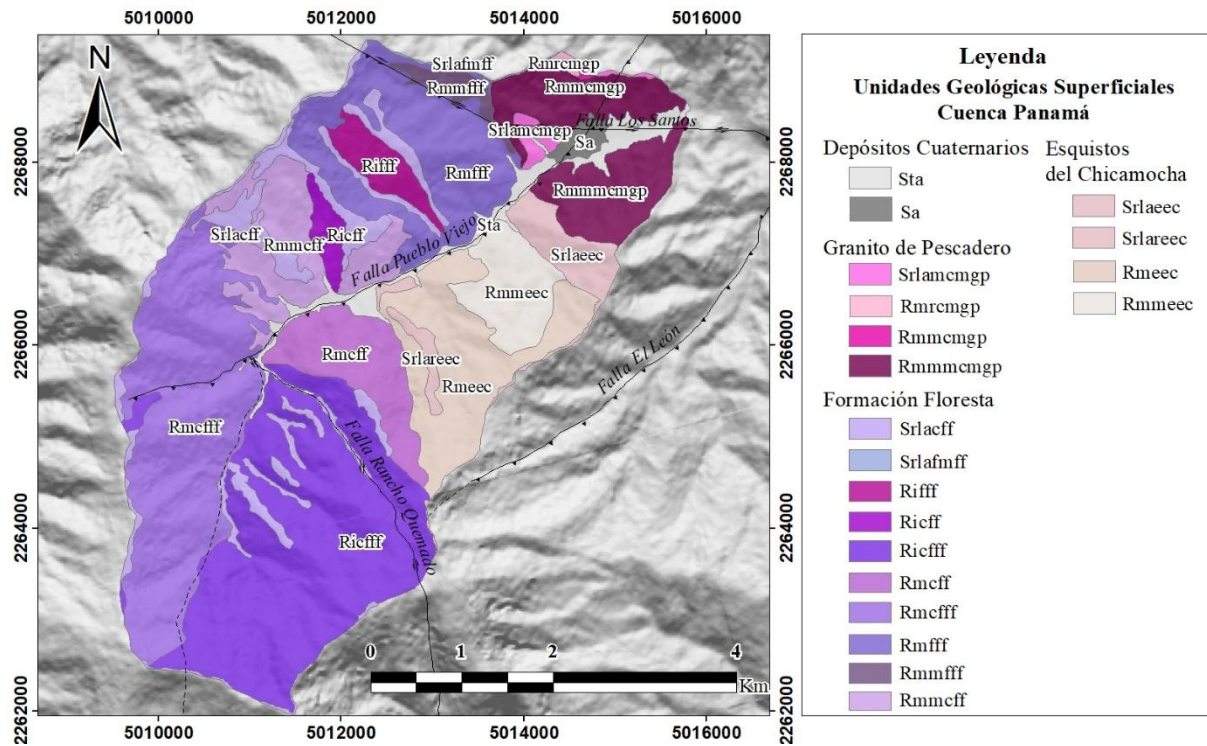
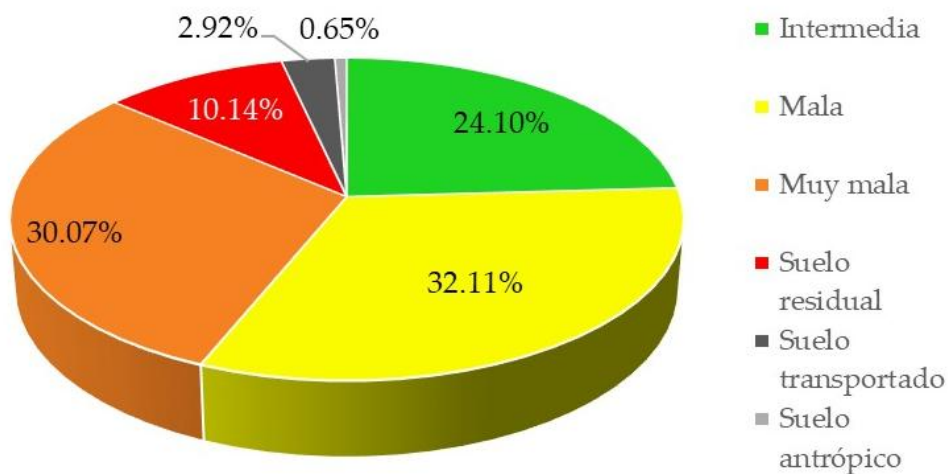


Figura 12

Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a la calidad de cada una de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la cuenca Panamá.

**Tabla 1**

Listado de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la Cuenca Panamá.

Código	UGS	Area (Km ²)	Porcentaje (%)
Ricfff	Roca calidad intermedia de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta	5.96	21.24%
Ricff	Roca calidad intermedia de cuarcitas de la Formación Floresta	0.29	1.02%
Rifff	Roca calidad intermedia de filitas de la Formación Floresta	0.52	1.85%
Rmcff	Roca calidad mala de cuarcitas de la Formación Floresta	1.33	4.73%
Rmcfff	Roca calidad mala de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta	4.72	16.80%

Rmeec	Roca calidad mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha	1.27	4.52%
Rmfff	Roca calidad mala de filitas de la Formación Floresta	1.70	6.06%
Rmmcff	Roca calidad muy mala de cuarcitas de la Formación Floresta	1.53	5.46%
Rmmfff	Roca calidad muy mala de filitas de la Formación Floresta	0.28	1.00%
Rmmcmgp	Roca calidad mala de monzogranito del Granito de Pescadero	1.55	5.51%
Rmmeec	Roca calidad muy mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha	2.82	10.03%
Rmmcmgp	Roca calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero	2.27	8.07%
Srlacff	Suelo residual limo-arenoso de cuarcitas de la Formación Floresta	1.78	6.32%
Srlafmff	Suelo residual limo-arenoso de filitas y metareniscas de la Formación Floresta	0.03	0.10%
Srlamcmgp	Suelo residual limo-arenoso de monzogranito del Granito de Pescadero	0.19	0.68%
Srlaec	Suelo residual limo-arenoso de esquistos de Esquistos del Chicamocha	0.60	2.14%
Srlareec	Suelo residual limo-arcilloso de esquistos de esquistos del Chicamocha	0.26	0.91%
Sta	Suelo transportado aluvial	0.82	2.92%
Sa	Suelo antrópico	0.18	0.65%
Total		28.09	100.00%

9.1.2. Cuenca El León

La Cuenca El León ubicada en la vereda Santa Clara, se identificaron un total de 12 Unidades Geológicas Superficiales (UGS) (Figura 14) en la que 3 corresponden a roca de calidad intermedia (12.57%), 2 unidades de roca de calidad mala (41.15%), 2 de roca de calidad muy mala (29.99), 3 pertenecen a suelos residuales (11.11%) y 2 a suelos transportados (5.18%) (Tabla 2). En la Figura 13 se observa el mapa con la distribución en la zona de estudio, mientras que, en la Figura 14, el diagrama ilustrativo con los porcentajes correspondientes. Las descripciones detalladas de cada UGS se encuentran en el [Apéndice C](#).

Figura 13

Mapa de la Cuenca El León de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000.

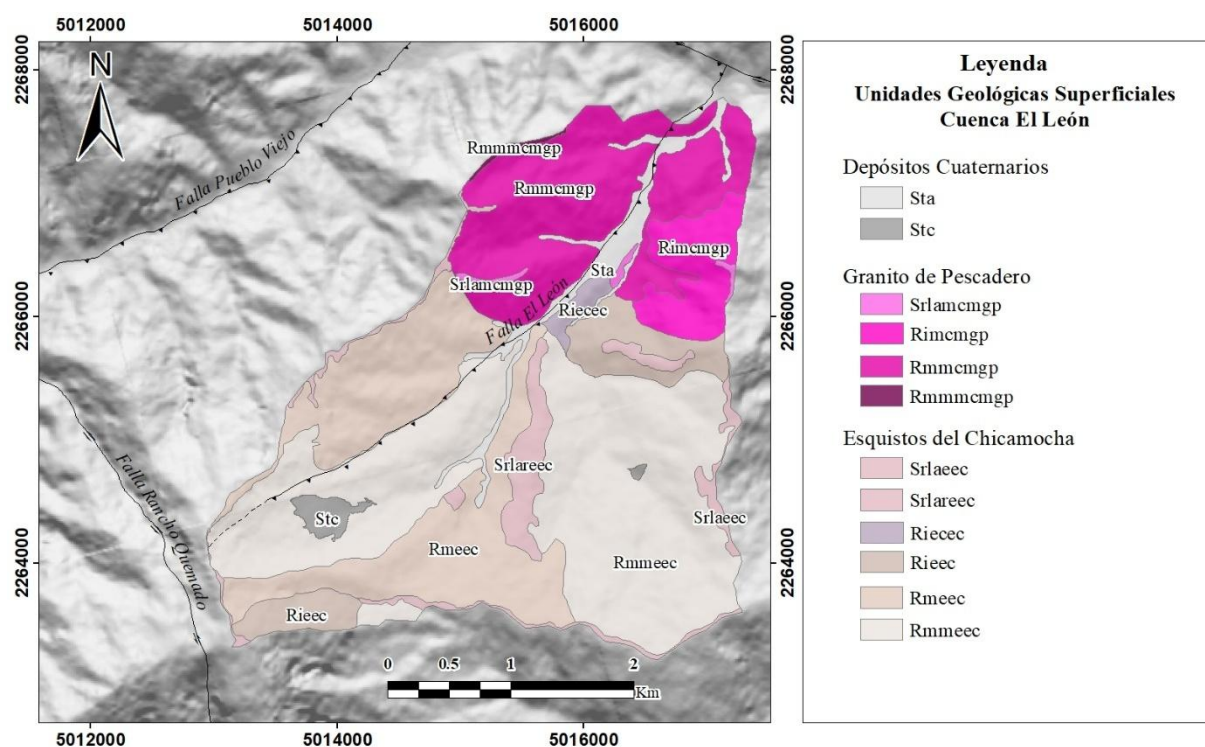
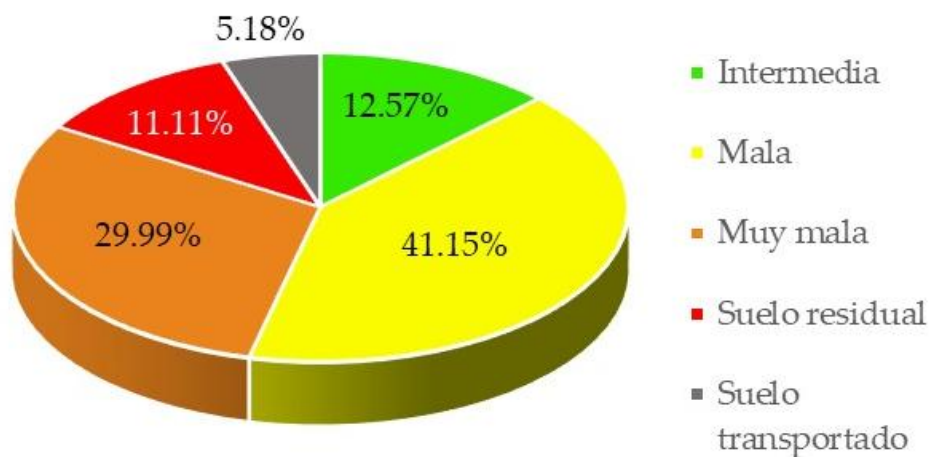


Figura 14

Diagrama ilustrativo del porcentaje correspondiente a la calidad de cada una de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) de la Cuenca El León.

**Tabla 2**

Listado de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la Cuenca El León.

Código	UGS	Area (Km ²)	Porcentaje (%)
Riecec	Roca intermedia de esquistos y cuarcitas de Esquistos de Chicamocha	0.11	0.95%
Rieec	Roca calidad intermedia de esquistos de Esquistos del Chicamocha	0.75	6.26%
Rimcmgp	Roca calidad intermedia de monzogranito del Granito de Pescadero	0.65	5.36%
Rmeec	Roca calidad mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha	2.85	23.65%
Rmmcmgp	Roca calidad mala de monzogranito del Granito de Pescadero	2.11	17.50%

Rmmeec	Roca calidad muy mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha	2.42	20.07%
Rmmmcmgp	Roca calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero	1.19	9.92%
Srlamcmgp	Suelo residual limo-arenoso de monzogranito del Granito de Pescadero	0.07	0.55%
Srlaeec	Suelo residual limo-arenoso de esquistos de Esquistos del Chicamocha	0.80	6.64%
Srlareec	Suelo residual limo-arcilloso de esquistos de esquistos del Chicamocha	0.47	3.91%
Sta	Suelo transportado aluvial	0.48	3.99%
Stc	Suelo transportado coluvial	0.14	1.19%
Total		12.04	100.00%

9.2.Subunidades Geomorfológicas (SGMF)

Las subunidades geomorfológicas (SGMF) constituyen subdivisiones específicas de las unidades geomorfológicas, se definen por contrastes morfológicos y morfométricos, considerando el material del terreno, su disposición estructural y los procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación (Carvajal, 2008). Estas subdivisiones permiten identificar sectores homogéneos del territorio con comportamientos geomorfológicos similares, facilitando análisis territoriales detallados mediante cartografía a escala 1:25.000 (Figura 15).

Mapa de subunidades geomorfológicas (SGMF).

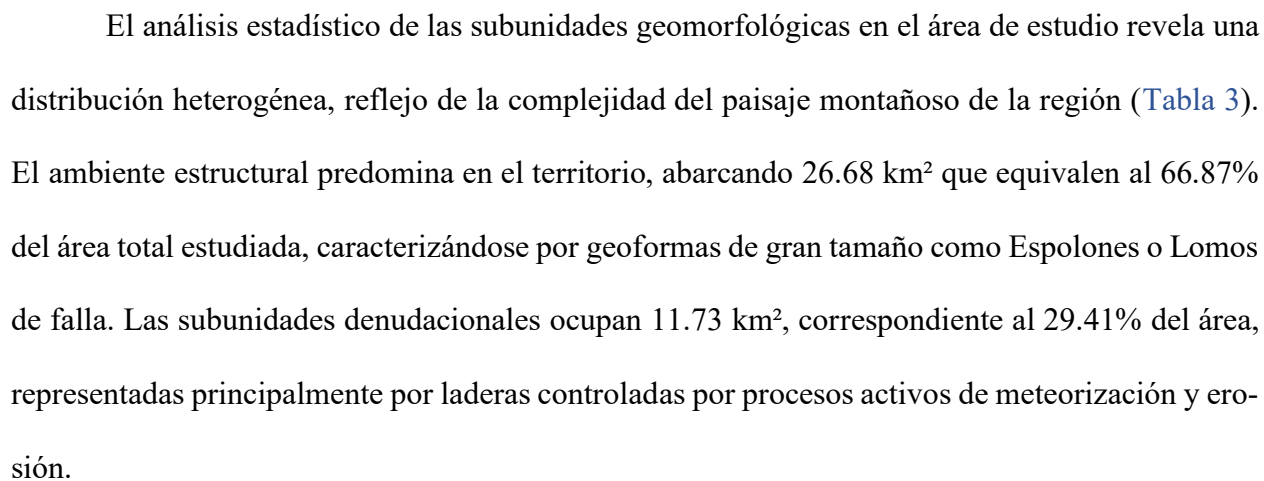


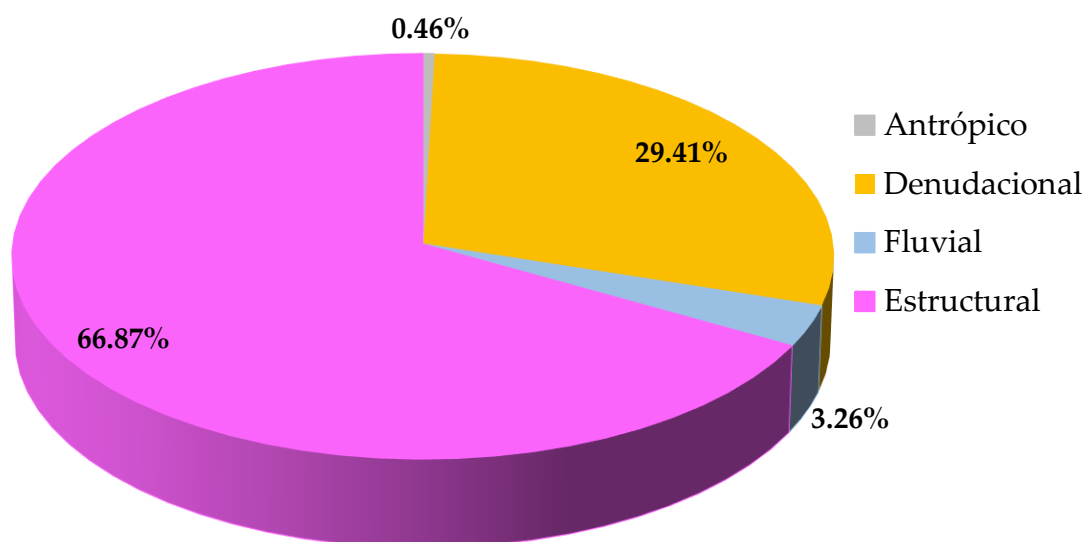
Tabla 3*Área ocupada por ambiente morfogenético.*

Ambiente	Área (Km²)	Porcentaje
Antrópico	0.183	0.46%
Denudacional	11.73	29.41%
Fluvial	1.30	3.26%
Estructural	26.68	66.87%
Total	39.90	100.00%

Las geoformas fluviales presentes comprenden 1.3 km² equivalente al 3.26% del área total, incluyendo abanicos aluviales y la llanura de inundación asociada a las quebradas Panamá y El León, se tiene en cuenta la influencia antrópica en el área de estudio, representando la menor extensión con 0.18 km² (0.46%), este corresponde a la superficie de explanación en el casco urbano del municipio de San Joaquín (Figura 16). Las descripciones detalladas de cada subunidad geomorfológica, incluyendo sus características morfométricas, morfogénesis y ubicación, se encuentran en el [Apéndice D](#), el cual complementa la información cartográfica y estadística presente documento.

Figura 16

Distribución porcentual del área según ambientes morfogenéticos.

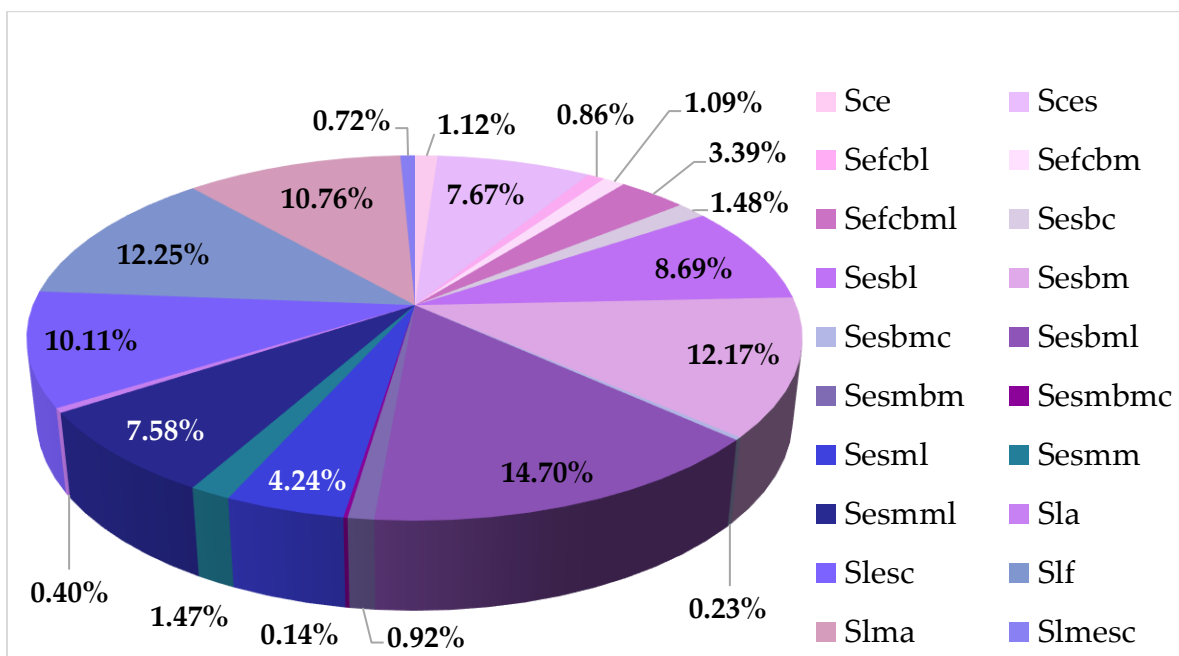


9.2.1. Ambiente estructural

Comprende aquellas formas del terreno resultado de la dinámica interna de la tierra, la cual provoca que las rocas se plieguen y fracturen. La manera en que estas estructuras se manifiestan en la superficie depende directamente de dos factores: la orientación estructural que presentan y la resistencia de las rocas que las componen (SGC, 2014). El área de estudio se encuentra influenciada por diversas fallas geológicas, responsables de la formación de espolones, lomos de falla, cerros y colinas.

Figura 17

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente estructural.



El ambiente estructural está conformado por un total de 57 polígonos que ocupan en total 23.36 km² (Tabla 4), en los cuales las geoformas más extensas son los espolones bajos de longitud muy larga (Sesbml), seguidos por los espolones moderados de longitud larga (Sesml) y las laderas muy abruptas (Slma). Estas tres subunidades concentran más de un tercio del área total, lo que indica un predominio de formas alargadas.

Tabla 4

Distribución del área total de las subunidades del ambiente estructural.

Código	Nombre	Área (Km ²)	Porcentaje
Sce	Cerro estructural	0.29	1.12%
Sces	Colina estructural	2.02	7.67%

Código	Nombre	Área (Km ²)	Porcentaje
Sefcbl	Espolón faceteado bajo de longitud larga	0.23	0.86%
Sefcbm	Espolón faceteado bajo de longitud media	0.29	1.09%
Sefcbml	Espolón faceteado bajo de longitud muy larga	0.89	3.39%
Sesbc	Espolón bajo de longitud corta	0.38	1.48%
Sesbl	Espolón bajo de longitud larga	2.29	8.69%
Sesbm	Espolón bajo de longitud media	3.21	12.17%
Sesbmc	Espolón bajo de longitud muy corta	0.06	0.23%
Sesbml	Espolón bajo de longitud muy larga	3.87	14.70%
Sesmbm	Espolón muy bajo de longitud media	0.24	0.92%
Sesmbmc	Espolón muy bajo de longitud muy corta	0.04	0.14%
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	1.12	4.24%
Sesmm	Espolón moderado de longitud media	0.39	1.47%
Sesmml	Espolón moderado de longitud muy larga	2.00	7.58%
Sla	Ladera abrupta	0.11	0.40%
Slesc	Ladera escarpada	2.67	10.11%
Slf	Lomo de falla	3.23	12.25%
Slma	Ladera muy abrupta	2.84	10.76%
Slmesc	Ladera muy escarpada	0.19	0.72%
Total		26.36	100.00%

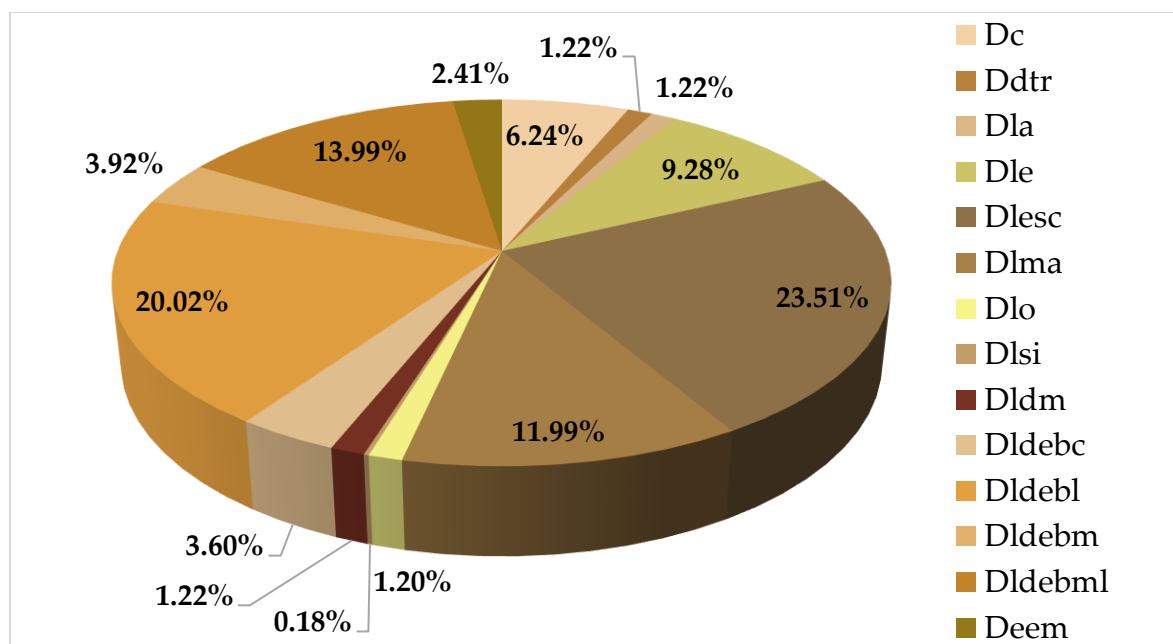
En contraste, unidades como el espolón muy bajo de longitud muy corta (Sesbmc) y el cerro estructural (Sce) se presentan en muy baja frecuencia, reflejando su escasa representación espacial. La cantidad de polígonos también varía: aunque algunas subunidades tienen gran extensión, están representadas por pocos polígonos, como es el caso del espolón bajo de longitud muy larga (Sesbml), con un polígono.

9.2.2. Ambiente Denudacional

En el ambiente denudacional se manifiesta una amplia variedad de morfologías originadas por procesos de degradación tanto mecánicos como químicos, los cuales están condicionados por las características litológicas, la configuración topográfica y las condiciones climáticas regionales (SGC, 2014). La distribución espacial y la representatividad porcentual de las diferentes morfologías denudacionales identificadas en la zona se presenta en la Figura 18 donde se evidencia la proporción relativa de cada geoforma según su extensión areal dentro del ambiente morfogenético.

Figura 18

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional.



Las geoformas pertenecientes a este ambiente abarcan un total de 11.74 km², como se muestra en la [Tabla 5](#), distribuidos en 53 polígonos de los cuales las subunidades geomorfológicas predominantes son las laderas muy abruptas (Dlma), seguidas por los lomos denudados de longitud

media (Dldm) y las laderas escarpadas (Dlesc); estas tres geoformas concentran más de la mitad del área total analizada.

Tabla 5

Distribución del área de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional.

Código	Nombre	Área (Km ²)	Porcentaje
Dc	Cima	0.73	6.24%
Ddtr	Cono de deslizamiento traslacional	0.14	1.22%
Dla	Ladera abrupta	0.143	1.22%
Dle	Ladera Erosiva	1.09	9.28%
Dlesc	Ladera escarpada	2.76	23.51%
Dlma	Ladera muy abrupta	1.41	11.99%
Dlo	Ladera ondulada	0.14	1.20%
Dlsi	Ladera suavemente inclinada	0.02	0.18%
Dldm	Loma denudada de longitud media	0.14	1.22%
Dldebc	Lomo denudado bajo de longitud corta	0.42	3.60%
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	2.35	20.02%
Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	0.46	3.92%
Dldebml	Lomo denudado bajo de longitud muy larga	1.64	13.99%
Deem	Escarpe de erosión mayor	0.28	2.41%
Total		11.73	100.00%

Las cimas (Dc), destacan por su alta distribución, con 14 polígonos distribuidos uniformemente en la zona. En contraste, unidades como el escarpe de erosión mayor (Deem), el cono de

deslizamiento traslacional (Ddtr) y los lomos denudados bajos de longitud corta (Dldebc) presentan una baja frecuencia con 1, 2 y 3 polígonos respectivamente.

9.2.3. *Ambiente fluvial*

Este ambiente comprende un área de 1.30 km², dentro de la cual se distinguen dos subunidades geomorfológicas principales: la llanura de inundación y el abanico aluvial (Tabla 6), desarrolladas por la acción erosiva de los flujos hídricos, tanto en condiciones de dinámica normal de las corrientes como durante eventos de avenidas e inundaciones. Su formación es producto de los procesos de transporte y acumulación de sedimentos, impulsados por la energía del flujo y su deposición en las zonas laterales del cauce (Carvajal, 2008).

Tabla 6

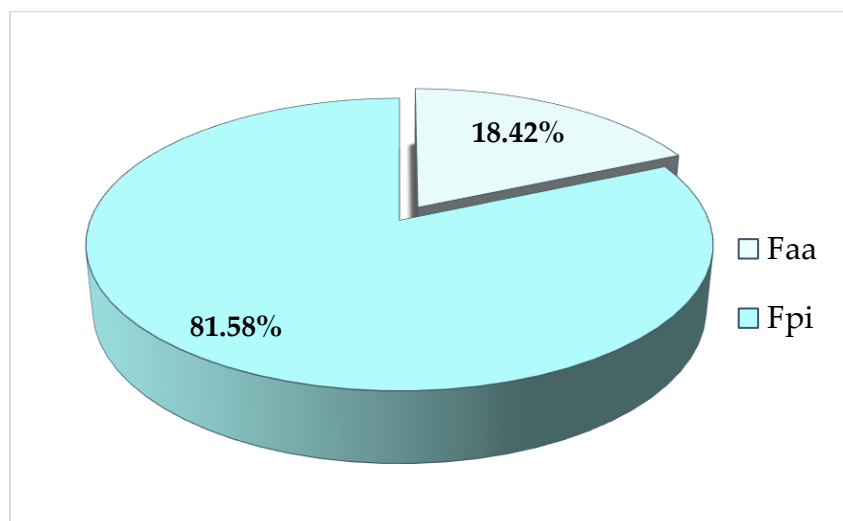
Área de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial.

Código	Nombre	Área (Km ²)	Porcentaje
Faa	Abanico aluvial	0.24	18.42%
Fpi	Llanura de inundación	1.06	81.58%
Total		1.30	100.00%

Se reconocen principalmente las morfologías asociadas a ríos y quebradas, así como aquellas ubicadas en el fondo de los canales. En la zona de estudio se identificaron geoformas vinculadas a las quebradas Panamá y El León, conformadas principalmente por depósitos aluviales y aluviotorrenciales.

Figura 19

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial.



En la Figura 19 se evidencia la distribución de las dos geoformas fluviales: la llanura de inundación (Fpi) y los abanicos aluviales (Faa). La primera ocupa la mayor extensión lo que refleja el predominio de los procesos de erosión y sedimentación a causa de la dinámica activa de las quebradas Panamá y El León. En contraste, los abanicos aluviales (Faa), aunque presentan menor extensión, se caracterizan por una mayor frecuencia contando con 11 polígonos distribuidos en los márgenes de la quebrada Panamá.

9.2.4. Ambiente antrópico

El ambiente antrópico comprende aquellas formas del terreno generadas por la acción humana sobre el paisaje (Carvajal, 2008), estas intervenciones se realizan con la finalidad de construir edificaciones, el desarrollo de proyectos de infraestructura, depósitos de residuos o la habilitación de nuevos corredores viales, actividades que modifican la configuración original del relieve. Dentro de este ambiente solo se identificó una geoforma correspondiente al casco urbano del municipio de San Joaquín la cual ocupa un área de 0.1833 km², equivalente al 0.46% del total

analizado. Aunque su extensión es reducida en comparación con otros ambientes morfogenéticos, su presencia evidencia la transformación del paisaje natural por las actividades humanas concentradas en el centro urbano del municipio.

9.3. Análisis estructural

9.3.1. Fallas

La tendencia de las estructuras presentes en la zona de estudio sigue la dirección NW y SE, siendo representada por siete fallas principales que se denominan Falla Los Santos, Falla Pueblo Viejo, Falla El León y Falla Rancho Quemado.

9.3.1.1. Falla Los Santos. Denominada en un inicio como Falla Lebrija por Velandía (2017), que define esta falla de cinemática sinistral y componente inverso que hace parte del complejo estructural del Macizo de Santander y del sistema dominó transpresivo de Girón. En la zona de estudio, presenta una dirección aproximada NW-SE que colinda con el municipio de Mogotes. Esta estructura genera zonas de fracturamiento entre las unidades de la Formación Floresta y el Granito de Pescadero, favoreciendo el desarrollo de planos de debilidad y procesos de meteorización. Mientras que a nivel geomorfológico genera espolones de los cuales algunos de ellos presentan facetas triangulares.

Figura 20

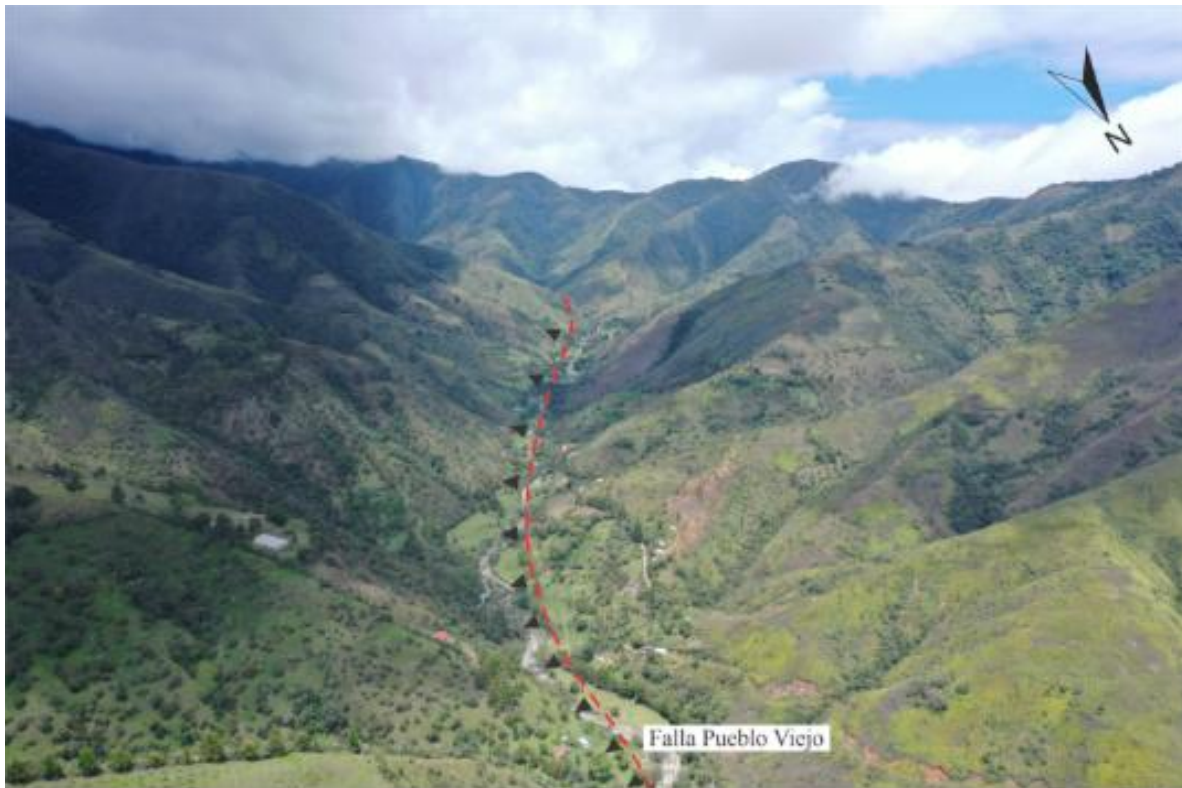
Vista panorámica de la Falla Los Santos.



9.3.1.2. Falla Pueblo Viejo. Velandia (2017) describe esta falla de cinemática sinistral con componente que constituye un retrocabalgamiento asociada a la Falla de Boyacá. En la zona de estudio se presenta dirección de NE-SW y se localizan en las veredas de Panamá y San Ignacio. Su traza genera contactos fallados entre las litologías Esquistos del Chicamocha y la Formación Floresta, desarrollando zonas intensamente fracturadas y planos de debilidad que condicionan la meteorización y la susceptibilidad de movimientos en masa. Por otro lado, la geomorfología observada es cerro estructural, espolones faceteados y lomos de falla.

Figura 21

Vista panorámica de la Falla Pueblo Viejo.



9.3.1.3. Falla El León. Esta falla inversa presenta una dirección NE-SW, que se plantea como una falla de retrocabalgamiento de la Falla Boyacá, similar a la Falla Pueblo Viejo. En el área de estudio afecta las unidades que corresponden a los Esquistos del Chicamocha y Granito de Pescadero, generando la presencia de planos de debilidad y procesos de meteorización diferencial. Su expresión de subunidades geomorfológicas se evidencia mediante lomos de falla, espolones y colina estructural, reflejando un importante control estructural en la configuración del relieve y la estabilidad de laderas.

Figura 22

Vista panorámica de la Falla El León tomada en la cuenca El León.



9.3.1.4. Falla Rancho Quemado. La interpretación estructural de esta fallase realizó mediante fotointerpretación, debido a las limitaciones de acceso del área para verificación de campo, a partir de esto, presenta una dirección SE-NW de cinemática rumbo, sinistral y se encuentra al sur de la vereda Panamá afectando la Formación Floresta. Geomorfológicamente se relacionan lomos de falla y espolones.

Figura 23

Falla Rancho Quemado vista desde Google Earth.

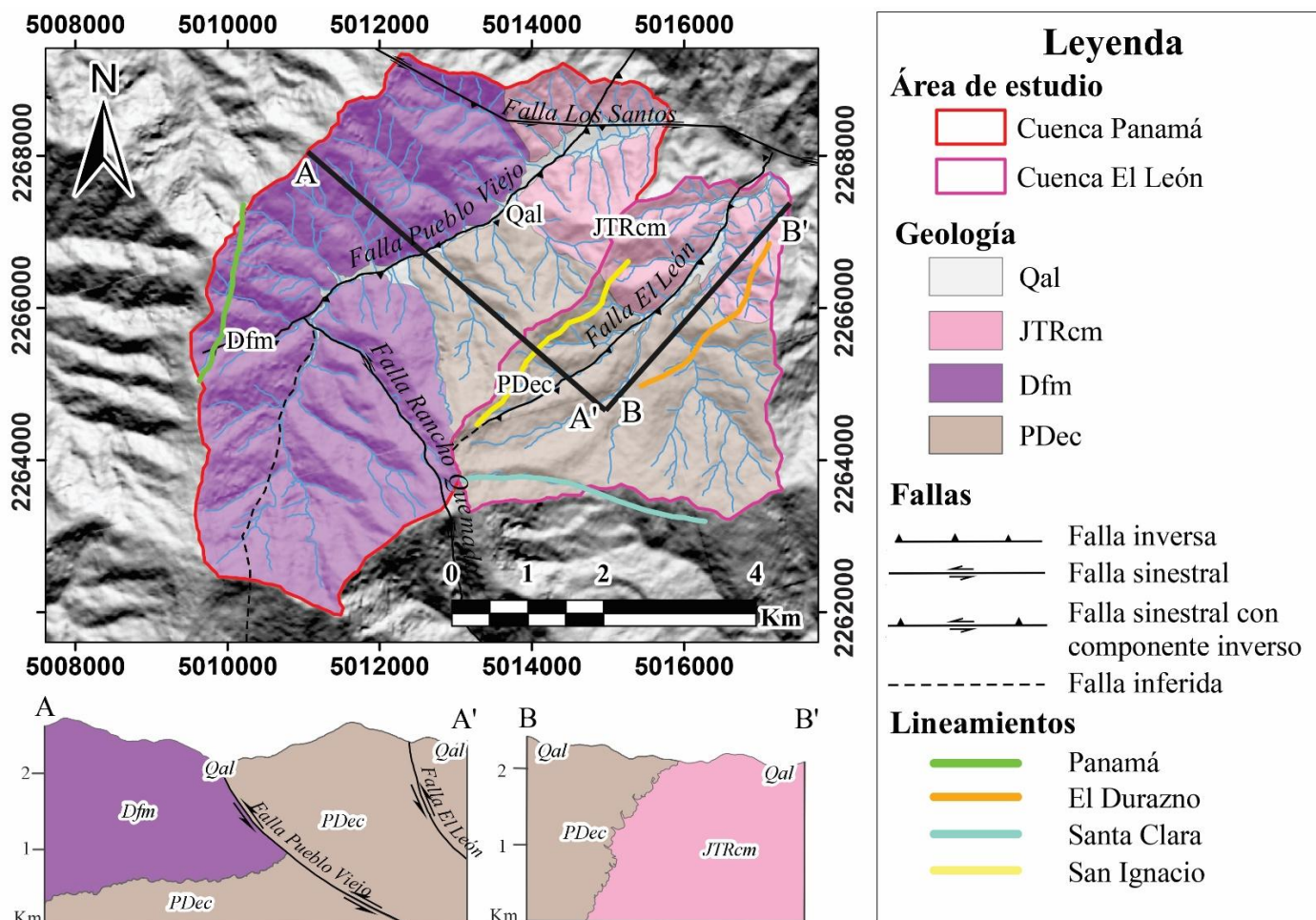


La Figura 24 muestra los perfiles geológicos estructurales A-A' y B-B', elaborados a partir de la integración de la cartografía de la geología regional, el modelo topográfico, la interpretación

estructural y la verificación en campo, con el fin de representar la geometría de las unidades geológicas y su relación con las principales estructuras tectónicas del área de estudio.

En el perfil A-A' se observa el contacto discordante entre la Formación Floresta y los Esquistos del Chicamocha, controlado por la Falla Pueblo Viejo, la cual genera el desplazamiento de las unidades y evidencia un marcado control estructural sobre la disposición del relieve. Hacia el sector oriental del perfil se identifica la Falla El León, que afecta los esquistos del Chicamocha y condiciona la presencia de depósitos aluviales asociados a los drenajes actuales. Estas estructuras generan zonas de fracturamiento y debilidad en el macizo rocoso, favoreciendo la infiltración de agua y el desarrollo de procesos de meteorización, lo que puede contribuir a la generación de movimientos en masa en sectores donde coinciden pendientes pronunciadas y materiales de baja competencia.

Por otro lado, el perfil B-B' muestra el contacto intrusivo entre los Esquistos del Chicamocha y el Granito de Pescadero, definiendo un contraste en las propiedades geomecánicas de los materiales, asociado a diferencias en resistencia a la deformación, densidad de discontinuidades y grado de meteorización, lo cual influye en la configuración del relieve y en la evolución geomorfológica del sector. En los sectores topográficamente más bajos se identifican depósitos aluviales asociados a drenajes actuales, los cuales reflejan la acción de procesos erosivos en el área.

Figura 24*Mapa estructural del área de estudio a escala 1:25.000*

Nota: En la figura se representan las fallas definidas e inferidas, lineamientos identificados y los cortes realizados.

9.3.2. Lineamientos

En la zona de estudio se identifican varios lineamientos visibles tanto en campo como mediante técnicas de fotointerpretación (Figura 24). El lineamiento El Durazno se asocia a laderas estructurales muy abruptas desarrolladas sobre suelo residual limo-arcilloso y rocas de calidad

muy mala a intermedia de los Esquistos del Chicamocha, así como sobre roca de calidad intermedia del Granito de Pescadero; fue identificado a partir de la alineación de algunos drenajes y la presencia de rasgos geomorfológicos como sillas de montar y hombreras, observadas en campo, presentando escasos movimientos en masa. El lineamiento Panamá se desarrolla sobre espolones y lomos denudados bajos que se encuentran sobre rocas de calidad mala a intermedia de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta; se determinó por medio de fotointerpretación teniendo en cuenta la alineación de drenajes, sin evidencia de movimientos en masa asociados. El lineamiento San Ignacio se vincula con espolones moderados y un lomo de falla sobre roca de calidad mala de esquistos y monzogranito, así como suelo residual limo-arenoso del Granito de Pescadero, siendo identificado por cambios bruscos en la dirección de los drenajes menores del área.

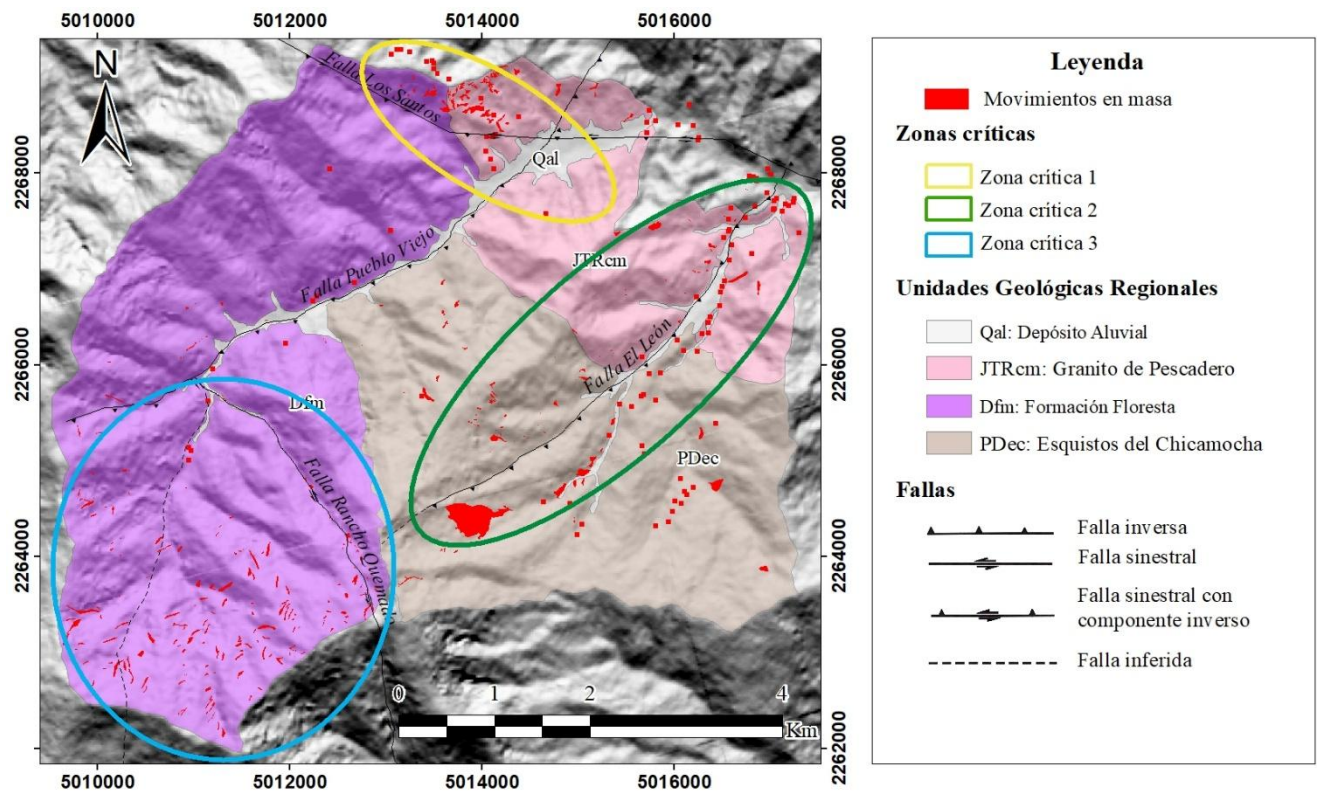
Estos tres lineamientos (El Durazno, Panamá y San Ignacio) se asocian directamente con las fallas menores Pueblo Viejo y El León, así como con el trazo de la Falla de Bucaramanga en este sector, con dirección NE-SW, reflejando el control tectónico regional impuesto por el sistema de deformación transpresivo característico del área ([Velandia Patiño & Bermúdez, 2018](#)).

El lineamiento Santa Clara, con orientación NW-SE, se relaciona con la Falla Rancho Quemado y representa el patrón de estructuras transversales en la zona. Este lineamiento, determinado por la alineación de drenajes menores, se asocia a laderas estructurales muy abruptas desarrolladas sobre roca de calidad mala de los Esquistos del Chicamocha y se encuentra relacionado con la parte superior del gran deslizamiento traslacional de la cuenca El León.

9.3.3. Zonas críticas

Con el fin de identificar áreas con mayor concentración de procesos de inestabilidad, se realizó un análisis espacial de la distribución de los movimientos en masa registrados en la zona de estudio, considerando las UGS, SGMF y la geología estructural descritas en los capítulos anteriores. A partir de este análisis, se definieron zonas críticas como aquellos sectores donde se presenta una alta densidad de movimientos en masa, lo cual sumado a los factores mencionados anteriormente, permite identificar las áreas con condiciones particularmente susceptibles.

Como resultado, se identificaron tres zonas críticas con una notable concentración de movimientos en masa, tal como se observa en la Figura 25. Estas zonas constituyen la base para analizar la relación entre los movimientos en masa, UGS, SGMF y la presencia de las fallas que condicionan la dinámica del área de estudio.

Figura 25*Mapa de las zonas críticas en el área de estudio.*

Nota: En la figura se representa la distribución espacial de los movimientos en masa inventariados y su concentración en tres sectores delimitados.

9.3.3.1. Zona 1. Esta zona se encuentra ubicada en la vereda Santa Barbara, corresponde a uno de los sectores con mayor concentración de movimientos en masa, registrando un total de 57 eventos en esta área, en los que se incluyen flujos de tierra y deslizamientos rotacionales y traslacionales. Esta condición se encuentra estrechamente relacionada con a la influencia de la Falla Los Santos, cuya presencia ha favorecido la generación de zonas de inestabilidad y un alto grado de fracturamiento en los materiales superficiales.

Desde el punto de vista geomorfológico, los movimientos en masa se desarrollan sobre espolones, abanicos aluviales, llanura de inundación y superficie de explanación, esta última

correspondiente al casco urbano del municipio. Litológicamente, la zona está dominada por rocas de calidad muy mala de monzogranito y de filitas de la Formación Floresta, los cuales, en algunas zonas, se encuentran ampliamente alterados, dando origen a suelos residuales limo-arenosos del monzogranito del Granito de Pescadero con baja cohesión y alta susceptibilidad a la saturación.

Adicionalmente, el uso del suelo y la cobertura vegetal contribuyen a la inestabilidad del sector, ya que predominan los pastos arbolados, enmalezados, algunos cultivos herbáceos y arbustivos (plátano y café), así como tierras desnudas y/o degradadas que presentan poca o nula vegetación, reduciendo así la protección del suelo frente a la erosión y favoreciendo la infiltración de agua.

Como consecuencia, los movimientos en masa registrados en la zona han generado afectaciones recurrentes en la vía que comunica a San Joaquín con Mogotes, representando un riesgo tanto para la infraestructura vial como para la movilidad y seguridad de la población.

9.3.3.2. Zona 2. La zona se encuentra localizada en la vereda Santa Clara corresponde a uno de los sectores con mayor concentración de movimientos en masa del municipio de San Joaquín, registrándose un total de 112 eventos en los que se incluyen deslizamientos traslacionales, en cuña y en bloques, además de reptación y flujo de detritos en la zona alta de la montaña, lo que evidencia un alto grado de inestabilidad superficial. Estas condiciones se encuentran estrechamente relacionada con la influencia estructural de la Falla El León.

Geomorfológicamente, los movimientos se desarrollan sobre una variedad de geoformas, entre las que se incluyen Lomos de falla, espolones, colina estructural, llanura de inundación asociada a la Quebrada El León, laderas asociadas al ambiente denudacional y escarpe de erosión

mayor. Esta diversidad geomorfológica, sumada a pendientes moderadas a fuertes, favorecen la acumulación de esfuerzos gravitacionales y la inestabilidad del terreno.

Desde el punto de vista litológico y geomecánico están conformados con rocas de calidad mala de monzogranito del Granito de Pescadero, así como por rocas de calidad muy mala y mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha, los cuales dan origen a suelos residuales limo-arcillosos de esquistos de Esquistos del Chicamocha con baja resistencia al corte y alta susceptibilidad a la saturación. Estas características, en conjunto con la alta fracturación asociada a la falla, incrementan la probabilidad de activación de movimientos en masa, especialmente durante épocas de lluvias, cuando incrementa la infiltración y la presión de poros.

Adicional a esto, la cobertura vegetal y el uso de del suelo también desempeñan un papel determinante en la inestabilidad de la zona, ya que en la zona se encuentra compuesta por pastos arbolados, enmalezados limpios y tierras desnudas y/o degradadas que presentan poca o nula vegetación, en los laterales de la Quebrada El León se observa bosques de galería y hacia la parte alta de la montaña bosque denso. Algunas de las actividades antrópicas incluyen cultivos son de tipo herbáceos y arbustivos como son el plátano, cítricos y café, así como la presencia de criaderos de peces, caballos, gallinas, vacas y cabras. Como consecuencia, los movimientos en masa han generado afectaciones recurrentes en la vía de comunicación, cultivos e infraestructura de la vereda Santa Clara, consolidando este sector como una zona crítica con alta probabilidad de reactivación futura.

9.3.3.3. Zona 3. La zona crítica 3 se localiza en la vereda Panamá y se encuentra estructuralmente asociada a las Fallas Pueblo viejo y Rancho Quemado, las cuales ejercen un control significativo sobre la disposición del relieve y la generación de zonas de debilidad. En este sector se identificaron 184 movimientos en masa, constituyéndose como la zona con mayor número de eventos registrados dentro del área de estudio, lo que refleja una elevada susceptibilidad a procesos de inestabilidad superficial.

Los movimientos en masa se desarrollan principalmente sobre espolones de tamaños variados, lomos denudados, lomos de falla y cerros estructurales, geoformas que evidencian un fuerte control estructural y un relieve abrupto, caracterizado por pendientes fuertes y una disección del terreno. Los procesos identificados corresponden principalmente a deslizamientos traslacionales y flujos, los cuales se ven favorecidos por la geometría de las laderas y por la concentración del escurrimiento superficial.

Litológicamente, la zona está dominada por rocas de la Formación Floresta de calidad intermedia y mala de cuarcitas y filita, las cuales, al encontrarse fracturadas y meteorizadas, generan materiales superficiales susceptibles a la pérdida de resistencia, especialmente bajo condiciones de saturación. Estas características, sumadas a la influencia de las fallas mencionadas, favorecen la ocurrencia de movimientos en masa durante eventos de precipitación intensa o prolongada.

En cuanto a la cobertura vegetal, predominan pastos arbolados, enmalezados limpios y tierras desnudas y/o degradadas que presentan poca o nula vegetación, particularmente en las cercanías a la Quebrada Panamá, mientras que hacia las partes altas de la montaña se desarrolla bosque denso. Dado que esta zona se encuentra deshabitada, no se registran cultivos ni infraestructura expuesta; sin embargo, los movimientos en masa han ocasionado obstrucciones en la Quebrada Panamá, lo que podría generar represamientos temporales y aumentar el riesgo de procesos

torrenciales aguas abajo. Estas condiciones justifican la clasificación de este sector como una zona crítica, con potencial impacto indirecto sobre áreas localizadas en cotas inferiores, como es el municipio de San Joaquín.

9.4. Evolución geomorfológica

La evolución geomorfológica del área de estudio está marcada por la interacción de procesos endógenos y exógenos que han modelado el relieve con el paso del tiempo. La zona se encuentra al sur del Macizo de Santander, en el sector este de la cordillera oriental. Según Cortés y otros (2006) el desarrollo tectónico de la Cordillera Oriental de Colombia desde el Mesozoico hasta la actualidad se dio en varias fases empezando por el basamento del Macizo de Santander que está conformado principalmente por la unidad Esquistos del Chicamocha (PDec) del Ediacarico, una unidad metamórfica de grado medio y la Formación Floresta (Dfm) de protolito sedimentario (Cortés y otros, 2006)

Durante el Mesozoico temprano, la corteza experimentó un régimen extensional a escala regional que en el Macizo de Santander generó cuencas sedimentarias bordeadas por las fallas de Boyacá y Soapaga, de comportamiento normal (Velandia Patiño, 2017). En este contexto, la subducción continua de la placa Farallón bajo el margen noroccidental de la placa Sudamericana estuvo acompañada de grandes intrusiones graníticas en la Cordillera Oriental, evento que en el área de estudio se expresa en el Granito de Pescadero (JTRcm), cuya distribución guarda mayor relación con la Formación Silgará como unidad encajante.

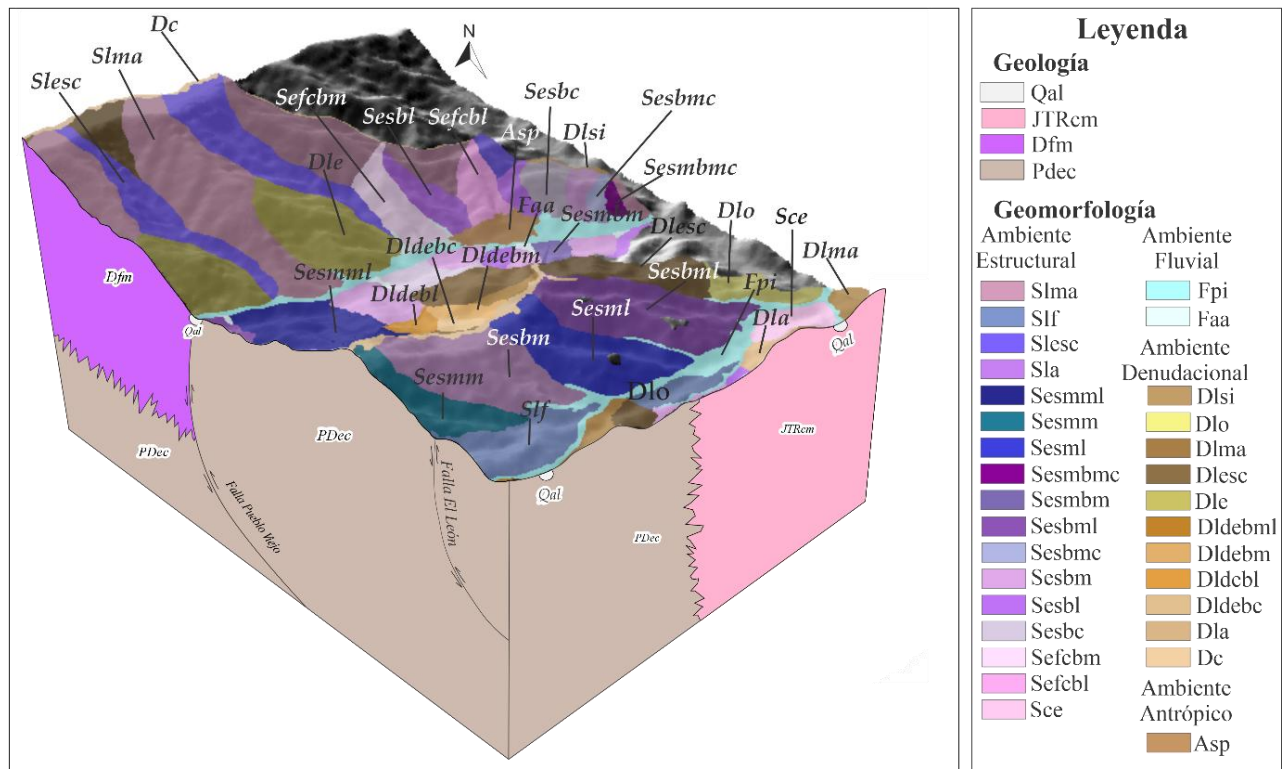
En el Cenozoico Temprano, el inicio de la orogenia andina indujo un régimen compresivo en la Cordillera Oriental que desencadenó la inversión de las antiguas fallas normales Boyacá y Soapaga. En el Macizo de Santander, este proceso exhumó progresivamente las unidades más

antiguas, como los Esquistos del Chicamocha, la Formación Floresta y el Granito de Pescadero, en extensas unidades geomorfológicas como lo son los espolones y sierras. La colisión del arco de Panamá con el occidente de Colombia durante el Mioceno Tardío intensificó esta deformación, consolidando la Falla de Bucaramanga como la gran estructura de rumbo sinistral que reorganizó y capturó las fallas previas dentro de un sistema transpresivo activo hasta la actualidad ([Velandia Patiño & Bermúdez, 2018](#)).

Como resultado, los procesos erosivos esculpen nuevas formas del terreno como sierras denudadas, lomos denudados y grandes escarpes de erosión, caracterizadas por pendientes inclinadas. Asociado a este ambiente son frecuentes los movimientos en masa, entre los que predominan los deslizamientos rotacionales, aunque también se presentan flujos, caídas y reptaciones, todos ellos vinculados a la dinámica erosiva y a la resistencia del material ([SGC, 2014](#)). La intervención humana ha generado una geoforma al remover la cobertura vegetal, intensificando la acción erosiva en el sector donde se realizaron edificaciones correspondientes al casco urbano del municipio de San Joaquín. La Figura 26 muestra el bloque diagrama del área de estudio, construido a partir de los cortes geológicos presentados previamente en la Figura 24. El modelo integra la distribución espacial de las unidades geológicas (Qal, Dfm y PDec) y las subunidades geomorfológicas de los diferentes ambientes. Se destacan las principales estructuras tectónicas que influyen en la zona, incluyendo las fallas El León y Pueblo Viejo, esta representación tiene fines ilustrativos y de interpretación espacial, pero, no representa proporciones exactas.

Figura 26

Bloque diagrama donde se evidencia la distribución de las UGS y SGMF con control estructural.



9.5. Correlación geo-ambiental

A partir de la información recolectada, se estableció una correlación geo-ambiental que permite comprender la ocurrencia de los movimientos en masa como el resultado de la interacción de factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y antrópicos presentes en el área de estudio.

La distribución de los movimientos en masa evidencia un fuerte control estructural, particularmente en sectores próximos a fallas geológicas, donde el fracturamiento intenso y la alteración asociada generan zonas de debilidad que disminuyen la resistencia del macizo rocoso y favorecen la infiltración de agua. Estas condiciones estructurales se superponen a litologías de calidad geomecánica mala a muy mala, como monzogranitos altamente meteorizados, filitas esquistos y

cuarcitas, así como a suelos residuales limo-arcillosos y limo-arenosos derivados de dichas rocas. La meteorización avanzada y la presencia de materiales finos incrementan la susceptibilidad a la saturación, reduciendo la cohesión y la resistencia al corte, especialmente durante periodos de altas precipitaciones.

Esta vulnerabilidad litológica se ve reforzada por la configuración geomorfológica del terreno, donde predominan espolones, lomos de falla, escarpes de erosión, laderas denudacionales y llanuras de inundación, asociados a pendientes moderadas a escarpadas. Estas geoformas no solo concentran esfuerzos gravitacionales, sino que también facilitan la acumulación y circulación del agua superficial y subterránea, promoviendo tanto movimientos superficiales como profundos, así como flujos de tierra y detritos vinculados a la dinámica fluvial.

La red hídrica desempeña un papel determinante en este sistema, ya que la cercanía a quebradas y zonas susceptibles a inundaciones favorece la erosión en la base de las laderas y la saturación progresiva de los materiales, actuando como un factor detonante en contextos previamente debilitados por la estructura y la litología. A ello se suma la influencia de la cobertura vegetal y el uso del suelo, caracterizados por áreas intervenidas, suelos con escasa profundidad efectiva y actividades como agricultura, ganadería y apertura de vías, que alteran el drenaje natural, generan sobrecargas y reducen la estabilidad de las laderas.

De esta manera, los movimientos en masa identificados no responden a un único factor condicionante, si no a la superposición y retroalimentación de condiciones estructurales, litológicas, geomorfológicas e hidrológicas, intensificadas en ciertos sectores por la intervención antrópica, lo que explica la frecuencia y diversidad de procesos registrados en el área de estudio.

10. Conclusiones

El análisis desarrollado en el municipio de San Joaquín permitió establecer que la inestabilidad superficial responde a la interacción directa entre condiciones litológicas de baja calidad geomecánica, un relieve estructuralmente controlado y procesos denudacionales activos, cuya superposición espacial incrementa significativamente la susceptibilidad a movimientos en masa.

La cartografía de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000, evidenció el predominio de macizos rocosos y suelos residuales, suelos transportados derivados de monzogranitos del Granito de Pescadero, esquistos de los Esquistos del Chicamocha y filitas y cuarcitas de la Formación Floresta, los cuales presentan calidades geomecánicas mala a muy mala según la clasificación de Hoek y Brown (1980). Estas unidades, cuando se encuentran altamente meteorizadas y fracturadas, generan materiales limo-arcillosos y limo-arenosos, las cuales, son muy susceptibles a la saturación y a la pérdida de resistencia al corte, constituyéndose en las litologías más problemáticas del área de estudio.

La caracterización detallada de la cartografía de las Subunidades Geomorfológicas (SGMF), permitió identificar un dominio de ambientes denudacionales y estructurales, caracterizado por laderas abruptas a escarpadas, lomos y espolones controlados estructuralmente, geoformas que favorecen la concentración de esfuerzos gravitacionales y el encauzamiento del escurrimiento superficial. Las características morfométricas, evidencian condiciones favorables para la concentración de esfuerzos gravitacionales y la activación de procesos erosivos y de movimientos en masa, especialmente en sectores donde estas geoformas coinciden con UGS de baja competencia de acuerdo con la cuenca en la que se encuentre, confirmando un fuerte control litológico-geomorfológico-estructural sobre la distribución espacial de los procesos de inestabilidad.

A escala de cuencas, la dinámica varía según la combinación de los factores, ya que en la cuenca de la Quebrada El León predominan esquistos y monzogranitos meteorizados asociados a laderas estructuralmente controladas por la Falla El León, lo que ha generado afectaciones recurrentes sobre infraestructura vial y áreas productivas. Por otro lado, la cuenca de la Quebrada Panamá, la presencia de rocas de la Formación Floresta y Granito de Pescadero en relieves abruptos ha favorecido una mayor concentración de movimientos en masa y obstrucciones en el cauce, evidenciando un impacto directo sobre la dinámica hídrica. Estas diferencias muestran que la susceptibilidad no es homogénea en el territorio, sino que depende de la interacción específica entre la litología, pendiente, estructura y drenaje en cada cuenca.

Finalmente, el análisis de la evolución geomorfológica del municipio refleja que su configuración actual responde a un relieve estructuralmente controlado por sistemas de fallas regionales y locales, sobre el cual actúan procesos denudacionales intensos de origen hídrico y gravitacional. La incisión fluvial, la erosión remontante y la recurrencia de movimientos en masa han condicionado un paisaje altamente disectado, con laderas inestables y valles estrechos, lo que explica la elevada susceptibilidad a procesos de inestabilidad superficial en el área de estudio.

En este contexto, la integración de la cartografía de UGS y SGMF a escala 1:25.000 constituyen un aporte fundamental, ya que permite identificar con mayor precisión las unidades más problemáticas y los sectores críticos, proporcionando una base técnica sólida para la evaluación de la amenaza y la gestión del riesgo en el municipio de San Joaquín.

11.Recomendaciones

Se recomienda desarrollar estudios geotécnicos detallados en las zonas clasificadas como críticas por movimientos en masa, especialmente en los sectores adyacentes a la vía principal,

áreas con infraestructura crítica y zonas habitadas o de tránsito frecuente. Estos estudios permitirían caracterizar con mayor precisión las propiedades geomecánicas de inestabilidad predominantes y evaluar las condiciones hidrogeológicas locales, constituyéndose en un insumo técnico fundamental para el diseño e implementación de medidas de estabilización, mitigación y control del riesgo.

Se recomienda priorizar la elaboración de la cartografía a escala 1:10.000 o en mayor detalle en las cuencas de las Quebradas donde se concentra la mayor recurrencia de movimientos en masa. En la cuenca El León, permitirá precisar la influencia de la Falla El León en los suelos residuales derivados del monzogranito y los esquistos y depósitos coluviales activos, especialmente en sectores que afectan la infraestructura vial y la vida cotidiana de sus habitantes. En la Quebrada Panamá se requiere evaluar sectores con potencial de obstrucción del cauce, además de evaluar mediante estudios geotécnicos la estabilidad de laderas en la vía de conecta al municipio de San Joaquín con Mogotes.

De manera complementaria, es indispensable realizar análisis de vulnerabilidad y exposición de las comunidades asentadas dentro y en las áreas cercanas a dichas zonas de amenaza, considerando variables socioeconómicas, constructivas y funcionales, con el fin de estimar el riesgo de forma integral.

La articulación de estos estudios permitirá fortalecer los procesos de gestión del riesgo y servirá como base técnica para la formulación, actualización o ajuste del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de San Joaquín, promoviendo una planificación del uso del suelo orientada a la reducción de la vulnerabilidad y a la protección de la población y la infraestructura.

Referencias Bibliográficas

- Administración Municipal de San Joaquín. (2014). Plan De Acción Territorial Del Municipio De San Joaquín. Obtenido de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/23943/28410-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcaldía de San Joaquín. (2024). Estudio básico de amenazas de acuerdo con lo establecido en el decreto único reglamentario 1077 de 2015 para el municipio de san joaquin (santander). En P. Y. Goyes.
- Amorocho Parra, R., Rodríguez Patiño, C., Ríos Reyes, C. A., Ramírez Arias, J. C., & Castellanos Alarcón, Ó. M. (2024). Tectono-stratigraphic and sedimentological analysis of the Early to Middle Devonian Floresta Formation: Insights from the Floresta Massif, Northern Andes, Colombia. *AndGeo*, 51(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV51n1-3657>
- Anderson, M., & Holcombe, E. (2013). Community-Based Landslide Risk Reduction: Managing Disasters in Small Steps. *World Bank*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10986/12239>
- Carvajal. (2008). Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia.
- Caster, K. (1939). Devonian fauna from Colombia... including stratigraphie notes.
- Castro Marín, E., & Ibáñez Almeida, D. (2024). . Avenidas torrenciales y flujos de detritos en la cuenca de la quebrada La Leona, municipio de San Joaquin, departamento de Santander. *Servicio Geológico Colombiano*.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2018). Natural disasters 2017: Lower mortality, higher cost. *EM-DAT*. Obtenido de https://cred.be/sites/default/files/adsr_2017.pdf

- Corporación Autónoma Regional de Santander. (29 de Mayo de 2023). *Hicimos visita de inspección a los hechos presentados en el municipio de San Joaquín*. Obtenido de Ministerio de Ambiente: <https://cas.gov.co/prensa/hicimos-visita-de-inspeccion-a-los-hechos-presentados-en-el-municipio-de-san-joaquin/>
- Cortés, M., Colletta, B., & Angelier, J. (2006). Structure and tectonics of the central segment of the Eastern Cordillera of Colombia. *South American Earth Sciences*. <https://doi.org/doi:10.1016/j.jsames.2006.07.004>
- Dearman, W. R. (1974). Weathering Classification in the Characterisation of Rock for Engineering Purposes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 9, 33-42. <https://doi.org/10.1007/bf02635301>
- Deere, & Patton. (1971). Slope Stability in Residual Soils. *Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, I*, 87-170.
- Fidan, S., Tanyaş, H., & Akbaş, A. (2024). Understanding fatal landslides at global scales: a summary of topographic, climatic, and anthropogenic perspectives. *Nat Hazards*, 6437–6455. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06487-3>
- Froude, M., & Petley, D. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Goldsmith, R., Marvin, R., & Mehnert, H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Papers*, 44-49.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España: Pearson Educación.

- Hernández Landinez, D. (2014). Contribución a los estudios de geomorfología para la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa en la plancha 110-pamplona (escala 1:100.000), al centro-orienté del macizo de Santander. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/30011>
- Hoek, E., & Brown, E. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of Geotechnical Engineering Division*.
- Howard, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- IGAC. (2025). Obtenido de Colombia en Mapas: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>
- INGEOMINAS. (1984). Geología de la Plancha 136 Málaga. Obtenido de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024239/mapa/pdf/0101242391300002.pdf>
- INGEOMINAS. (1987). Geología de la Plancha 152 Soata. Obtenido de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024239/mapa/pdf/0101242391300006.pdf>
- INGEOMINAS. (2012). Estudios de Geología y Geomorfología escala 1:25.000 para la reubicación del casco urbano del municipio de Gramalote, Departamento norte de Santander.
- Keefer, D. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America*, 95(4), 406-421. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<406:LCBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<406:LCBE>2.0.CO;2)
- Mantilla Figueroa, L. C., García, C. A., & Valencia, V. (2016). Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.303>

- Mullet, M., & Ortiz, J. (2014). Gestión de riesgo del diagnóstico integral de líneas de tubería de transporte de productos refinados y/o crudos del poliducto Puerto Salgar-Cartago (Sector de Tubería Pádua-Herveo, K83 al K91), Departamento del Tolima. *Repositorio UDES*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/2911>
- Munsell Color Company. (2009). *Munsell Soil Color Charts*. Munsell Color Company.
- Pastrana Caviedes, J. S., & Blair Camacho, S. D. (2023). Análisis de la Evolución Geológica de la Franja Mogotes-Onzaga, Macizo de Santander.
- Petley, D. (2025). Global fatal landslides in 2024. *American Geophysical Union*. Obtenido de <https://eos.org/thelandslideblog/fatal-landslides-in-2024>
- Royero, J., & Clavijo, J. (2001). Memoria explicativa. En INGEOMINAS, *Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1:400.000*.
- SGC. (1984). Geología de la Plancha 136 Málaga. Obtenido de <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024239/mapa/pdf/0101242391300002.pdf>
- SGC. (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de.
- SGC. (2013). Documento Metodológico de la Zonificación y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa. Escala: 1:100.000.
- SGC. (2014). Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas.
- SGC. (2014). Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 136-Málaga, departamentos de Santander y Boyacá.
- SGC. (2015). Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 152, Soatá, Departamentos de Santander y Boyacá.

- SGC. (2016). *Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: Granito de Pescadero*. Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2017). Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Obtenido de [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)
- SGC. (2023). ¿Por qué ocurren tantos movimientos en masa en el país y qué podemos hacer al respecto? *Portal Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/Por-que-ocurren-tantos-movimientos-en-masa->
- SGC. (2025). *Cartografía Geocientífica*. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Cartografia_Geocientifica/?page=Page#data_s=id%3AdataSource_10-196174a6b40-layer-12%3A283
- SGC. (2025). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de SGC: <https://www.sgc.gov.co/>
- SGC. (2025). *Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA)*. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: <https://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>
- UNGRD. (19 de 08 de 2020). *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Obtenido de Riesgo por movimientos en masa en Colombia: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Tellez, N. (1981). Geología del cuadrángulo 1-13, Málaga. *Boletín Geológico*, 24.
- Velandia Patiño, F. A. (2017). Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander - énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63257>

- Velandia Patiño, F. A., & Bermúdez, M. (2018). The transpressive southern termination of the Bucaramanga fault (Colombia): Insights. *Journal of Structural Geology*.
<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.07.020>
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 23(1-3).
<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol21.1-3.1973.383>

A. Formatos de roca y suelo para UGS

Formato de la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales macizo rocoso (SGC, 2017).

[illegible]

Figura 2

Formato de caracterización de suelos (SGC, 2017).

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS			
MAPAS DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES - GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA			
FORMATO DE CAMPO			
INFORMACIÓN GENERAL			
PROYECTO: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000 BLOQUE 02			
Departamento: <u>Norte de Santander</u>	Latitud: _____	Nombre: _____	
Municipio: _____	Longitud: _____	Fecha: _____	
Vereda: _____	Altitud: _____	N° De Estación: _____	
CLASE DE AFLORAMIENTO		SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA	
Natural ☐	☐ Orden (Espesor (m)) ☐ ☐ ☐	Si es suelo residual:	
Corte superficial ☐		Horizonte	
Excavación subterránea ☐		VI (Suelo Residual)	
Trinchera, Apique ☐		V (Saprolito)	
		III, IV (Roca meteorizada)	
CARACTERIZACIÓN DE LA UGS			
Unidad Geológica Superficial: _____			
No. litologías asociadas a la UGS: 1 ☐ Espesor (m) _____ 2 ☐ Espesor (m) _____			
CARACTERÍSTICAS DE LA UGS			
TEXTURA:	1 2	HUMEDAD NATURAL:	1 2
Clasto-soportado ☐	☐ % Matriz ☐ % Clastos Espesor (m) _____	Seco ☐	☐ Baja ☐ Media ☐ Alta
Intermedia ☐		Húmedo ☐	
Matriz soportado ☐		Muy Mojado ☐	
		PERMEABILIDAD CUALITATIVA	1 2
		Baja ☐	ESTRUCTURAS Estructuras heredadas* ☐ Fisuras ☐ Grietas ☐
		Media ☐	
		Alta ☐	
* Disposición Estructural: _____			
CARACTERÍSTICAS DE LOS CLASTOS			
COLOR 1: _____	FORMA DE LOS CLASTOS	REDONDEZ DE LOS CLASTOS	ORIENTACIÓN DE LOS CLASTOS
COLOR 2: _____	1 2	1 2	1 2
	Esférica ☐	Redondeada ☐	Isotropía ☐
	Discoidal ☐	Subredondeada ☐	Anisotropía ☐
	Prismática ☐	Subangular ☐	Imbricado ☐
Tabular ☐	Angular ☐		
METEORIZACIÓN DE LOS CLASTOS			
1 2			
Fresca ☐			
Descolorida ☐			
Descompuesta ☐			
Desintegrada ☐			
CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ			
GRANULOMETRÍA (%):	1 2	PLASTICIDAD	COLOR 1: _____
Arcilla (<0,002 mm)	☐ Finos ☐ Gruesos	No plástico ☐	COLOR 2: _____
Limo (0,002 - 0,075 mm)		Poco Plástico ☐	
Arena fina (0,075 - 0,425 mm)		Plástico ☐	
Arena Media (0,425 - 2,0 mm)		Muy Plástico ☐	
Arena gruesa (2,0 - 4,75 mm)			
Gravas (4,75 - 75,0 mm)			
Cantos (75 - 300 mm)			
Bloques (> 300 mm)			
SUELOS FINOS		SUELOS GRUESOS	
CONSISTENCIA (Resistencia al corte no drenada)	1 2	DENSIDAD RELATIVA DE LOS SUELOS ARENOSOS	1 2
Muy Blanda ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	Suelta ☐	FORMA DE LOS CLASTOS Esférica ☐ Discoidal ☐ Prismática ☐ Tabular ☐
Blanda ☐		Densa ☐	
Media ☐		Muy Densa ☐	
Alta ☐			
Muy alta ☐			
Dura ☐			
		REDONDEZ DE LOS CLASTOS	1 2
		Redondeada ☐	ORIENTACIÓN DE LOS CLASTOS Isotropía ☐ Anisotropía ☐ Imbricado ☐
		Semiredondeada ☐	
		Semiangulosa ☐	
		Angulosa ☐	
ANEXOS DEL FORMATO			
FOTOGRAFÍAS			
Foto ☐	Descripción: _____		
Foto ☐	Descripción: _____		
Foto ☐	Descripción: _____		
OBSERVACIONES			

B. Formato de caracterización morfométrica para cartografía de subunidades geomorfológicas (SGMF)

Figura 3

Formato de recolección de datos para la cartografía de subunidades geomorfológicas (UIS, 2021).

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA PARA CARTOGRAFÍA DE SUBUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (SGMF)									
FORMATO DE TOMA DE DATOS DE CAMPO Y OFICINA									
Nombre Proyecto: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000 - BLOQUE 02.									
Fecha	Guía de símbolos para múltiples SGMF * Estación			1ra. SGMF	2da. SGMF	X	3ra. SGMF	Todas	
Plancha									
Estación									
Orientación									
Lugar				Posición Geográfica			Referente Geográfico		
Departamento	Norte de Santander			X					
Municipio				Y					
Vereda				Z					
Síto				Orig. Coordenadas					
Nombre Encuestador				Tipo de Geoforma	Código SGMF y Símbolo		Ambiente Morfogénico		
				3D			Denudacional		
				2D			Estructural		
						Volcánico			
						Edico			
						Antropogénico			
						Kármico			
General									
Tipo de Estructura Asociada		Edad geomorfológica relativa							
Anticinal		Actual (600 a)							
Sincinal		Subactual (2600 a)							
Homocinal		Reciente (7100 a)							
Dato Estructural		Subreciente (9400 - 11500 a)							
		Antiguo (12000 - 73000 a)							
Tipo de Falla		Muy antiguo (0.73 - 3.6 ma)							
N									
I									
R									
S									
Dirección									
Geoformas en 3D									
Índice de Relieve Relativo		Forma de cresta		Nota					
Muy Bajo		< 30 m		Aguda					
Bajo		50 - 250 m		Redondeada					
Moderado		250 - 500 m		Convexa amplia					
Alto		500 - 1000 m		Convexa plana					
Muy Alto		> 1000 m		Plana					
Longitud del Eje		< 250 m		Según su grado de erosión o geoformas adyacentes					
Corta		250 - 1000 m		Residual					
Media		1000 - 2500 m		Remanente					
Larga		> 2500 m							
Muy Larga									
Geoformas en 2D									
Tipo		Forma		Inclinación de la Ladera		Longitud de Ladera		Índice de Relieve Local (Altura)	
Escalonada		Recta		Suavemente inclinada (< 5°)		Muy Corta (< 50 m)		Muy Bajo (< 20 m)	
Denudacional		Cóncava		Inclinada (6° - 10°)		Corta (51 - 250 m)		Bajo (30 - 74 m)	
Ondulada		Convexa		Muy inclinada (11° - 15°)		Moderada (251 - 500 m)		Moderado (75 - 149 m)	
Erosiva		Irregular		Abrupta (16° - 20°)		Larga (501 - 1000 m)		Alto (150 - 249 m)	
Denudada		Compleja		Muy Abrupta (21° - 30°)		Muy Larga (1001 - 2500 m)		Muy alto (250 - 499 m)	
Estructural				Escarpada (31° - 45°)		Extrema Larga (> 2500 m)		Extrema Alto (> 500 m)	
a Favor		en Contra							
Geoformas en 2D									
Superficie vertical: Escarpe		Ubicación		Forma		Superficie Plana: Superficie		Ancho	
de Erosión		de Línea de Falla		Recta		Muy Pequeña		< 100 m	
de Terraza		Ladera		Cóncava		Pequeña		100 - 200 m	
de Abanico		Montaña		Convexa		Moderada		200 - 300 m	
Glacial		Contrapendiente		Depósito		Grande		300 - 500 m	
						Muy Grande		500 - 750 m	
						Extrem. Grande		> 750 m	
Características del Drenaje									
Patrón de Drenaje		Índice de Frecuencia		Densidad de Drenaje		Textura de Drenaje			
Dendríco		< 5		< 0.5 Km/Km2		Gruesa			
Subdendríco		5 - 10		Baja		Mediana			
Paralelo		11 - 20		Moderada		Fina			
Subparalelo		21 - 40		Alta		Muy fina			
Pinado - Enrejado		> 40		Muy Alta					
Rectangular									
Distributivo									
UGS In - Situ									
Grado de meteorización		Tipo UGS		Tipo de Roca		Tipo de Suelo			
VI Suelto Residual		Suelo Residual		Acida		Gravoso		Arcilloso	
V Completamente Meteorizado		Saprolito Fino		Intermedia		Arenoso			
IV Muy Meteorizado		Saprolito Grueso		Básica		Limoso			
III Moderadamente Meteorizado		Roca Blanda		Ultrabásica		Limoso			
II Ligeramente Meteorizada		Roca Intermedia		Masiva		Arcilloso			
IB Débilmente Meteorizada		Roca Dura		Bandeada		Volcánico		Suelo Antrópico	
IA Roca Fresca				Bien Folada					
* I: Ignea, M: Metamórfica, S: Sedimentaria, V: Volcánica									
Cobertura y Uso de la Tierra									
SGMF		Cobertura		Suelo		Tipo de Cobertura		Tipo de Uso	
						Veg. Herbácea		G. Zona Industrial	
						VH Cultivos		A. Minería	
						B Construcciones		R. Área Protegida	
						C Agricultura		Vv. Zona Arqueológica	
						M Pastos		V Sin Uso	
						P Recreación			
						CA Sin Cobertura			
						SC Vivienda			
						Vías			
						Otros			
Erosión									
Tipo		Mecanismo		Hídrica		Grado de Erosión			
Natural		Inducida		Fluvial		Vegetación		Grado	
Hídrica		Terrazas		Socavación		Original		Nula	
Marino				Abrasión		Denudada		Baja	
Clástica				Remontante		Residual		Alta	
Glacial				Lateral		Bad Lands		Muy Alta	
Edica				de Fondo					
				Otro					
				Espaciamiento entre canales (cm)					
				< 5 cm					
				5 - 50 cm					
				50 - 150 cm					
				150 - 500 cm					
				> 500 cm					
				Suave					
				Moderada					
				Severa					

Figura 4

Formato de recolección de datos para la cartografía de subunidades geomorfológicas (UIS, 2021).

Movimientos en Masa															
Deslizamiento	Tipo de Movimiento				Flujo	Caida				Volc. activo	Estado				Notas
	Traslacional Planar					Roca					Activo				
	Detritos					Tierra					Reactivado				
	Roca					Detritos					Suspendido				
	Detritos					Suelos					Inactivo				
Traslacional en Curva				Sóliflucción				Latente							
Roca				Geliflucción				Abandonado							
Detritos				Licuefacción				Estabilizado							
Tierra								Relicto							
Fotos															
Nombre	Azimut (R)		Descripción						Nombre	Azimut (R)		Descripción			
Notas															
Diagramas															
Planta							Perfil								
Observaciones							Observaciones								
Rasgos Geomorfológicos															
Rasgos observados		Tipo de rasgo				SGMF	Comentario	Rasgos observados		Tipo de rasgo				SGMF	Comentario
Nombre	E	D	F	A	Nombre			E	D	F	A				
Notas															
Análisis de Procesos Fluvio-torrenciales															
Zona de captación alta montaña		SI	NO	Procesos erosivos en laderas		SI	NO	Torrente o canal de alta pendiente		SI	NO				
Zonas de aporte				Zonas tránsito				Zonas de depósito				Diagrama			
Proceso		SI	NO	Proceso		SI	NO	Proceso		SI	NO				
Deforestación				Erosión de diques				Cambio de pendiente							
Rocas fracturadas y poca cobertura vegetal				Desviaciones del canal				Lóbulos o depósitos de bloques de roca y gravas							
Reptación				Presencia de lóbulos gravosos centrales o de borde				Depósitos de detritos, bloques en matrices mas finas							
Deslizamientos activos				Erosión de ribera-pérdida de vegetación o en crecimiento				Cambio en vegetación							
Cicatrices de deslizamientos				Raíces de árboles expuestas al canal				Acumulaciones de material leñoso o vegetal							
Caida de roca con potencial conexión al canal				Árboles volcados o material leñoso acumulado				Canales o estructuras civiles colmatados							
Potenciales volcamientos				Saltos o cascadas en canal				Indicadores de Repasamiento							
Flujos				Profundidad del Canal (m)											
Ancho del Canal (m)															
Características del depósito															
Geoformas indicativas observadas															
Infraestructura expuesta o afectada															
NOTAS:															

C. Descripción de las Unidades geológicas Superficiales (UGS)

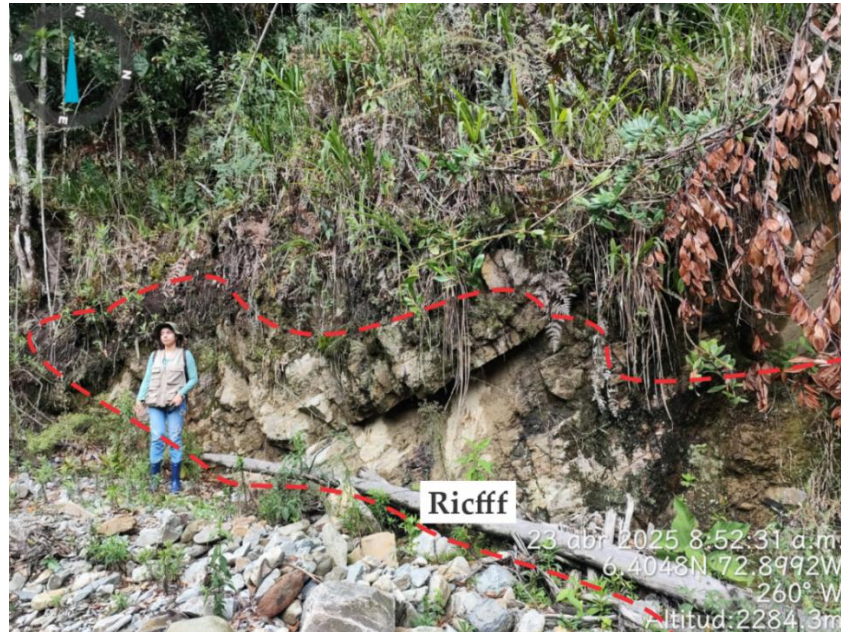
En este apartado, se describen las diferentes propiedades de las rocas y suelos encontrados en el área de investigación, así como sus características particulares de acuerdo con lo estipulado por el Servicio Geológico Colombiano

1. Roca calidad intermedia de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta (Ricfff)

Esta unidad está compuesta por filitas intercaladas con niveles de cuarcitas micáceas, de grano fino a medio, con cuarzo, feldespato y moscovita como minerales principales. Presenta un índice de resistencia $GSI=40-60$, clasificándose como un macizo de calidad regular (Tipo IV–V). La resistencia a la compresión simple se estima en el rango de 25–50 MPa, correspondiente a una roca moderadamente dura. De acuerdo con el perfil de meteorización de Dearman (1974), presenta un grado de meteorización tipo III, es decir, moderadamente meteorizada, con decoloración y ligera desintegración superficial. Se midieron diaclasas con orientaciones $028/30^\circ$ y $329/68^\circ$, con persistencias bajas (1-3 m), aberturas de 0–2 mm, sin rellenos arcillosos y una superficie suave y escalonada. Esta unidad aflora en el sector noreste del área de estudio, en la vereda Panamá, con un área aproximada de 145 ha.

Figura 5

Estación UGS-15. Afloramiento de calidad intermedia de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta en la Quebrada Panamá.

**2. Roca calidad intermedia de cuarcitas de la Formación Floresta (Ricff)**

Esta unidad es similar a cuarcitas compactas de grano medio-fino compuestas predominantemente de cuarzo, feldespato y pequeñas cantidades de moscovita. Su índice de resistencia se estima en un rango de GSI=40–60 y se clasifica como un macizo de calidad buena a media (Tipo III–IV). La resistencia a la compresión es sencilla y se sitúa entre 25–50 MPa, por lo que se considera una roca de dureza moderada a dura. El perfil de meteorización, tal como lo describe Dearman (1974), es de tipo II–III, ligeramente a moderadamente meteorizado, con coloración y planos formados por planos de debilidad secundaria. Las diaclasas medibles tienen orientaciones dominantes de 94/25° y 165/82°, con persistencias bajas (1–3 m), aberturas de 0–2 mm, sin rellenos arcillosos y una superficie suave y escalonada. Esta unidad se encuentra predominantemente en el flanco

occidental del área de estudio, en un terreno montañoso cerca de la vereda Panamá, con un área aproximado de 29 ha.

Figura 6

Estación UGS-12. Afloramiento de calidad intermedia de cuarcitas de la Formación Floresta.



Nota: Vía terciaria del municipio de San Joaquín.

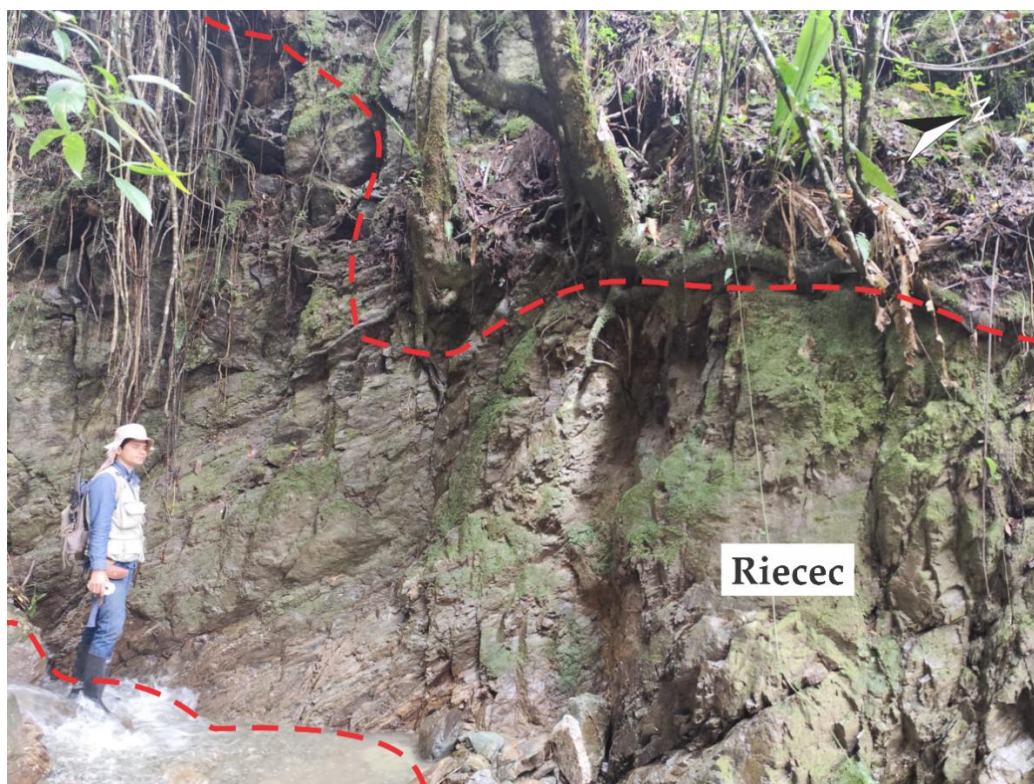
3. Roca calidad intermedia de esquistos y cuarcitas de Esquistos de Chicamocha (Rie- cec)

Su constitución se caracteriza por alternancias de esquistos micáceos intercalados con capas de cuarcitas delgadas, lo que le confiere un comportamiento mecánico heterogéneo. Su índice de resistencia estimado es $GSI=40-60$, lo que la clasifica como un macizo de calidad regular (Tipo IV-V). La resistencia a compresión simple es de 25–50 MPa, lo que corresponde a rocas moderadamente duras que tienden a desmoronarse en planos de foliación. Según Dearman (1974), se

clasifica como un grado de meteorización tipo III, donde se observa una decoloración moderada y desintegración localizada. Las discontinuidades medidas se orientan en direcciones de 281/67° y 266/66°, con una persistencia baja (<1 m), aberturas de 0–2 mm, superficies teñidas, suaves-planares. Además, presenta humedad frecuente en los planos, lo que aumenta la susceptibilidad a deslizamientos planares. Esta unidad se encuentra al sur del área de estudio, en sectores de topografía abrupta cercanos a la vereda Santa Clara, abarcado un área aproximada de 11.45 ha.

Figura 7

Estación UGS-37. Afloramiento calidad intermedia de esquistos y cuarcitas de Esquistos del Chicamocha.



4. Roca calidad intermedia de esquistos de Esquistos del Chicamocha (Riecec)

Compuesta principalmente por esquistos micáceos de grano fino, con foliación penetrativa y una orientación claramente definida, esta unidad presenta un índice de resistencia estimado de $GSI=40-60$, situándola en los macizos de calidad regular (Tipo V). Se estima que la resistencia a la compresión simple se encuentra en el rango de 25–50 MPa, clasificándose como roca moderadamente dura. Según Dearman (1974), se asocia a un grado de meteorización tipo III–IV, con alteración evidente, decoloración notable y debilitamiento de los planos de foliación. Las diaclasas observadas en esta unidad muestran orientaciones predominantes de $062/90^\circ$ y $321/72^\circ$, con una persistencia baja (<1 m), aberturas de 0–2 mm, superficies teñidas, suaves-planares. Además, presenta humedad frecuente en los planos, lo que aumenta la susceptibilidad a deslizamientos planares. Esta unidad se localiza en el flanco suroccidental del municipio, en la cuenca media del río San Joaquín, con una extensión aproximada de 75.39 ha.

Figura 8

Estación UGS-38. Afloramiento de calidad intermedia de esquistos de Esquistos del Chicamocha.

**5. Roca calidad intermedia de filitas de la Formación Floresta (Riff)**

Ella es de una unidad equivalente a filitas de grano muy fino, con una apariencia bien foliada y bandeada, compuesta de cuarzo, moscovita y menores ocurrencias de clorita. El índice de resistencia calculado es $GSI=40-60$, por lo que se clasifica como un macizo de calidad regular (Tipo IV–V). La resistencia a la compresión simple varía entre 25–50 MPa, lo que indica que es una roca moderadamente blanda. Según la clasificación de meteorización de Dearman (1974), pertenece a un tipo III, con decoloración general y desintegración progresiva en los planos de

foliación. Las diaclasas observadas presentan orientaciones dominantes de $028/30^\circ$ y $277/74^\circ$, con muy baja persistencia (<1 m), aberturas de 0–2 mm, superficies teñidas, suaves-planares. Las discontinuidades con humedad aumentan la susceptibilidad al deslizamiento rotacional. Esta unidad se encuentra en el sector noroccidental del área de estudio, hacia las veredas Panamá, con un área aproximada de 52 ha.

Figura 9

Estación UGS-60. Afloramiento de calidad intermedia de filitas de la Formación Floresta.



6. Roca calidad intermedia de monzogranito del Granito de Pescadero (Rimcmgp)

Esta unidad está compuesta por un volumen de monzogranito fanerítico de grano medio, que se conforma principalmente de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Una estimación aproximada le otorga un índice de resistencia de $GSI=40-60$, situándola en una calidad de macizo regular a buena (Tipo III–IV). La resistencia a la compresión simple es de 25–50 MPa, lo que la clasifica como roca moderadamente dura. El grado de meteorización se encuentra en el tipo II–III (Dearman, 1974), presentando una descoloración inicial y fracturas leves que no afectan los minerales. Se han observado diaclasas con orientaciones preferidas de $213/87^\circ$ y $321/72^\circ$, con una persistencia baja (1–3 m), aperturas de 0 mm, relleno arcilloso y superficies suave-ondulada, sin humedad. Estas condiciones pueden favorecer procesos de inestabilidad en taludes pronunciados. Esta unidad se encuentra en el sector suroriental del municipio, en las estribaciones de la cuenca de la Quebrada Panamá, con una extensión de 64.5 ha.

Figura 10

Estación UGS-11. Afloramiento de calidad intermedio de monzogranito del Granito de Pescadero.



Nota: Vía Principal que conecta al municipio de San Joaquín con Mogotes.

7. Roca calidad mala de cuarcitas de la Formación Floresta (Rmcff)

Esta unidad se compone de cuarcitas que presentan una intensa fracturación y un avanzado estado de meteorización. Principalmente, está formada por cuarzo, con cantidades menores de feldespato y moscovita, de grano medio a fino. El macizo tiene un índice de resistencia estimado de $GSI=25-40$, lo que lo clasifica como de calidad deficiente (Tipo V–VI). Su resistencia a la compresión simple oscila entre 15–30 MPa, lo que indica que se trata de rocas blandas a moderadamente blandas. Según Dearman (1974), se observa un grado de meteorización tipo IV, caracterizado por una notable decoloración, intensa fracturación y pérdida de cohesión en los contactos de cuarzo. Se registraron diaclasas con orientaciones dominantes cercanas a $190/50^\circ$ y $270/70^\circ$, con una persistencia baja a media (1–3 m), y aberturas que varían entre 0–2 mm, y superficies teñidas

que van de suave a rugosas-planar. Además, no se presentan filtraciones de agua en los planos de debilidad. Esta unidad se localiza en el sector oriental del municipio, en la cuenca alta del río Panamá, abarcando un área aproximada de 372 ha.

Figura 11

Estación UGS-16. Afloramiento de calidad mala de cuarcitas de la Formación Floresta en la Quebrada Panamá.



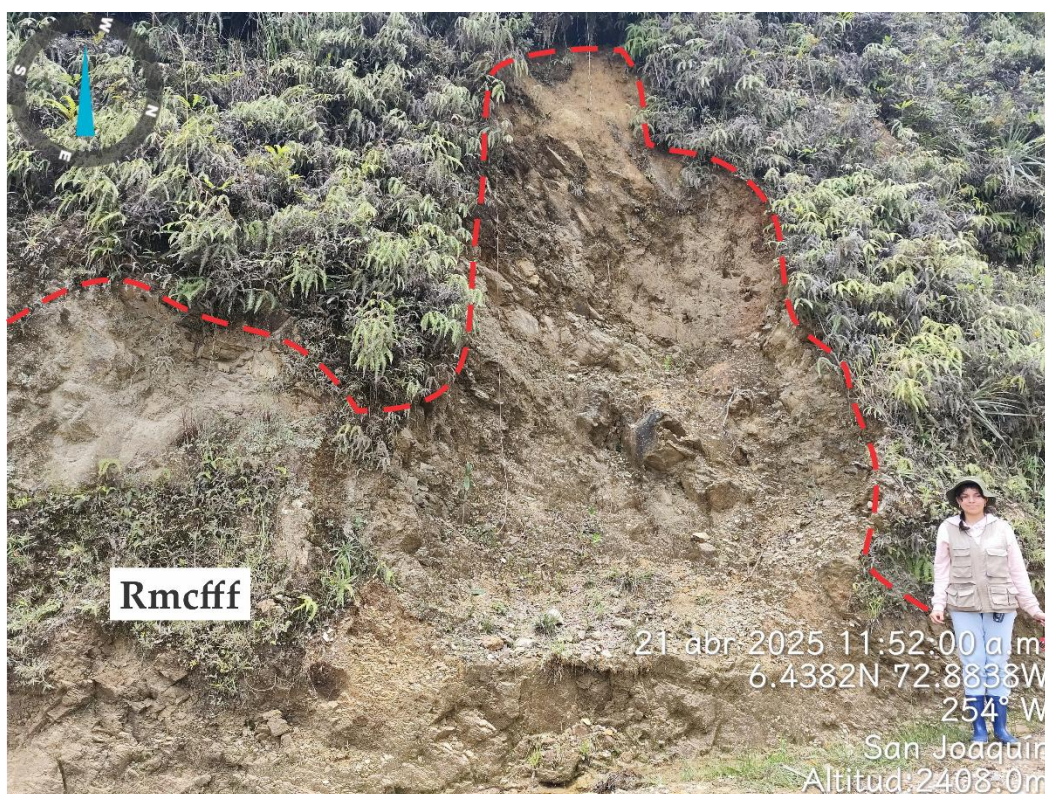
8. Roca calidad mala de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta (Rmcfff)

Formada por intercalaciones de cuarcitas y filitas, esta unidad presenta una condición de fracturación generalizada y una intensa alteración mineralógica. Su índice de resistencia ha sido estimado en GSI=25–35, lo que se considera un macizo de calidad deficiente (Tipo VI). Su

resistencia a la compresión simple varía entre 10–25 MPa, lo que la clasifica como una roca blanda. Según el perfil de meteorización de Dearman (1974), se clasifica en un grado tipo IV–V, es decir, roca intensamente meteorizada a muy meteorizada, con una notable pérdida de cohesión y disgregación parcial de la matriz. Las discontinuidades medidas muestran orientaciones predominantes en $346/64^\circ$ y $45/14^\circ$, con una baja persistencia (<3 m), aberturas amplias de 0–2 mm, y superficies teñidas que van de suave a rugosas-planar. Este comportamiento favorece procesos de deslizamiento rotacional y movimientos de escombros. Se encuentra en el norte del municipio de San Joaquín, en las áreas limítrofes de los Mogotes, con una superficie aproximada de 471 ha.

Figura 12

Estación UGS-02. Afloramiento de calidad mala de cuarcitas y filitas de la Formación Floresta.



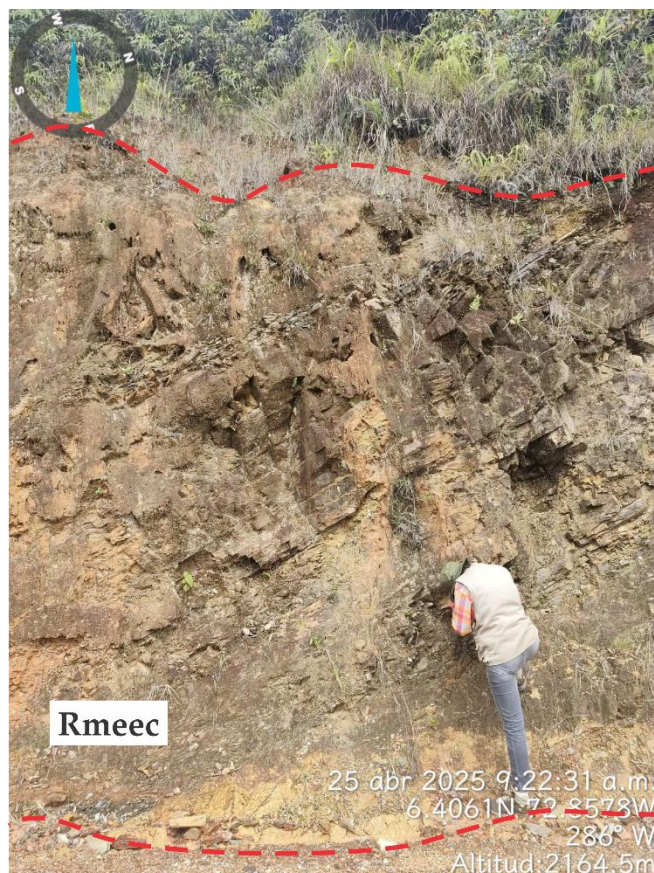
Nota: Vía principal que conecta al municipio de San Joaquín con Mogotes.

9. Roca calidad mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha (Rmeec)

Esta unidad está compuesta por esquistos micáceos de grano fino, que presentan una foliación penetrativa y una fuerte orientación preferencial de los minerales en lámina. Su índice de resistencia se determina en $GSI=25-40$, clasificándose como un macizo de calidad deficiente (Tipo VI). La resistencia a la compresión simple oscila entre 15–25 MPa, lo que la caracteriza como una roca blanda con baja cohesión en las áreas de planos de foliación. La intensidad de la meteorización, de acuerdo con Dearman (1974), se clasifica como tipo IV–V, mostrando una fuerte alteración, desmenuzamiento mineralógico y una disminución de la resistencia mecánica. Las discontinuidades observadas presentan direcciones predominantes de $123/35^\circ$ y $005/21^\circ$, con una baja persistencia (<3 m), aperturas que varían entre 0-2 mm, y superficies teñidas que van de suave a rugosas-planar. Se registra humedad en los planos, lo que favorece procesos de deslizamiento planar y rotativo. Esta unidad se localiza en el sector suroccidental del área de estudio, hacia la cuenca media de la quebrada El León, abarcando un área de 512 ha.

Figura 13

Estación UGS-25 donde se observa un afloramiento de mala calidad de esquistos de Esquistos del Chicamocha.



Nota: Vía que conecta al municipio de San Joaquín con Onzaga.

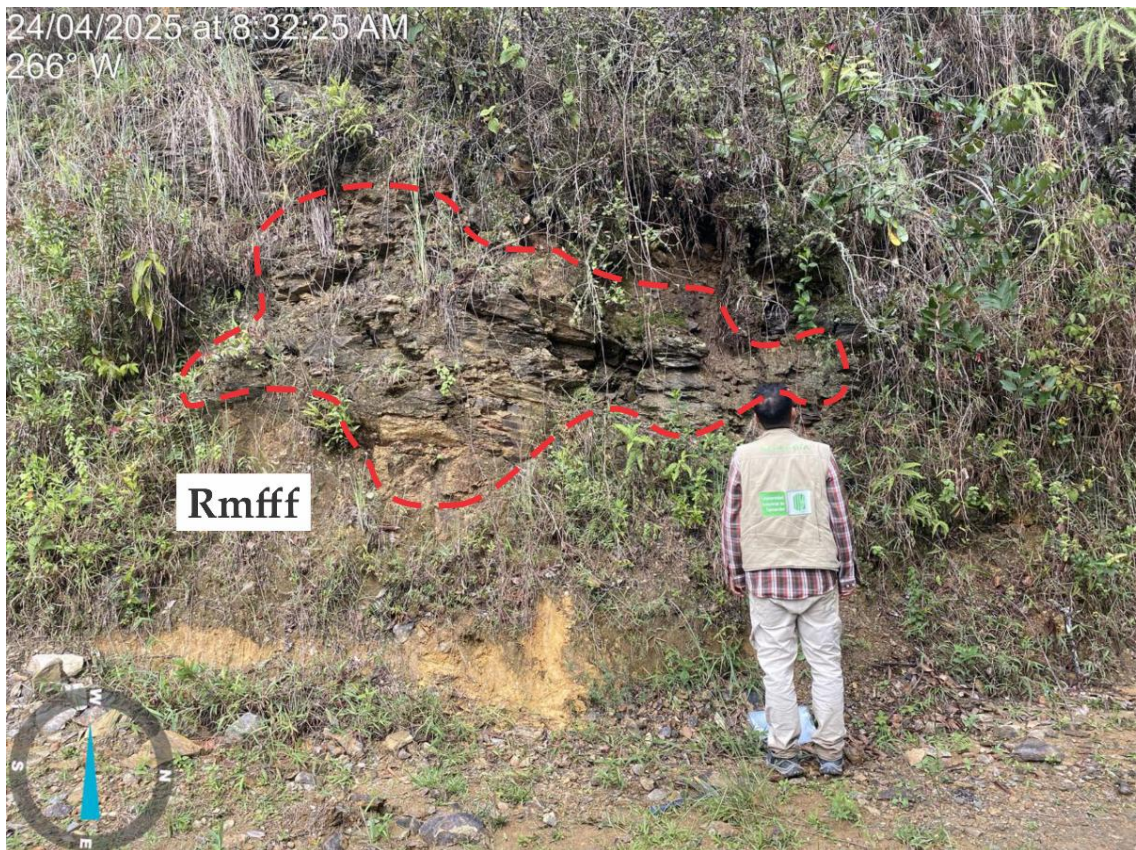
10. Roca calidad mala de filitas de la Formación Floresta (Rmfff)

Esta unidad está compuesta por filitas de grano fino que presentan foliación, las cuales están muy meteorizadas y fracturadas. Su índice de resistencia estimado es $GSI=20-40$, lo que indica que se trata de un macizo de mala calidad (Tipo VI). La compresión simple se encuentra en el rango de 5–25 MPa, lo que corresponde a una roca blanda de baja cohesión. De acuerdo con Dearman (1974), esto se clasifica como un grado de meteorización tipo V, caracterizado por una alteración intensa, pérdida de la estructura original y disgregación avanzada. Se han registrado

diaclasas con orientaciones dominantes cercanas a $121/20^\circ$ y $250/25^\circ$, con una persistencia que varía entre 1-20 mm, aberturas amplias de 2–20 mm, y superficies teñidas que varían de suave a rugosa- ondulada. Esta unidad se encuentra en el flanco nororiental del municipio, hacia la vereda Panamá, abarcando un área redondeada de aproximadamente 262.4 ha.

Figura 14.

Estación UGS-21. Afloramiento de calidad mala de filitas de la Formación Floresta.



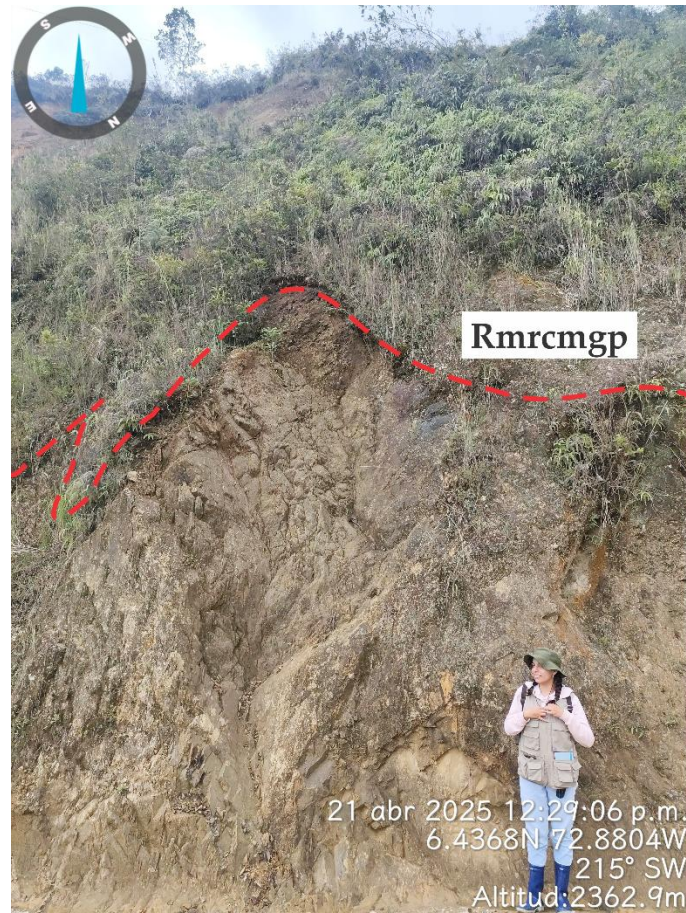
11. Roca calidad mala de riolita del Granito de Pescadero (Rmrcmgp)

La unidad se asemeja a un cuerpo de riolita altamente fracturada, con una textura que varía de afanítica a porfirítica, compuesta por cuarzo, feldespatos y minerales secundarios resultantes de la alteración hidrotermal. Se estima que el índice de resistencia es $GSI=20-40$, lo que la clasifica

como un macizo de calidad deficiente (Tipo VI). La resistencia a la compresión simple oscila entre 5–25 MPa, lo que la caracteriza como una roca blanda. Según la clasificación de meteorización de Dearman (1974), presenta un grado tipo IV–V, con alteración avanzada, fracturación generalizada y disgregación mineralógica. Las diaclasas medidas se orientan aproximadamente en 254/48°, con una persistencia baja (<3 m), aberturas de 0–2 mm, con superficie teñida y suave-planar sin humedad. Esta unidad se encuentra en la vía que conecta al municipio con Mogotes, con una superficie aproximada de 5.2 ha.

Figura 15

Estación UGS-06, donde se observa un afloramiento de mala calidad de riolita del Granito de Pescadero.



Nota: Vía que conecta al municipio de San Joaquín con Mogotes.

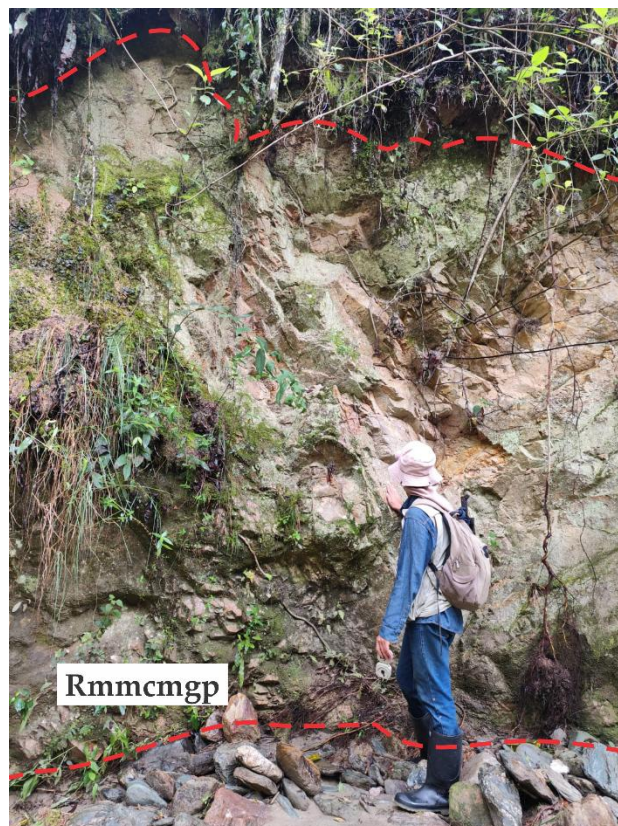
12. Roca calidad mala de monzogranito del Granito de Pescadero (Rmmcmgp)

Compuesto por un macizo monzogranítico intensamente fracturado y alterado, esta unidad presenta una textura fanerítica media con cuarzo, feldespato y biotita como minerales principales. El índice de resistencia se encuentra en el rango de GSI=20–40, clasificándolo como un macizo de calidad deficiente (Tipo VI). La resistencia a la compresión simple es de 5–25 MPa, lo que corresponde a una roca blanda. Según Dearman (1974), muestra un grado de meteorización tipo IV–V, con alteración hidrotermal y caolinización de los feldespatos. Las diaclasas medidas

exhiben orientaciones dominantes de $210/50^\circ$ y $010/82^\circ$, baja persistencia (<10 mm), aperturas de 2 mm, rellenos de arcilla y superficies Rugosa-escalonadas. No se observan filtraciones de agua en las discontinuidades. Estas condiciones aumentan la susceptibilidad a procesos de caída de bloques y deslizamientos superficiales. Esta unidad aflora en el flanco suroriental del municipio, en la cuenca tanto de la Quebrada El León como de la Quebrada Panamá, con un área aproximada de 246 ha.

Figura 16

Estación UGS-33. Afloramiento de calidad mala de monzogranito del Granito de Pescadero en la Quebrada El Durazno.

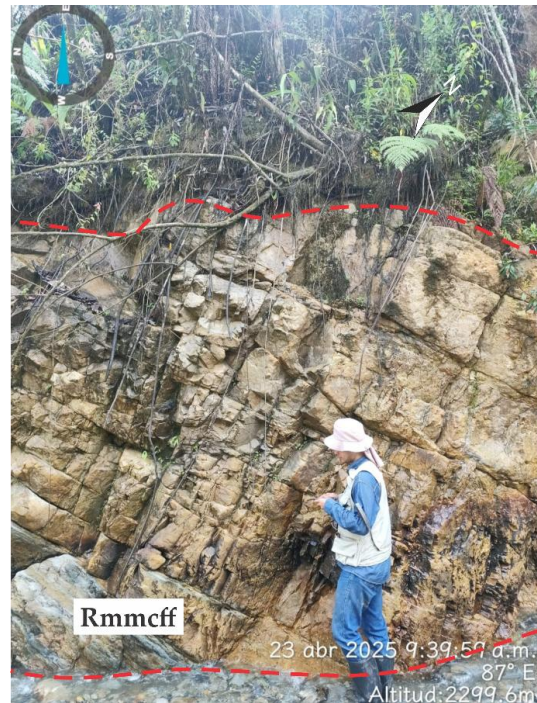


13. Roca calidad muy mala de cuarcitas de la Formación Floresta (Rmmcff)

Esta unidad consiste en cuarcitas que han sido intensamente meteorizadas y fracturadas, presentando una pérdida casi total de cohesión entre los cristales de cuarzo. Su índice de resistencia se estima en $GSI=0-20$, lo que la clasifica como un macizo de calidad muy deficiente (Tipo VII). La resistencia a la compresión simple se calcula entre 1 y 5 MPa, y se caracteriza por ser rocas blandas con un comportamiento frágil. De acuerdo con la clasificación de Dearman (1974), el grado de meteorización se clasifica como tipo V–VI, lo que se manifiesta en una decoloración total, una estructura original apenas reconocible y una desintegración avanzada. Las discontinuidades presentan orientaciones dominantes de $192/82^\circ$ y $358/74^\circ$, con una persistencia muy baja (<2 m), aberturas de 2 mm, sin relleno y superficies suave-planar. Las discontinuidades se encuentran húmedas sin embargo no se observa agua. Estas condiciones propician procesos de caída de bloques y deslizamientos superficiales. Se encuentra situada en la parte nororiental del área de estudio, en el valle superior de la quebrada Panamá, abarcando una superficie aproximada de 154 hectáreas.

Figura 17

Estación UGS-20. Afloramiento de calidad muy mala de cuarcitas de la Formación Floresta.

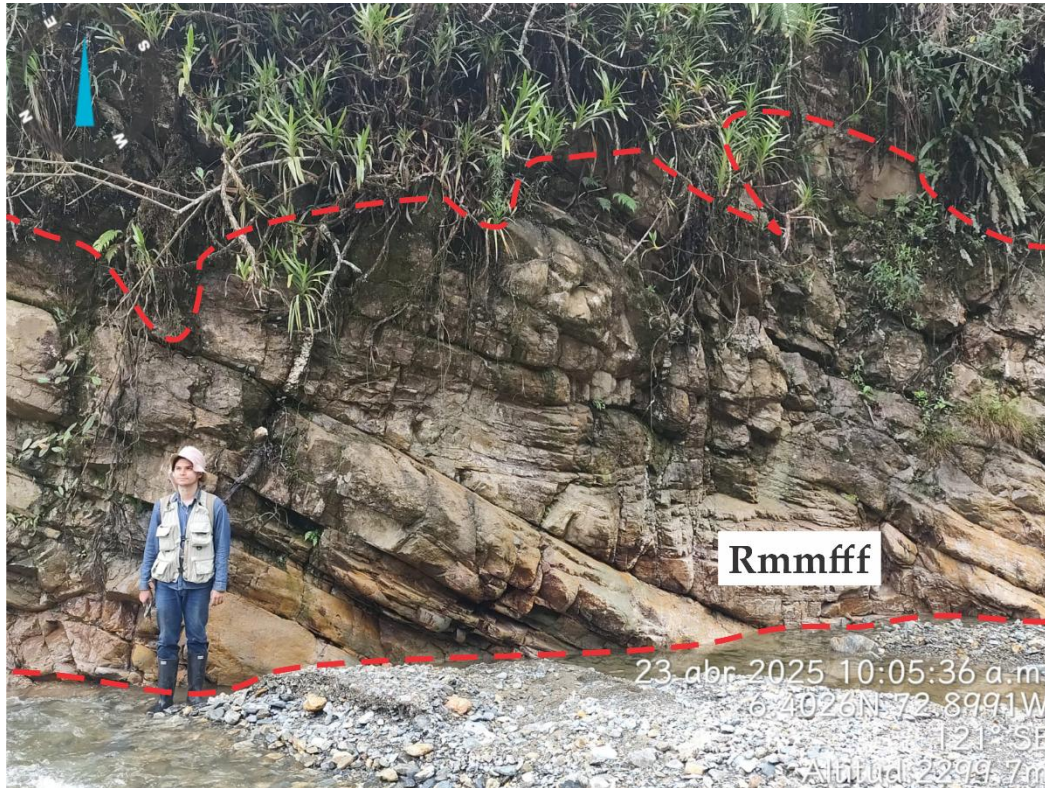
**14. Roca calidad muy mala de filitas de la Formación Floresta (Rmmfff)**

Está compuesta por filitas altamente alteradas, que exhiben una foliación desintegrada y una notable pérdida de cohesión mineralógica. El índice de resistencia se estima en $GSI = 0-20$, lo que la clasifica como un macizo de muy baja calidad (Tipo VII). La resistencia a la compresión simple es 1 y 5 MPa, lo que la convierte en una roca muy blanda y fácil de fracturar. Según Dearman (1974), se trata de un grado de meteorización tipo VI, es decir, roca altamente meteorizada, con alteración generalizada y estructura original irreconocible. Las diaclasas medidas son de $243/64^\circ$ y $334/45^\circ$, con una persistencia menor a 2 m, una apertura de 2–6 mm, sin relleno y superficies suave-planar. Las discontinuidades se encuentran húmedas sin embargo no se observa agua, lo que conduce a una alta susceptibilidad a procesos de reptación y deslizamiento rotacional.

Esta unidad se localiza en el borde occidental del municipio, hacia la vereda Santa Clara, abarcando aproximadamente 28.01 ha.

Figura 18

Afloramiento de calidad muy mala de filitas de la Formación Floresta.



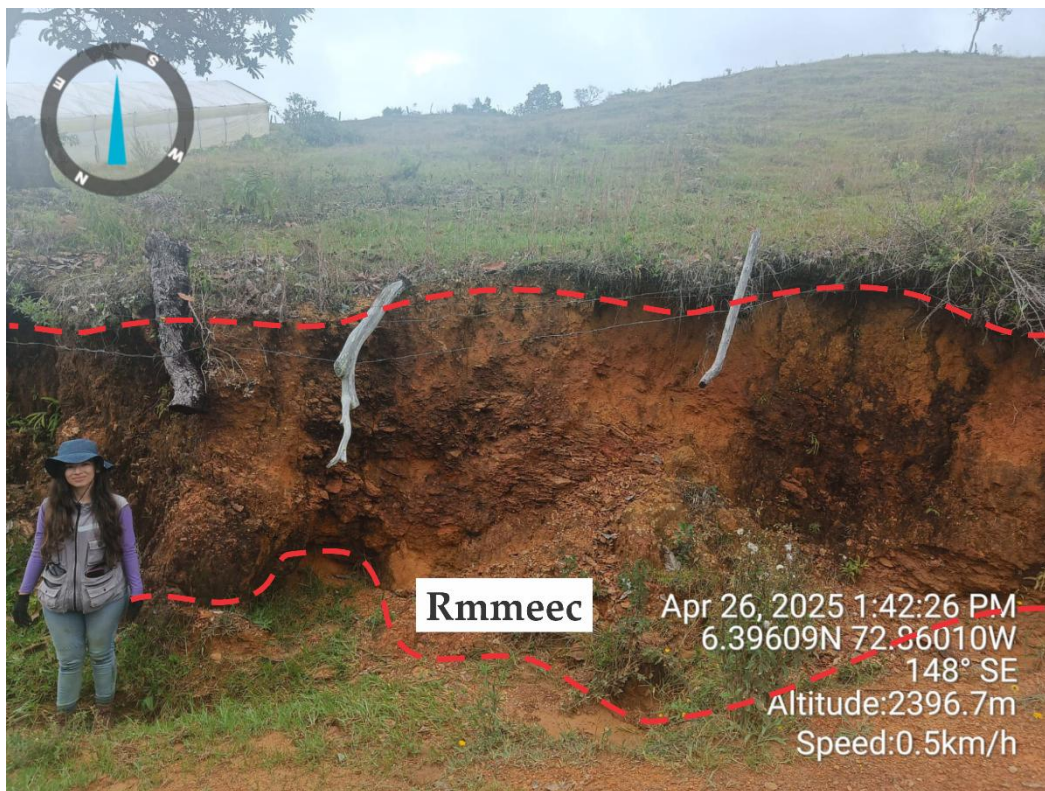
15. Roca calidad muy mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha (Rmmeec)

Esta unidad está formada por esquistos micáceos que han sido intensamente meteorizados, presentando una foliación muy pronunciada y una notable disminución de resistencia. El índice de resistencia se calcula en $GSI=0-20$, lo que la clasifica como un macizo de calidad muy deficiente (Tipo VII–VIII). Su resistencia a la compresión simple es 1-5 MPa, lo que la caracteriza como una roca muy blanda. Según Dearman (1974), muestra un grado de meteorización tipo VI. Se han

registrado diaclasas con orientaciones de $159/46^\circ$ y $64/24^\circ$, con una persistencia muy baja (<1 m), aberturas de 2 mm, relleno arcilloso y la rugosidad de la superficie es suave-ondulada, además no presenta humedad. Estas condiciones hacen que la unidad sea altamente susceptible a deslizamientos tanto planares como rotacionales. Se encuentra ubicada en las cercanías del río León, abarcando aproximadamente 590.2 ha.

Figura 19

Estación UGS-48. Afloramiento de calidad muy mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha.



16. Roca calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero (Rmmmcmgp)

Compuesta por un macizo monzogranítico intensamente alterado, esta unidad presenta una textura desintegrada con feldespatos kaolínicos, cuarzo fracturado y biotita cloritizada. Se estima

que su índice de resistencia es $GSI=0-20$, lo que la clasifica como un macizo de muy baja calidad (Tipo VII). Su resistencia a la compresión simple es 1-5 MPa, lo que indica que se trata de una roca muy blanda y friable. Según Dearman (1974), el grado de meteorización corresponde al tipo VI, caracterizado por la alteración total de los feldespatos y la pérdida de cohesión mineralógica. Las discontinuidades predominantes se orientan hacia $254/48^\circ$ y $55/66^\circ$, con una persistencia baja (1-3 m), aberturas de entre 0-2 mm, relleno arcilloso y superficies lisas con presencia de agua en los planos. Estas condiciones aumentan considerablemente su susceptibilidad a procesos de deslizamiento y colapso de taludes. La unidad se encuentra en el flanco suroriental del área de estudio, abarcando aproximadamente 226.7 ha.

Figura 20

Estación UGS-08. Afloramiento de muy mala calidad de monzogranito del Granito de Pescadero.



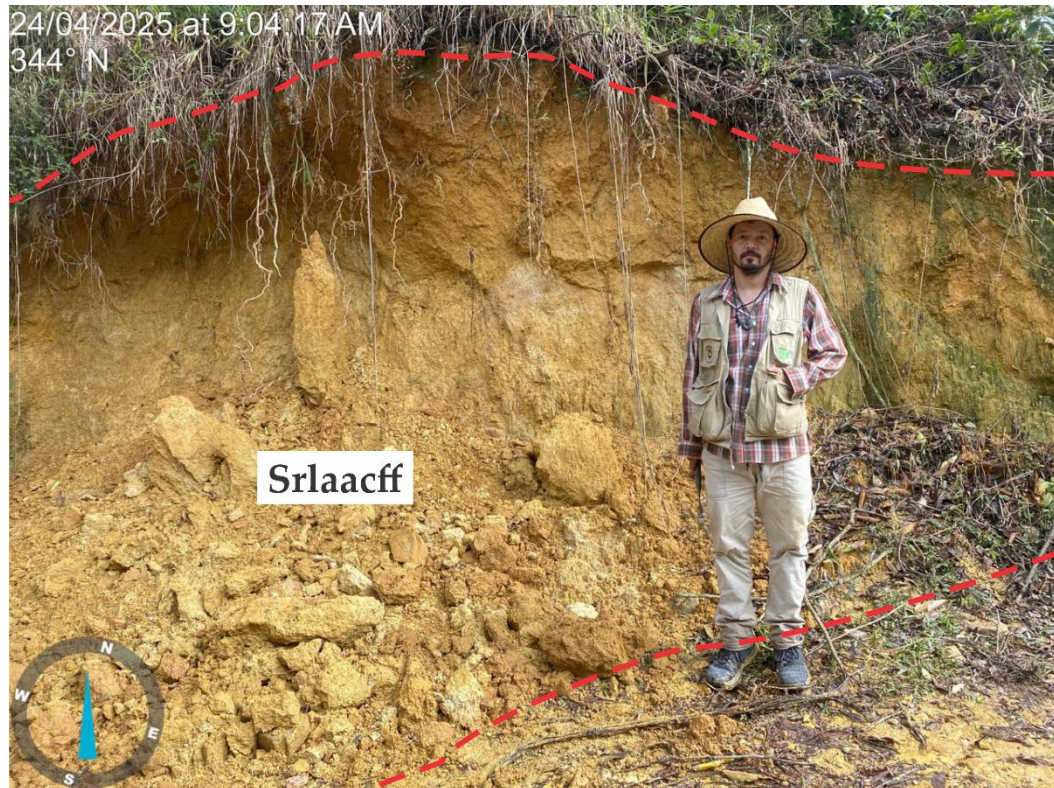
Nota: Vía que conecta al municipio San Joaquín a Mogotes.

17. Suelo residual limo-arenoso de cuarcitas de la Formación Floresta (SrIaacf)

Es un tipo de suelo que se originó a través de la meteorización física, mediante procesos de fragmentación, y química, como la oxidación de minerales ferromagnesianos y la disolución parcial de feldespatos. Su textura es limo-arenosa, presentando una consistencia que varía de blanda a muy blanda y un comportamiento plástico cuando está húmedo. La estructura es de tipo matriz soportada, compuesta por un 85% de matriz y un 15% de clastos. La matriz está formada por una mezcla de arena y limo, mostrando una permeabilidad que va de media a alta, así como una humedad natural; los clastos son fragmentos de cuarzo que presentan formas subangulares, con un tamaño que varía de esfera a subesfera, con diámetros correspondientes al limo (0,075 mm) y a la fina arena (0,125–0,25 mm). El color de este suelo es 10YR 6/4, de acuerdo con la tabla de Munsell (2009), lo que indica que se trata de un material oxidado. Esta unidad se localiza en el flanco este del municipio de San Joaquín, en dirección hacia la cuenca del río Panamá, abarcando una superficie aproximada de 177.56 hectáreas.

Figura 21

Estación UGS-22. Afloramiento de suelo residual limo-arenoso de cuarcitas de la Formación Floresta.



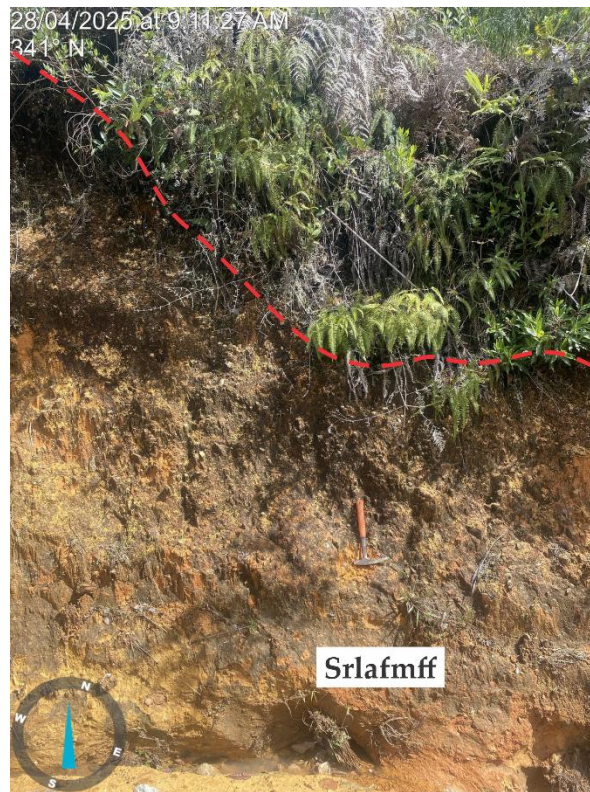
18. Suelo residual limo-arenoso de filitas y metareniscas de la Formación Floresta (Srllaacff)

Este suelo se forma a través de procesos de meteorización física (fragmentación y exfoliación) y química (hilización de feldespato y alteración de mica). Presenta una textura limo-arenosa con un comportamiento plástico. Su estructura es de matriz soportada (90% matriz y 10% clastos), donde la matriz tiene un aspecto limo-arcilloso con humedad natural y permeabilidad media. Los clastos son fragmentos de filita y cuarzo, subangulares, de tamaño limo (0.075 mm) y arena fina. Su color habitual es 2.5YR 5/6 ([Munsell Color Company, 2009](#)), con tonalidades rojizas que se

relacionan con la oxidación del hierro. Esta unidad se localiza en el sector norte del municipio, en la vereda Panamá, con un área total de aproximadamente 2.76 ha.

Figura 22

Estación UGS-58. Afloramiento de suelo residual limo-arenoso de filitas y metareniscas de la Formación Floresta.



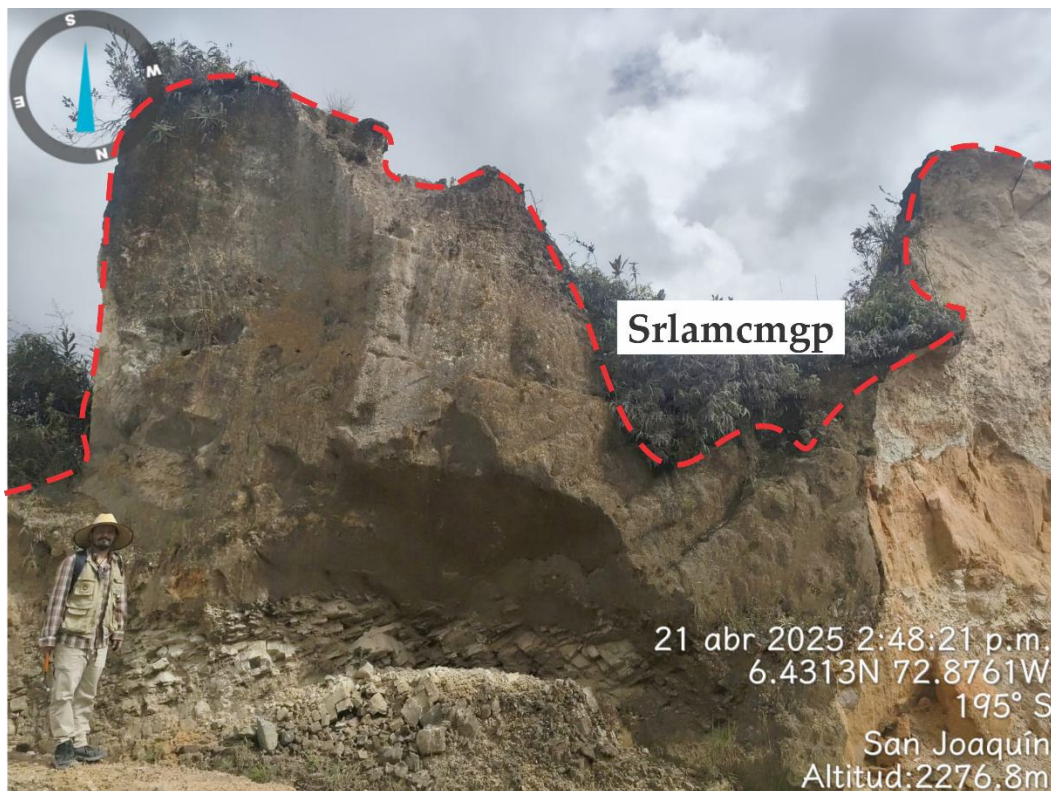
19. Suelo residual limo-arenoso de monzogranito del Granito de Pescadero (Srlamcmgp)

Se origina por la alteración in situ del monzogranito, mediante procesos de meteorización física (descomposición granular) y química (caolinización de feldespatos y oxidación de biotita). La estructura de la matriz es soportada (80% matriz y 20% clastos), donde la matriz está compuesta por arcillas caoliníticas con humedad natural y una permeabilidad que varía de media a alta. Los

clastos son granos de cuarzo que van de subangulares a subredondeados, esféricos, con un tamaño de arena fina (0,125–0,25 mm). Su color es 7.5YR 7/6 (Munsell Color Company, 2009), mostrando tonos amarillentos característicos de feldespatos alterados. Esta unidad se localiza en la cara suro-oriental del municipio, en la vereda Panamá, abarcando una superficie aproximada de 25.61 ha.

Figura 23

Estación UGS-07. Afloramiento de suelo residual limo-arenoso de monzogranito de Granito de Pescadero.



20. Suelo residual limo-arenoso de esquistos de Esquistos del Chicamocha (Srlaeec)

Se trata de un suelo que resulta de la meteorización física (descomposición en planos de foliación) y química (formación de minerales arcillosos a partir de la alteración de micas). Su

textura es limo-arenosa, con una consistencia que varía de blanda a muy blanda y una plasticidad que se sitúa entre baja y media. La estructura del suelo es matriz soportada (85% matriz y 15% clastos), presentando una matriz limo-arcillosa húmeda y una permeabilidad que oscila entre baja y media. Los clastos son fragmentos planos de esquisto, de forma subangular y de tamaño limo-arenoso. El color predominante es 10YR 4/4 ([Munsell Color Company, 2009](#)), un pardo oscuro. Esta unidad se localiza en el flanco suroccidental del municipio, en la cuenca de la Quebrada El León, abarcando un área aproximada de 161 hectáreas.

Figura 24

Estación UGS-56. Afloramiento de suelo residual limo-arenoso de esquistos de Esquistos del Chicamocha.

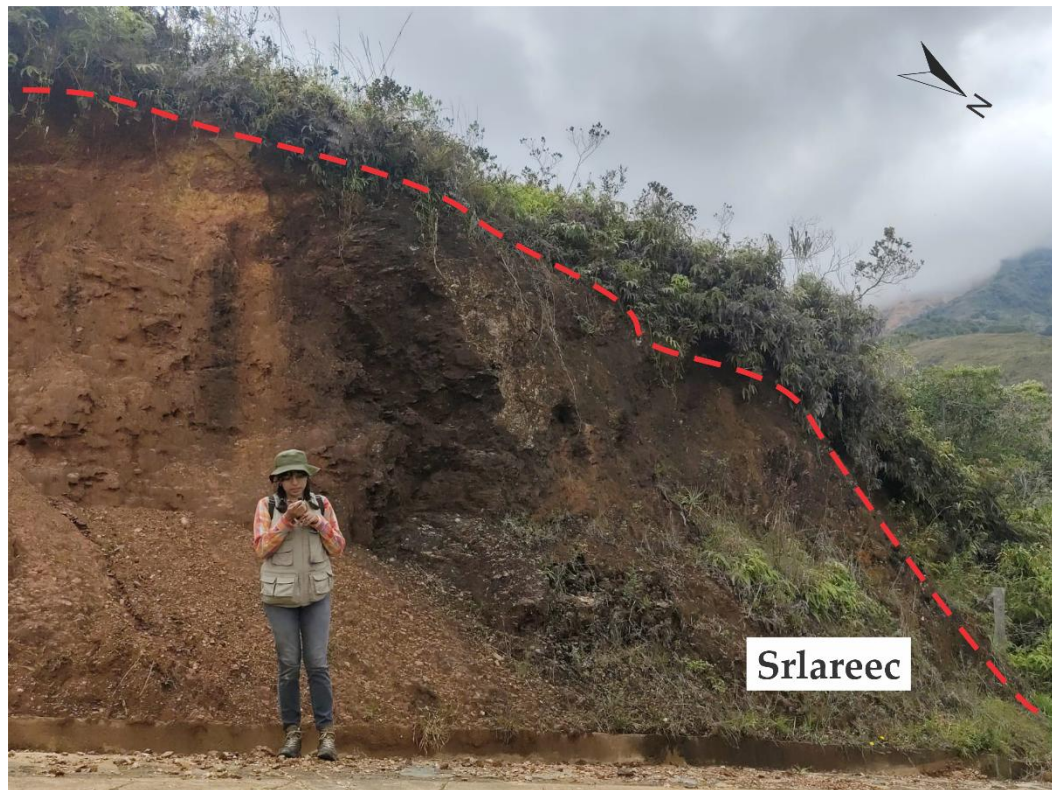


21. Suelo residual limo-arcilloso de esquistos de esquistos del Chicamocha (Srlareec)

Se trata de un suelo que resulta de la meteorización física (descomposición en planos de foliación) y química (formación de minerales arcillosos a partir de la alteración de micas). Su textura es limo-arenosa, con una consistencia que varía de blanda a muy blanda y una plasticidad que se sitúa entre baja y media. La estructura del suelo es matriz soportada (85% matriz y 15% clastos), presentando una matriz limo-arcillosa húmeda y una permeabilidad que oscila entre baja y media. Los clastos son fragmentos planos de esquisto, de forma subangular y de tamaño limo-arenoso. El color predominante es 10YR 4/4 ([Munsell Color Company, 2009](#)), un pardo oscuro con matices que recuerdan a óxidos de hierro y materia orgánica. Esta unidad se localiza en el flanco suroccidental del municipio, en la cuenca del río León, abarcando un área aproximada de 3.2 hectáreas.

Figura 25

Estación UGS-26. Afloramiento de suelo residual limo-arcilloso de esquistos de Esquistos del Chicamocha.

**22. Suelo transportado aluvial (Sta)**

Corresponden a depósitos aluviales de las quebradas Panamá y El León y de sus cursos relevantes, los cuales se encuentran situados en las zonas bajas del municipio, específicamente en las planicies y llanuras de inundación. Estos depósitos están compuestos por gravas, cantos y bloques que varían de subredondeados a redondeados, con una composición diversa que incluye rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, las cuales han sido transportadas y depositadas por la dinámica fluvial. La matriz de estos depósitos presenta un color amarillento gris (10YR 6/4 según

Munsell (2009)), lo que indica que está formada principalmente por arena gruesa, que es medianamente compacta y suelta, con intercalaciones de limos. Su humedad natural es variable y su permeabilidad es alta, lo que favorece la infiltración. Esta unidad abarca aproximadamente 130 hectáreas, localizadas en las planicies aluviales de la cuenca baja del río San Joaquín.

Figura 26

Estación UGS-01. Afloramiento de suelo transportado aluvial de la Quebrada Panamá.



23. Suelo transportado coluvial (Stc)

Son suelos formados por procesos de movimientos en masa, que se desplazan hacia laderas y presentan variaciones en la pendiente de la zona de estudio. Los depósitos coluviales que se encuentran son clasto-soportados (10% matriz y 90% clastos) y matriz-soportados (90% matriz y 10% clastos), con texturas que varían entre arenosas y limo-arcillosas. La composición de los clastos está constituida por fragmentos de cuarcitas, esquistos y filitas, siendo 5Y 7/4 y 7.5R 6/3 los

colores predominantes según la carta de colores Munsell (2009). Los depósitos son húmedos y presentan una permeabilidad moderada, con clastos esféricos que son redondeados a sub-redondeados, y un grado de meteorización descolorida. El tamaño de grano varía desde arcillas (<0.002 mm) hasta canto (75–300 mm), con plasticidad baja a moderada. Se localizan principalmente en los pies de ladera del valle del río Panamá y en los taludes circundantes adyacentes a la red de drenaje, abarcando un área total estimada de aproximadamente 14.31 ha.

Figura 27

Estación UGS-13. Suelo transportado coluvial antiguo en la vía de la vereda Panamá.

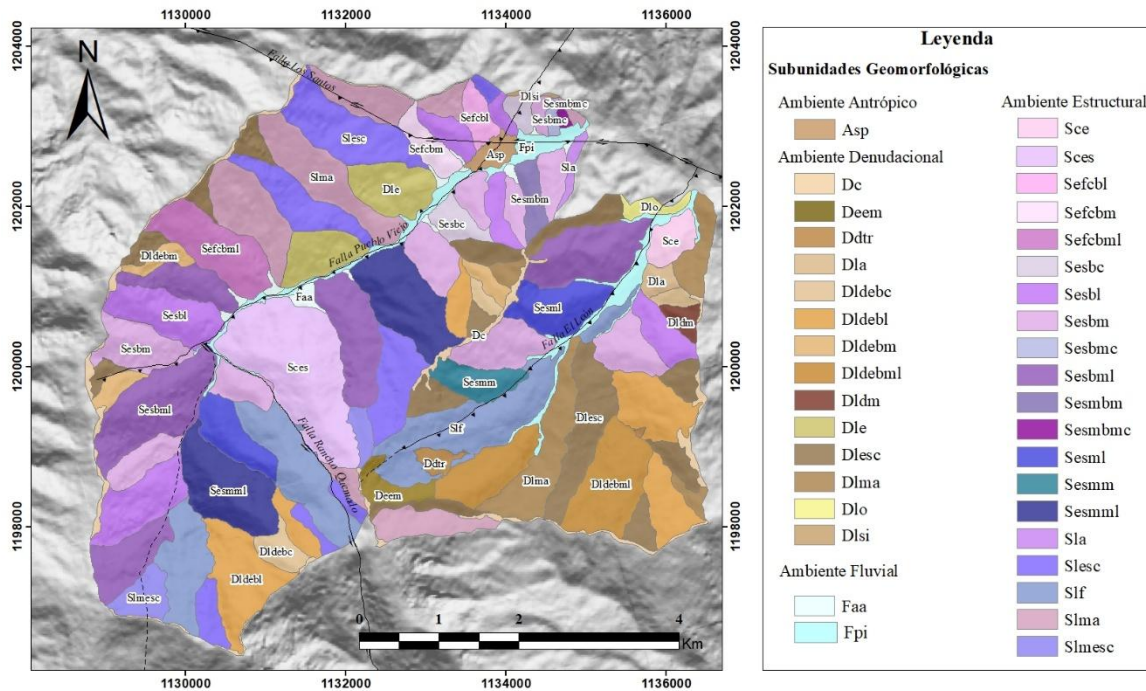


24. Suelo antrópico (Sa)

Se refiere a los depósitos artificiales de relleno urbano y procesos de nivelación creados en áreas urbanas e infraestructurales. Este material es heterogéneo y está compuesto por agregados de mezclas de limo, arcillas, arenas, fragmentos de roca y, en parte, restos de construcción. Sus texturas son variables, desde limo-arenosas hasta limo-arcillosas, con plasticidad baja a moderada y una consistencia blanda debido a la falta de compactación natural. La matriz es comúnmente arcillosa o limosa, con humedad natural y heterogeneidad en la permeabilidad, dependiendo de la proporción de clastos. Los clastos presentan formas subangulosas a angulosas, con tamaños que varían desde arena gruesa (0.5–2 mm). Los colores más frecuentes oscilan entre 10YR 5/3 y 10YR 4/3 ([Munsell Color Company, 2009](#)), lo que representa la mezcla de materiales de diferentes orígenes. Estos depósitos aparecen en forma puntual en el área urbana del municipio de San Joaquín, asociados con el relleno antrópico de caminos y sectores de expansión urbana, con un área estimada de 20 ha.

D. Descripción Subunidades geomorfológicas (SGMF)

Las subunidades geomorfológicas (SGMF) constituyen subdivisiones específicas de las unidades geomorfológicas, se definen por contrastes morfológicos y morfométricos, considerando el material del terreno, su disposición estructural y los procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación ([Carvajal, 2008](#)). Estas subdivisiones permiten identificar sectores homogéneos del territorio con comportamientos morfogenéticos similares, facilitando análisis territoriales detallados mediante cartografía a escala 1:25.000 (Figura 28).

Figura 28*Mapa de subunidades geomorfológicas (SGMF).*

El análisis estadístico de las subunidades geomorfológicas en el área de estudio revela una distribución heterogénea, reflejo de la complejidad del paisaje montañoso de la región (Tabla 1). El ambiente estructural predomina en el territorio, abarcando 26.68 km² que equivalen al 66.87% del área total estudiada, caracterizándose por geoformas de gran tamaño como Espolones o Lomos de falla. Las subunidades denudacionales ocupan 11.73 km², correspondiente al 29.41% del área, representadas principalmente por laderas controladas por procesos activos de meteorización y erosión.

Tabla 1.

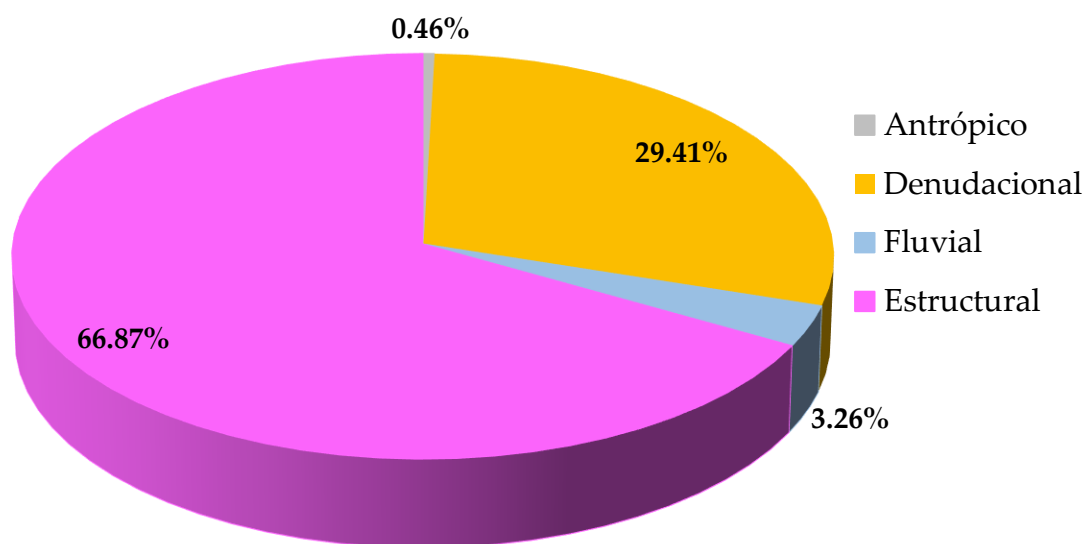
Área ocupada por cada uno de los ambientes morfogenéticos presentes.

AMBIENTE	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
antrópico	0.18	0.46%
Denudacional	11.73	29.41%
Fluvial	1.30	3.26%
Estructural	26.68	66.87%
Total	39.90	100.00%

Las geoformas fluviales presentes comprenden 1.3 km² equivalente al 3.26% del área total, incluyendo abanicos aluviales y la llanura de inundación asociada a las quebradas Panamá y El León, se tiene en cuenta la influencia antrópica en el área de estudio, representando la menor extensión con 0.18 km² (0.46%), este corresponde a la superficie de explanación en el casco urbano del municipio de San Joaquín.

Figura 29

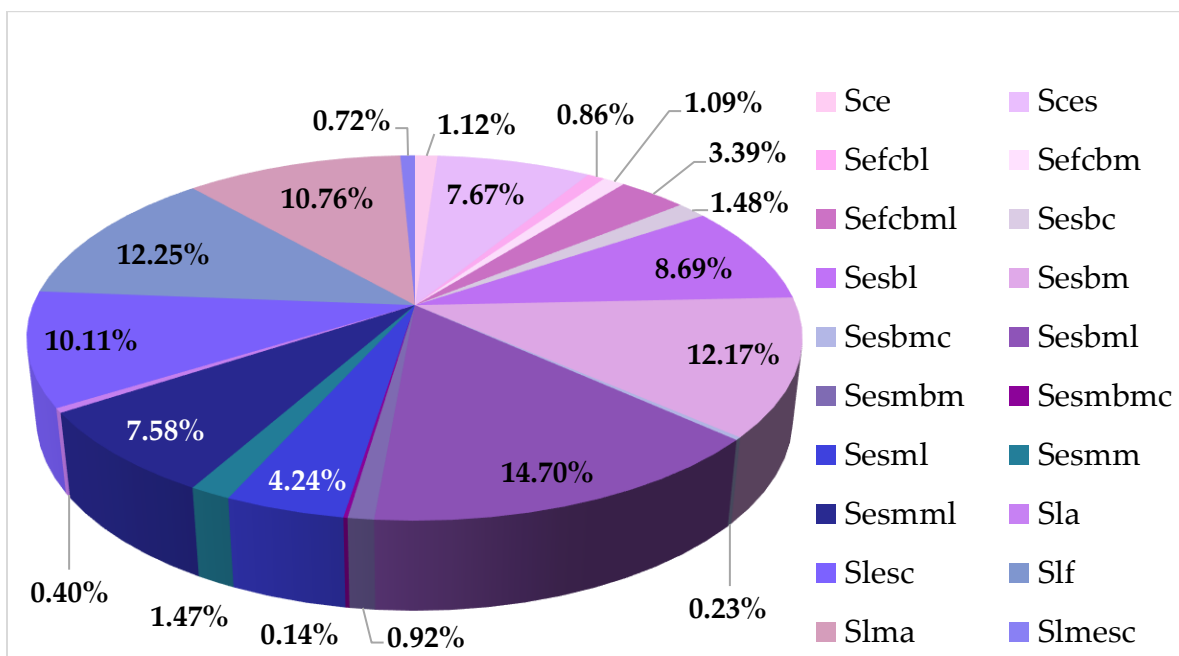
Distribución porcentual del área según ambientes morfogenéticos.



1. Ambiente Estructural

Comprende aquellas formas del terreno resultado de la dinámica interna de la tierra, la cual provoca que las rocas se plieguen y fracturen. La manera en que estas estructuras se manifiestan en la superficie depende directamente de dos factores: la orientación estructural que presentan y la resistencia de las rocas que las componen (SGC, 2014). El área de estudio se encuentra influenciada por diversas fallas geológicas, responsables de la formación de espolones, lomos de falla, cerros y colinas.

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente estructural.



Distribución del área total de las subunidades del ambiente estructural.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (km²)	PORCENTAJE
Sce	Cerro estructural	0.29	1.12%

Sces	Colina estructural	2.02	7.67%
Sefcbl	Espolón faceteado bajo de longitud larga	0.22	0.86%
Sefcbm	Espolón faceteado bajo de longitud media	0.28	1.09%
Sefcbml	Espolón faceteado bajo de longitud muy larga	0.89	3.39%
Sesbc	Espolón bajo de longitud corta	0.38	1.48%
Sesbl	Espolón bajo de longitud larga	2.29	8.69%
Sesbm	Espolón bajo de longitud media	3.20	12.17%
Sesbmc	Espolón bajo de longitud muy corta	0.06	0.23%
Sesbml	Espolón bajo de longitud muy larga	3.87	14.70%
Sesmbm	Espolón muy bajo de longitud media	0.24	0.92%
Sesmbmc	Espolón muy bajo de longitud muy corta	0.03	0.14%
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	1.11	4.24%
Sesmm	Espolón moderado de longitud media	0.38	1.47%
Sesmml	Espolón moderado de longitud muy larga	1.99	7.58%
Sla	Ladera abrupta	0.10	0.40%
Slesc	Ladera escarpada	2.66	10.11%
Slf	Lomo de falla	3.23	12.25%
Slma	Ladera muy abrupta	2.83	10.76%
Slmesc	Ladera muy escarpada	0.189	0.72%
Total		26.36	100.00%

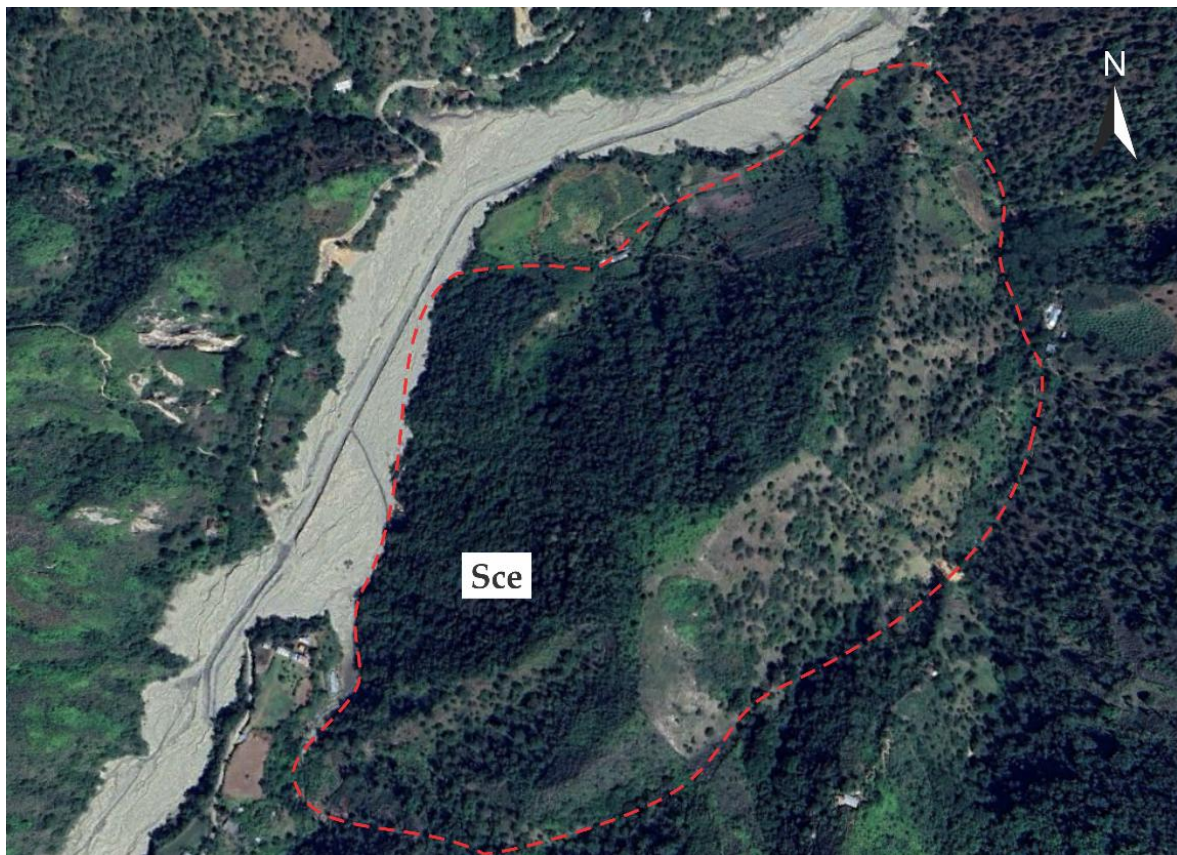
En contraste, unidades como el espolón muy bajo de longitud muy corta (Sesbmc) y el cerro estructural (Sce) se presentan en muy baja frecuencia, reflejando su escasa representación espacial. La cantidad de polígonos también varía: aunque algunas subunidades tienen gran extensión, están representadas por pocos polígonos, como es el caso del espolón bajo de longitud muy larga (Sesbml), con 1 polígono.

1.1. *Cerro estructural (Sce)*

Esta geoforma consiste en una prominencia topográfica de morfología colinada con relieve relativo moderado (100- 400 m), cuyas laderas tienen una longitud corta, pendientes muy abruptas a escarpadas y forma que varía de cóncava a irregular. La unidad se encuentra en la vereda Santa Clara sobre rocas de calidad mala de monzogranito de la unidad Granito de Pescadero. Su formación se relaciona a la dinámica de la falla El León de cinemática inversa. Su red de drenaje es subdentrítica, cuyos flujos hídricos de menor orden desembocan en el cauce principal de la cuenca. Esta geoforma ocupa el 0.74% del área total.

Figura 31

Cerro estructural (Sce).

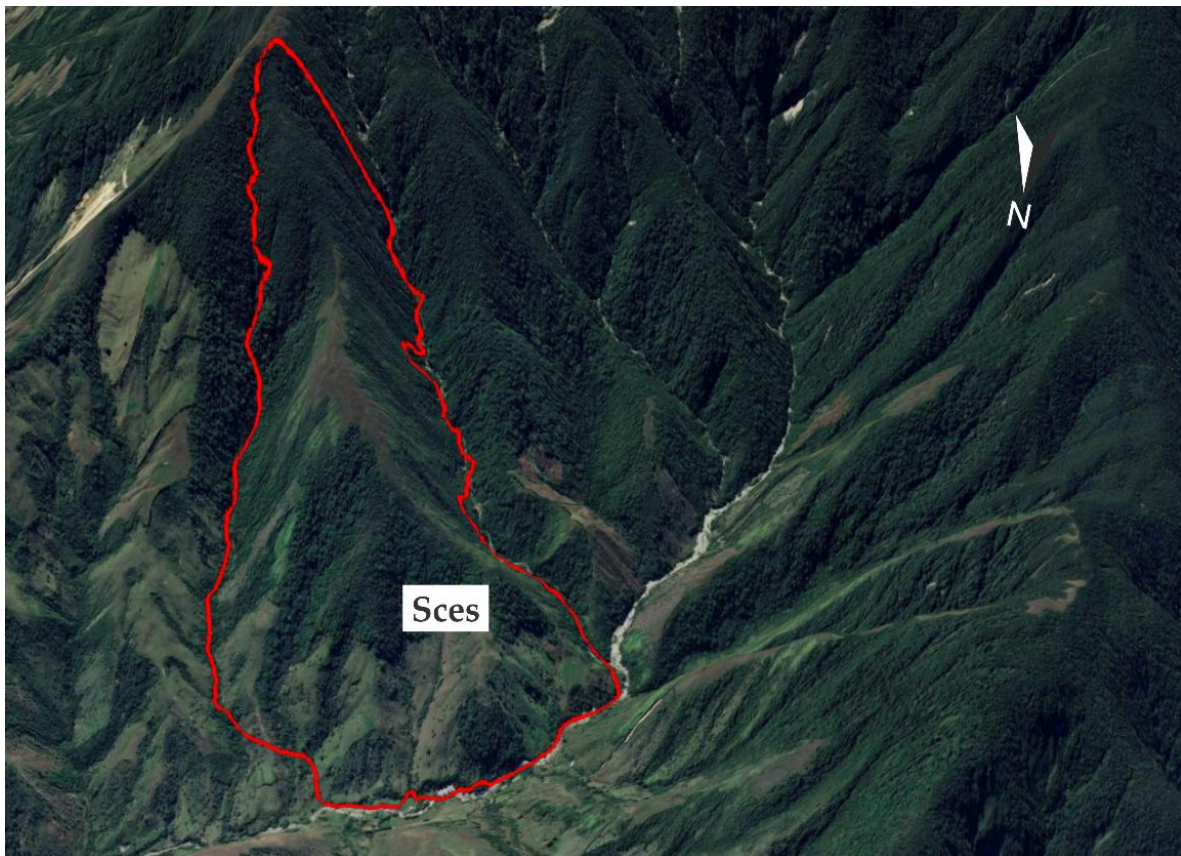


1.2. *Colina estructural (Sces)*

Se trata de aquella prominencia topográfica con una altura aproximada de 250 metros sobre su nivel de base local, que presenta una cima aguda limitada por laderas moderadamente largas de forma convexa y pendientes abruptas a escarpadas. Su formación está determinada principalmente por la acción de procesos tectónicos moderados y periodos de meteorización en rocas metamórficas de la Formación Floresta. Esta geoforma ocupa el 5.07% del área total y se encuentra en el límite entre las veredas Panamá y San Ignacio.

Figura 32

Colina estructural (Sces).



1.3. *Espolón faceteado bajo de longitud larga (Sefcbl)*

Corresponde a una saliente natural cuyo relieve relativo es menor de 100 metros y la longitud del eje principal del espolón varía entre 1000 y 1250 metros. Esta geoforma se desprende de estructuras mayores que corresponden a procesos de fallamiento y erosión diferencial sobre rocas de calidad muy mala del monzogranito del Granito de Pescadero. Es producto de fallamiento inverso y de rumbo que generan truncamientos a manera de facetas triangulares. Los espolones facetados se encuentran en los márgenes de la quebrada Panamá y su dinámica se asocia a la falla Pueblo Viejo que tiene componente inverso. Abarca el 0.57% del área total de estudio.

Figura 33

Espolón facetado bajo de longitud larga (Sefcbl).

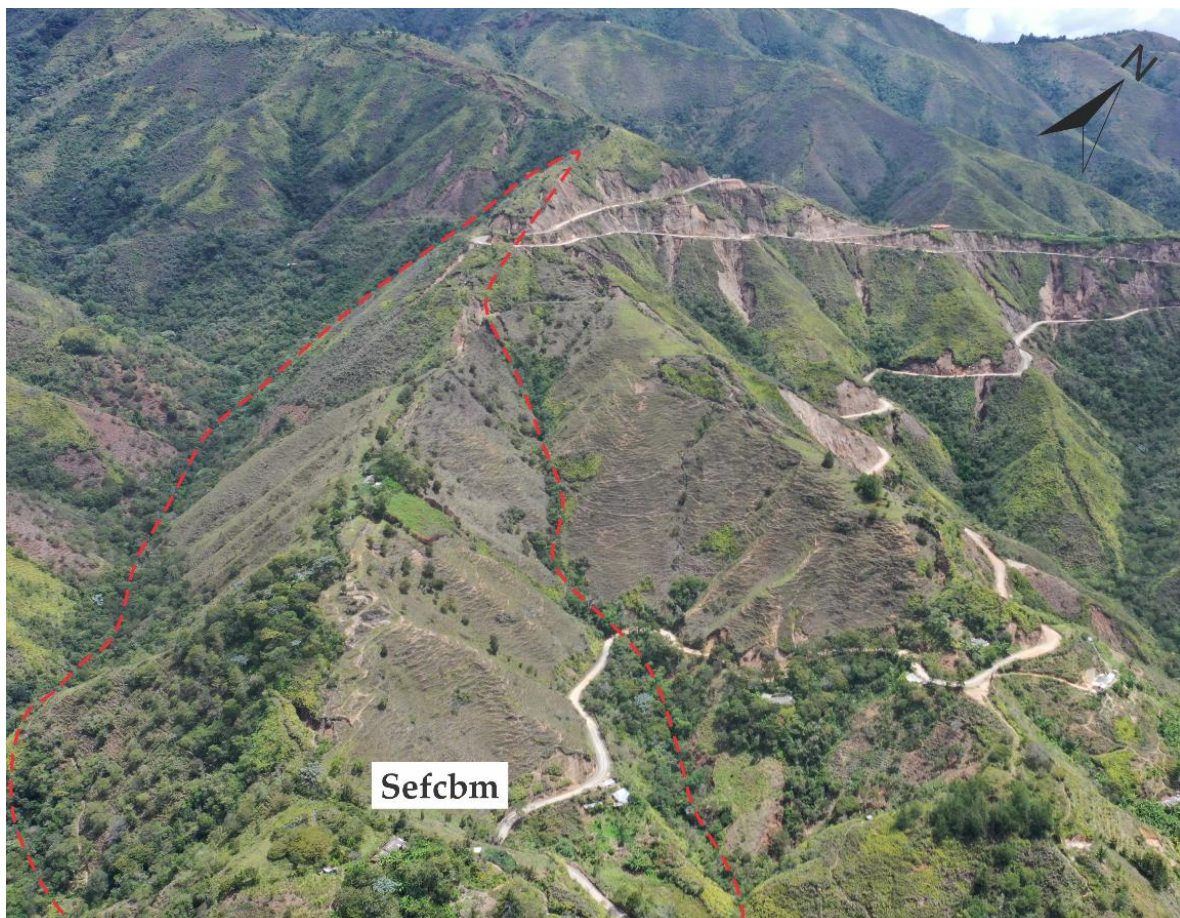


1.4. *Espelón facetado bajo de longitud media (Sefcbm)*

Se trata de una prominencia natural del terreno cuya diferencia de altura puede variar entre 50 y 100 metros, con una extensión longitudinal en su eje principal comprendida entre 500 y 1000 metros. Su desarrollo está ligado a la actividad tectónica, específicamente a fallas y procesos de erosión diferencial que actúan sobre rocas de mala y muy mala calidad de filitas de la Formación Floresta, y sobre roca de mala calidad y suelo residual limo-arenoso de monzogranito del Granito de Pescadero. La formación de esta geoforma se debe a la dinámica de sistemas de fallas inversas y de rumbo que generan cortes abruptos con morfología de facetas triangulares. Esta unidad ocupa el 0.72% del área total y se encuentra ubicado en la vereda Panamá en las afueras del casco urbano.

Figura 34

Espolón faceteado bajo de longitud media (Sefcbm).

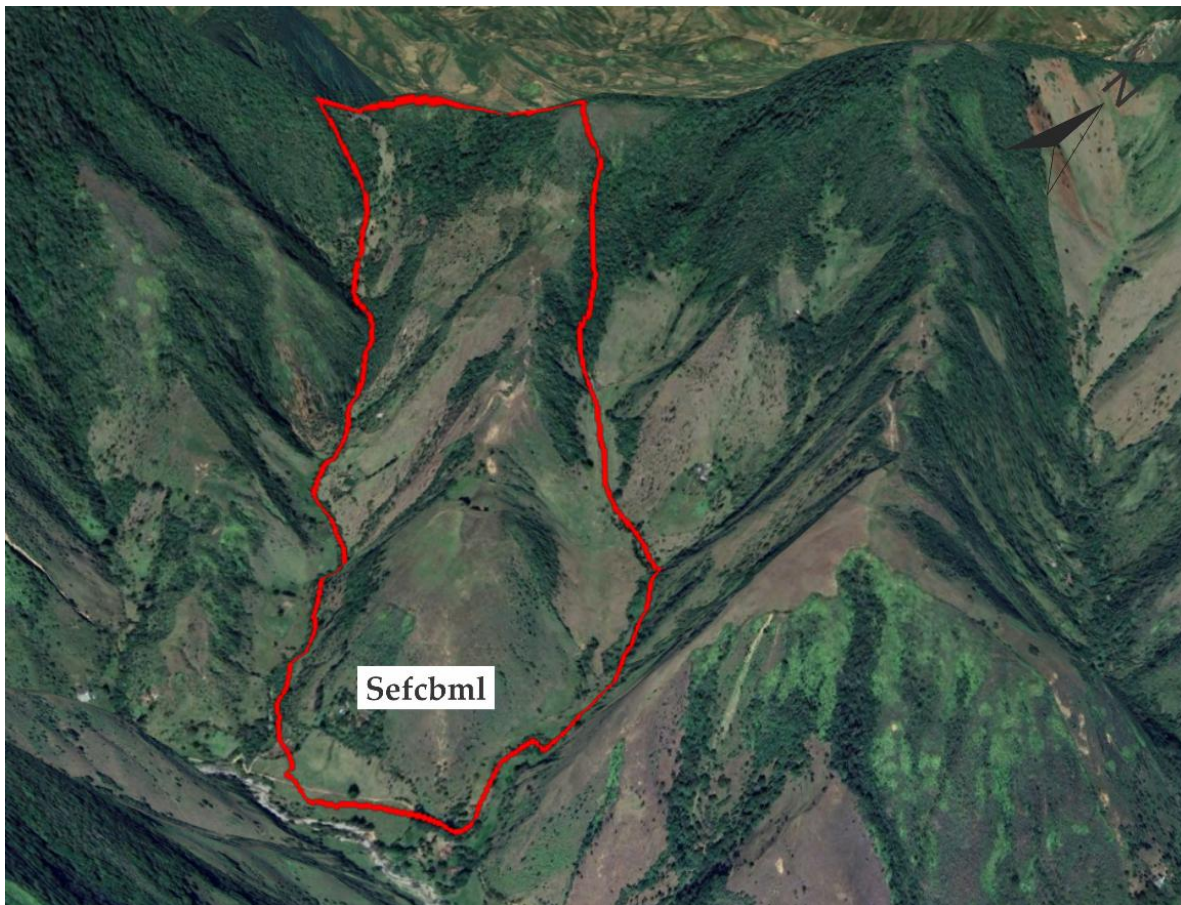


1.5. *Espolón faceteado bajo de longitud muy larga (Sefcbml)*

Representa una elevación del relieve que se caracteriza porque la longitud de su eje principal es mayor a 1250 metros y su altura no supera los 100 metros. Su origen está asociado al comportamiento de la falla Pueblo Viejo que produce truncamientos en configuración de facetas triangulares. Esta geoforma se encuentra en la vereda Panamá, constituyendo el 2.24% del área total evaluada.

Figura 35

Espolón faceteado bajo de longitud muy larga (Sefcbml).



1.6. *Espolón bajo de longitud corta (Sesbc)*

Prominencia con configuración ondulada que se encuentra de forma perpendicular con respecto a la falla predominante del área, falla Pueblo Viejo. El rasgo distintivo de esta geoforma consiste en que su diferencia de altura se encuentra en un rango de 50 a 100 metros y la longitud de su eje mayor varía de 250 a 500 metros.

Conformada sobre roca calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero y suelo residual limo-arenoso de esquistos de esquistos del Chicamocha, se delimita por sistemas de drenaje subparalelos. Presenta laderas cortas con pendientes abruptas a muy abruptas que se han modelado debido a procesos denudativos intensos. Esta geoforma abarca el 0.98% del área y se puede encontrar en las veredas San Ignacio y Santa Barbara.

Figura 36

Espolón bajo de longitud corta (Sesbc).



1.7. Espolón bajo de longitud larga (Sesbl)

Esta unidad se caracteriza por un relieve relativo entre 50 y 100 metros y una longitud en el eje principal en el rango de 1000 a 1250 metros. Corresponde a una saliente de forma alomada orientada perpendicularmente con respecto a la falla principal, desarrollada sobre rocas de distinta calidad ígneas del Granito de Pescadero y metamórficas de las formaciones Floresta y Silgará. Sus laderas exhiben longitudes variables con pendientes que transicionan de abruptas a inclinadas, encontrándose limitada por una red de drenajes subparalela. Se encuentra distribuida uniformemente en toda el área de estudio, con unidades en las veredas Panamá, Santa Barbara, San Ignacio y Santa Clara, por lo que su génesis está asociada a la dinámica de las dos fallas principales de las cuencas; falla Pueblo Viejo y El León. La geoforma comprende el 5.74% del área total de estudio.

Figura 37

Espolón bajo de longitud larga (Sesbl).



1.8. *Espolón bajo de longitud media (Sesbm)*

Se trata de aquella saliente de morfología ondulante que se dispone perpendicularmente a la tendencia de la falla principal. Los procesos denudativos han modificado sus laderas, las cuales presentan variación en sus longitudes con pendientes desde inclinadas hasta muy abruptas. Limitada por sistemas de drenaje subparalelos, esta geoforma se distingue particularmente por presentar un relieve relativo que varía entre 50 y 100 metros y una extensión del eje principal entre 500 y 1000 metros. Esta unidad ocupa el 8.04% de toda el área de estudio y se puede encontrar en las veredas Panamá, Santa Barbara, San Ignacio y Santa Clara.

Figura 38

Espolón bajo de longitud larga (Sesbl).



1.9. Espolón bajo de longitud muy corta (Sesbmc)

Elevación alomada que se orienta perpendicularmente a la falla dominante del área y que se encuentra delimitada por drenajes con configuración paralela a subparalela. Está conformada sobre rocas de calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero. Lo que particulariza esta unidad es que su diferencia de altura se encuentra en el rango de 50 a 100 metros y la longitud de su eje mayor no supera los 250 metros. Se encuentra ubicada en la vereda Santa Barbara y su porcentaje de área es del 0.16%.

Figura 39

Espolón bajo de longitud muy corta (Sesbmc).

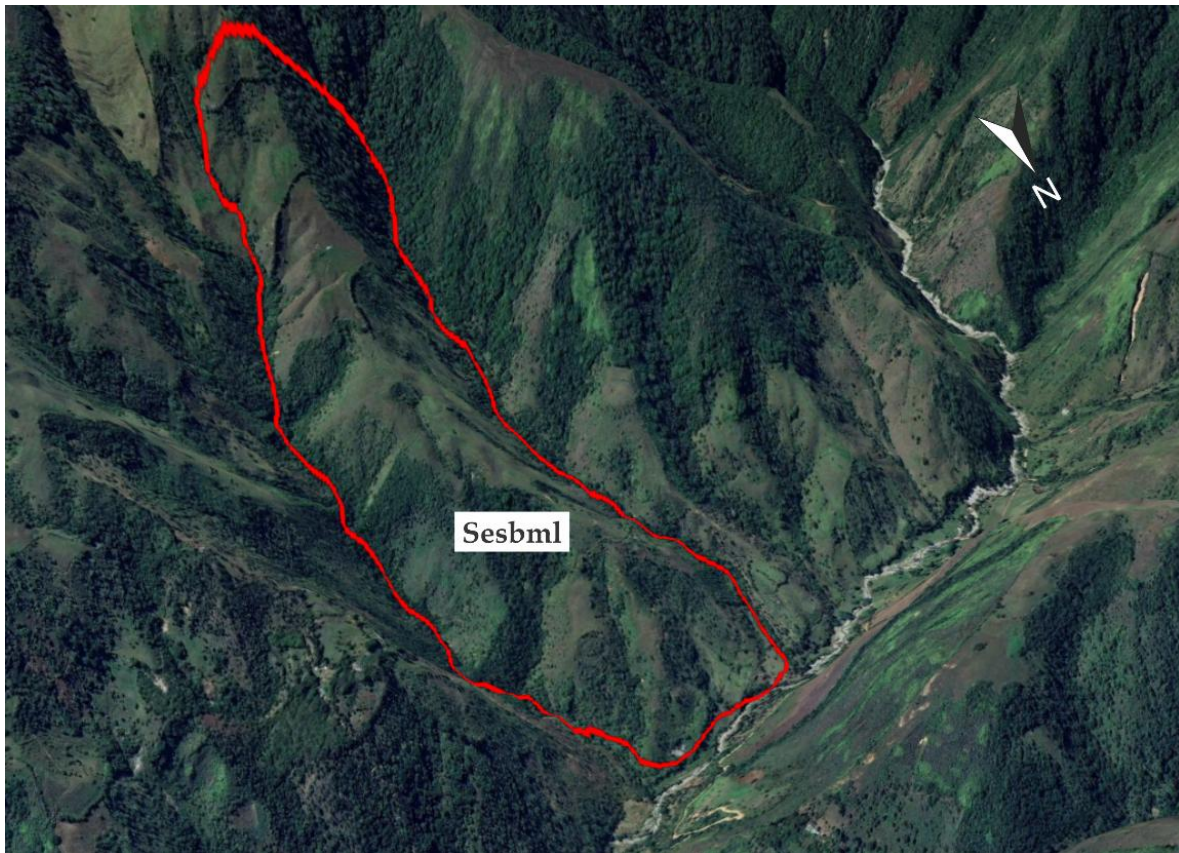


1.10. *Espolón bajo de longitud muy larga (Sesbml)*

Saliente topográfica de configuración ondulada la cual se caracteriza por un relieve relativo entre 50 y 100 metros y una longitud de su eje principal que supera los 1250 metros. Se encuentra dispuesta de manera perpendicular a la falla principal. Esta geoforma se desarrolla sobre rocas de origen ígneo y metamórfico, sus laderas se presentan con pendientes que van de muy abruptas a inclinadas. Abarca el 9.71% del total del área estudiada y se localiza en las veredas Panamá, San Ignacio y Santa clara.

Figura 40

Espolón bajo de longitud muy larga (Sesbml).

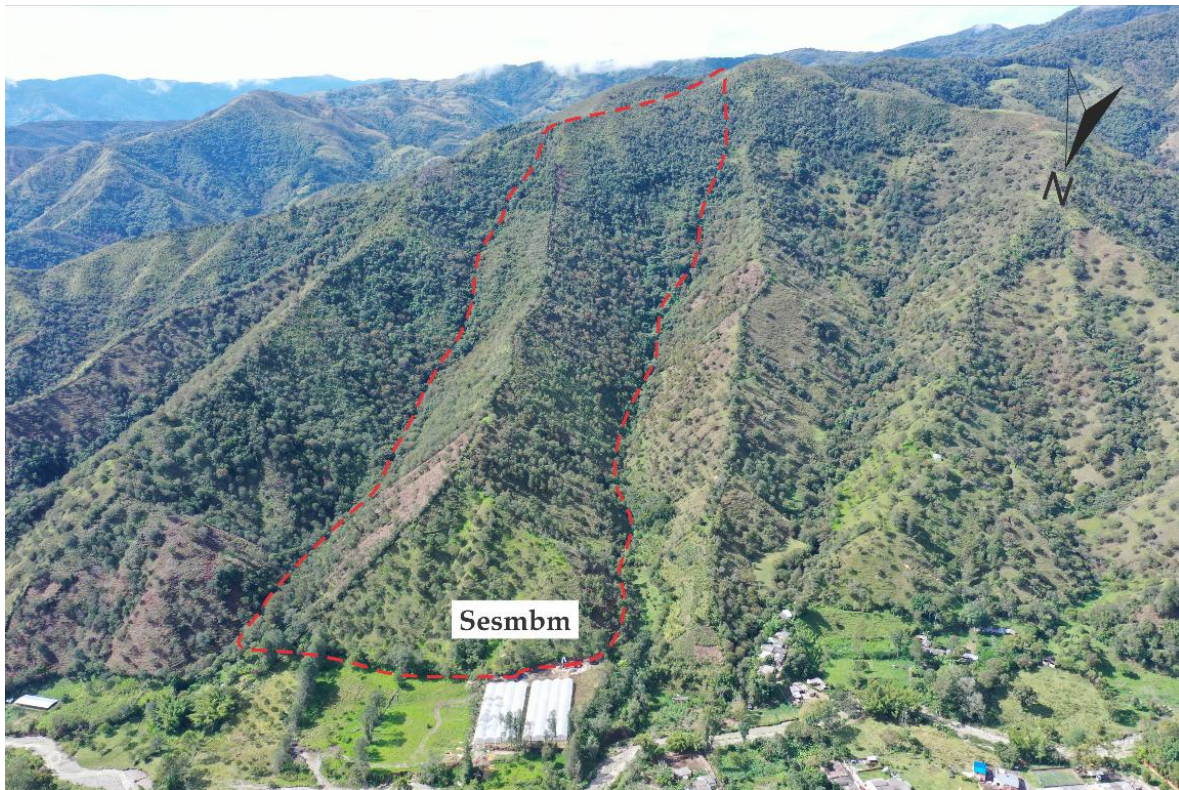


1.11. *Espolón muy bajo de longitud media (Sesmbm)*

Corresponde a una prominencia de forma alomada que se desarrolla sobre rocas de calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero, orientándose de manera perpendicular a la falla Pueblo Viejo. Sus laderas muestran pendientes que varían entre inclinada y muy abrupta, conformadas como resultado de procesos denudativos. El atributo característico de esta morfología es que presenta un relieve relativo menor a 50 metros y su eje principal posee una extensión que varía desde 500 a 1000 metros. Se encuentra localizado en la vereda Santa Barbara y ocupa el 0.61% de la superficie estudiada.

Figura 41

Espolón muy bajo de longitud media (Sesmbm) localizado en la vereda San Ignacio.



1.12. *Espolón muy bajo de longitud muy corta (Sesmbmc)*

Esta geoforma se caracteriza por tener un relieve relativo menor de 50 metros y una dimensión en su eje longitudinal principal inferior a 250 metros. Constituye una elevación ondulante que se extiende perpendicularmente a la línea de la falla principal del área. Se encuentra en la vereda Santa Barbara por lo que su formación se debe a la dinámica de la falla Pueblo Viejo. Abarca el 0.1% del área total. Se limita por una red de drenaje paralela a subparalela y las laderas que la componen presentan una pendiente que varía entre inclinada y abrupta.

Figura 42

Espolón muy bajo de longitud muy corta (Sesmbmc).



1.13. *Espolón moderado de longitud larga (Sesml)*

Esta geoforma consiste en una saliente alomada que se presenta de manera perpendicular respecto a la falla principal. Establecida sobre rocas ígneas del Granito de Pescadero y metamórficas de la Formación Floresta, se delimita por redes de drenaje de disposición paralela a subparalela. Los procesos denudativos han modelado sus laderas atenuando las pendientes desde muy inclinadas hasta muy abruptas. La singularidad de esta unidad reside en que su diferencia de relieve varía en un rango de 100 a 400 metros y la longitud de su eje mayor va desde los 1000 hasta los 1250 metros. Se ubica en las veredas Panamá y Santa Clara, donde ocupa el 2.80% del área total estudiada.

Figura 43

Espolón moderado de longitud larga (Sesml).



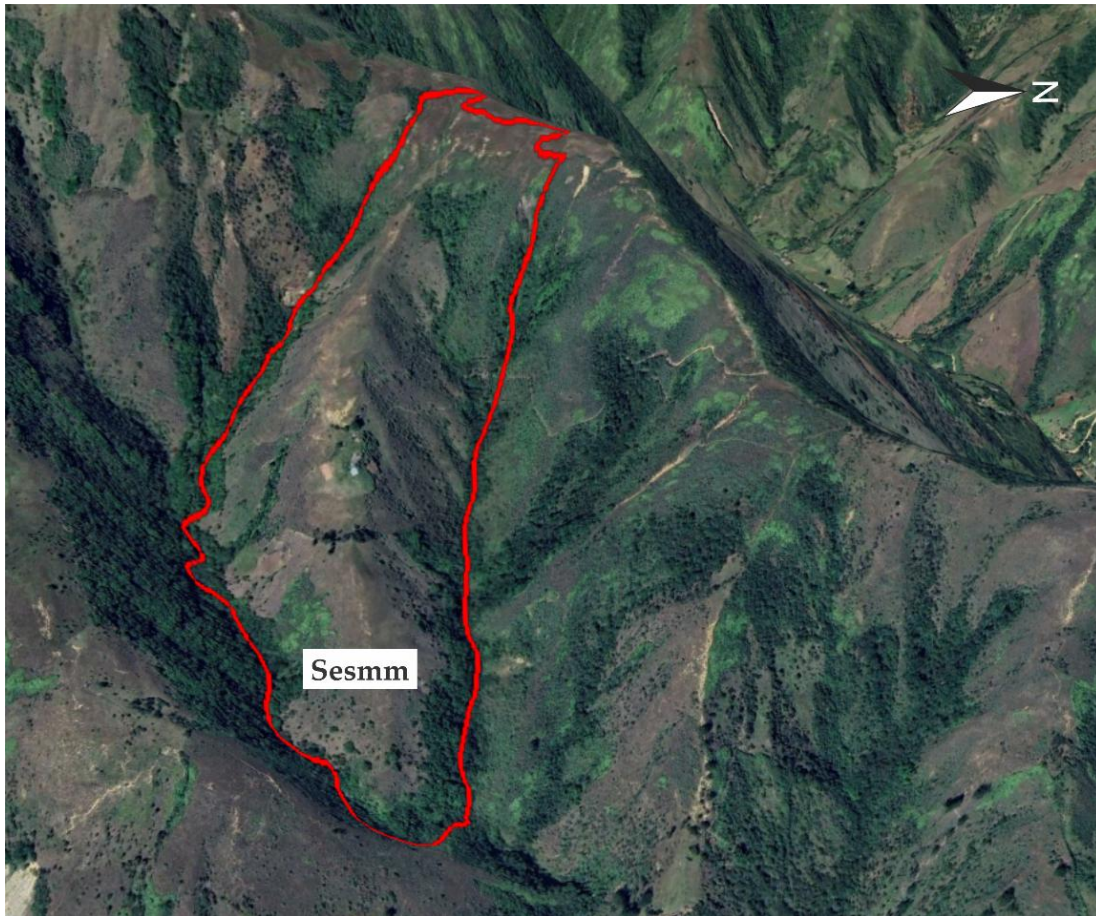
1.14. *Espolón moderado de longitud media (Sesmm)*

Proyección del terreno con morfología ondulada dispuesta en dirección perpendicular a la falla principal. Sus laderas de longitudes variadas presentan pendientes que van desde muy inclinadas a abruptas que se han modelado por la influencia de procesos denudativos. Se delimita por drenajes paralelos a subparalelos y se encuentra en la vereda Santa Clara sobre rocas de calidad mala de esquistos de Esquistos del Chicamocha. Lo que caracteriza fundamentalmente esta subunidad es que su relieve relativo varía entre 100 y 400 metros junto con una extensión de su eje

principal que va desde 500 hasta 1000 metros. Esta geoforma abarca el 0.97% de la zona estudiada y su formación se debe a la dinámica de la falla El León.

Figura 44

Espolón moderado de longitud media (Sesmm).



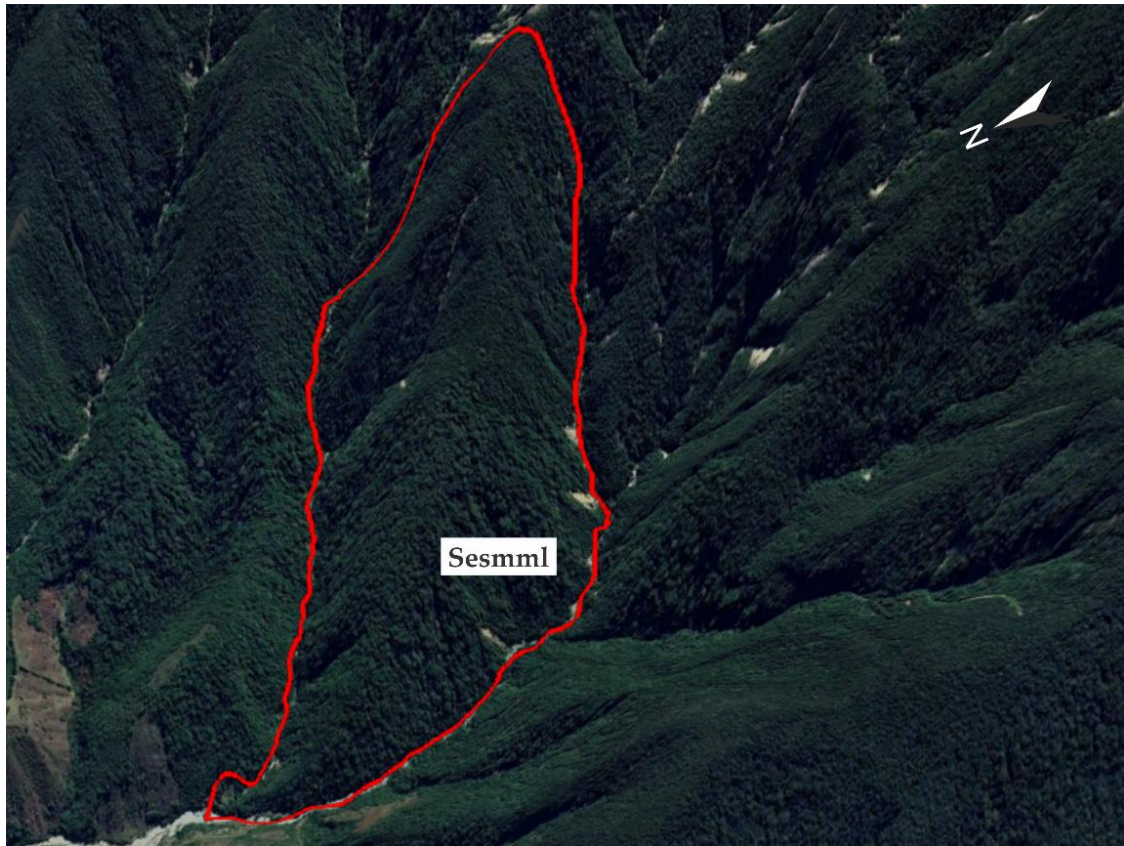
1.15. *Espolón moderado de longitud muy larga (Sesmml)*

Esta unidad morfológica se caracteriza por su configuración alomada dispuesta perpendicularmente con respecto a la falla principal. Cuenta con una altura promedio entre 100 a 400 metros y una extensión en su eje longitudinal principal que supera los 1250 metros. Esta geoforma presenta laderas de pendientes variables desde muy abruptas hasta inclinadas. Se encuentra limitada por redes de drenaje con configuración subparalela. Ocupa el 5.01% del área total y se ubica en

las veredas Panamá y San Ignacio sobre rocas metamórficas de los Esquistos del Chicamocha y la Formación Floresta.

Figura 45

Espolón moderado de longitud muy larga (Sesmml).



1.16. *Ladera abrupta (Sla)*

Consiste en un área plana con geometría rectilínea u ondulada que presenta pendientes entre 16° y 20° y puede extenderse entre 50 y 250 metros de longitud. El desarrollo de esta unidad está vinculado a la acción de los drenajes. Estas morfologías son susceptibles al desarrollo de fenómenos erosivos y movimientos en masa de tipo caída. La ladera abrupta asociada al ambiente estructural se ubica en los límites entre las veredas Santa Barbara y San Ignacio y se relaciona

directamente a la dinámica de la falla Pueblo Viejo. Abarca el 0.27% del área estudiada y se desarrolla sobre rocas de calidad muy mala de monzogranito del Granito de Pescadero.

Figura 46

Ladera abrupta (Sla).



1.17. Ladera escarpada (Slesc)

Corresponde a una superficie plana de configuración recta u ondulada con pendientes que varían entre 31° y 45° , cuya extensión longitudinal puede superar los 500 metros. Se relaciona a estructuras mayores que se ubican de manera perpendicular a la falla principal. Estas laderas se ubican en las veredas Santa Barbara, San Ignacio y Panamá, donde ocupan el 6.68% de la superficie total. En estas geoformas se pueden manifestar procesos erosivos y movimientos en masa tipo caída.

Figura 47

Ladera escarpada (Slesc).

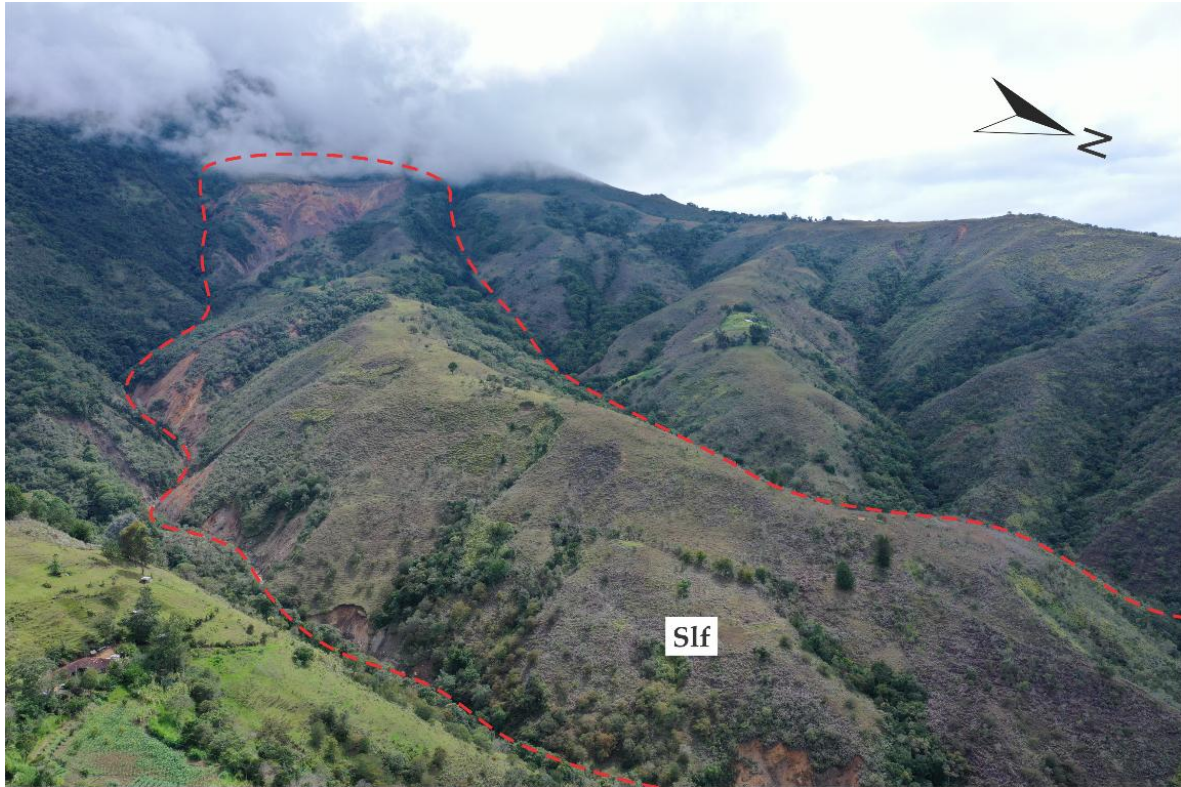


1.18. *Lomo de falla (Slf)*

Saliente topográfica de forma alomada caracterizada por laderas cortas a moderadas, morfología convexa y pendientes abruptas a escarpadas. Se ubican a lo largo de una falla y se generan por la acción combinada del movimiento de esta, que produce la expulsión de un bloque. En la zona de estudio los lomos de falla se encuentran asociados a las fallas Pueblo Viejo, El León y Rancho Quemado en las veredas Santa Clara y Panamá, donde el 8.10% corresponde a esta forma.

Figura 48

Lomo de falla (Slf) ubicado en la vereda Santa Clara.

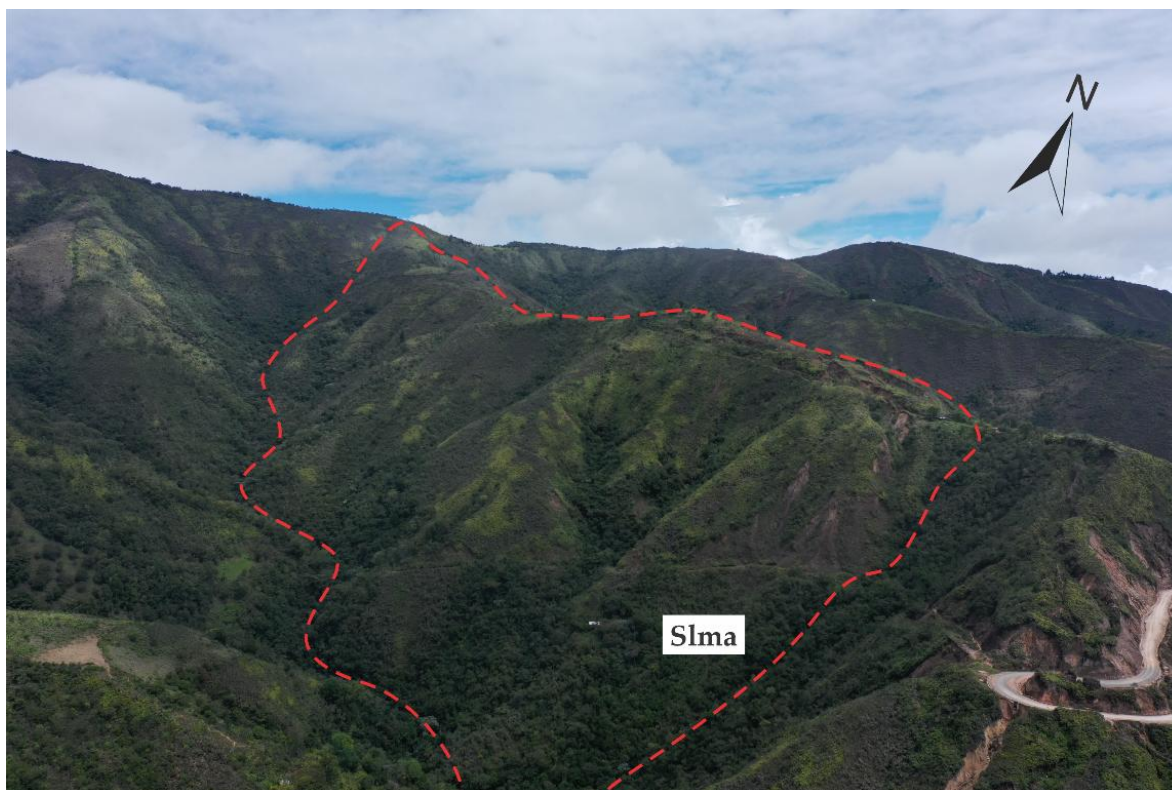


1.19. *Ladera muy abrupta (Slma)*

Esta unidad morfológica se caracteriza por ser una superficie con inclinaciones comprendidas entre 21° y 30° , de morfología rectilínea u ondulante que se desarrolla sobre rocas de distinta calidad ígneas del Granito de Pescadero y metamórficas de las formaciones Floresta y Silgará. Esta subunidad se asocia a una geoforma mayor constituyendo una de sus vertientes. Corresponde al 7.82% del área estudiada y se ubica en las veredas Panamá, Santa Clara y Santa Barbara.

Figura 49

Ladera muy abrupta (Slma).

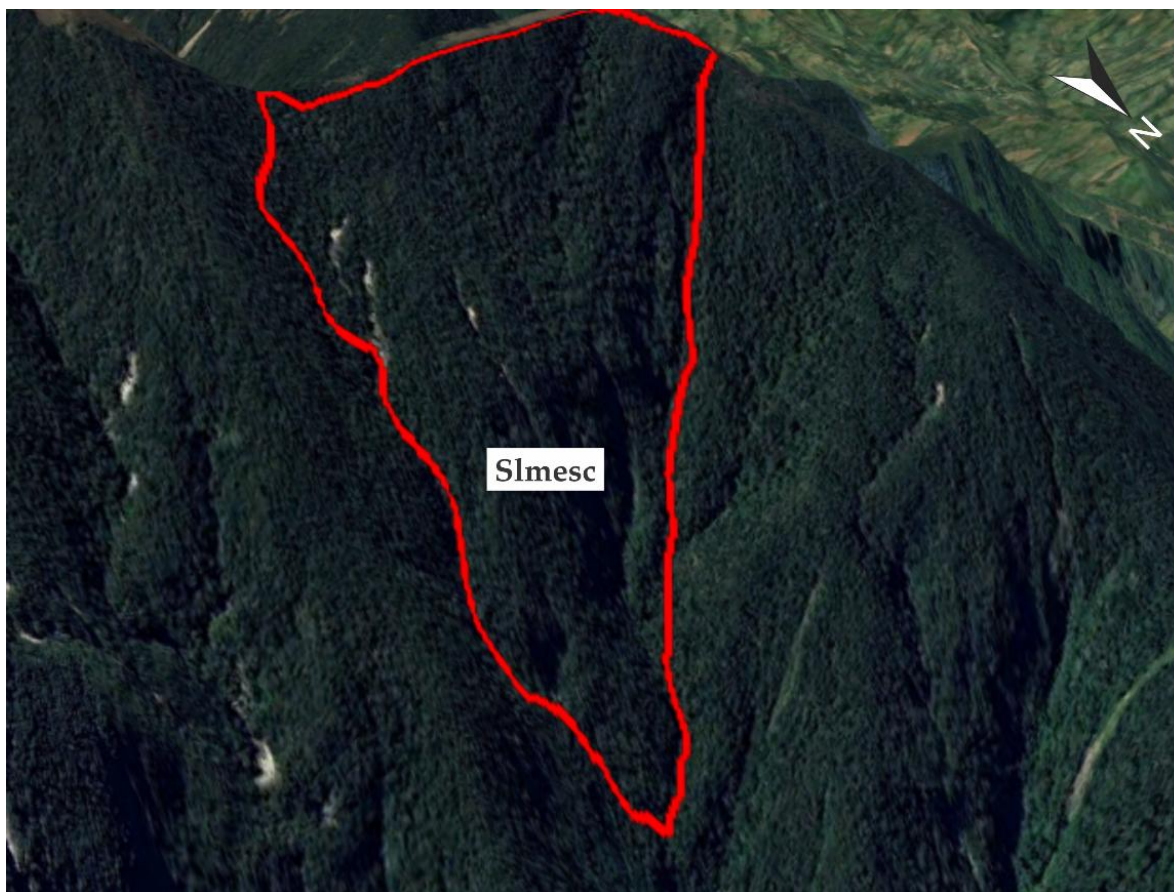


1.20. *Ladera muy escarpada (Slmesc)*

Corresponde a aquella superficie plana generada por la incisión de los sistemas de drenaje y que exhibe pendientes que superan los 45° , con morfología rectilínea u ondulada. En este tipo de geoformas existe predisposición al desarrollo de procesos erosivos así como movimientos en masa. Se ha desarrollado sobre rocas de Esquistos del Chicamocha y de la Formación Floresta, se localizan en las veredas Panamá y San Ignacio y abarcan el 0.48% del área total de estudio.

Figura 50

Ladera muy escarpada (Slmesc).

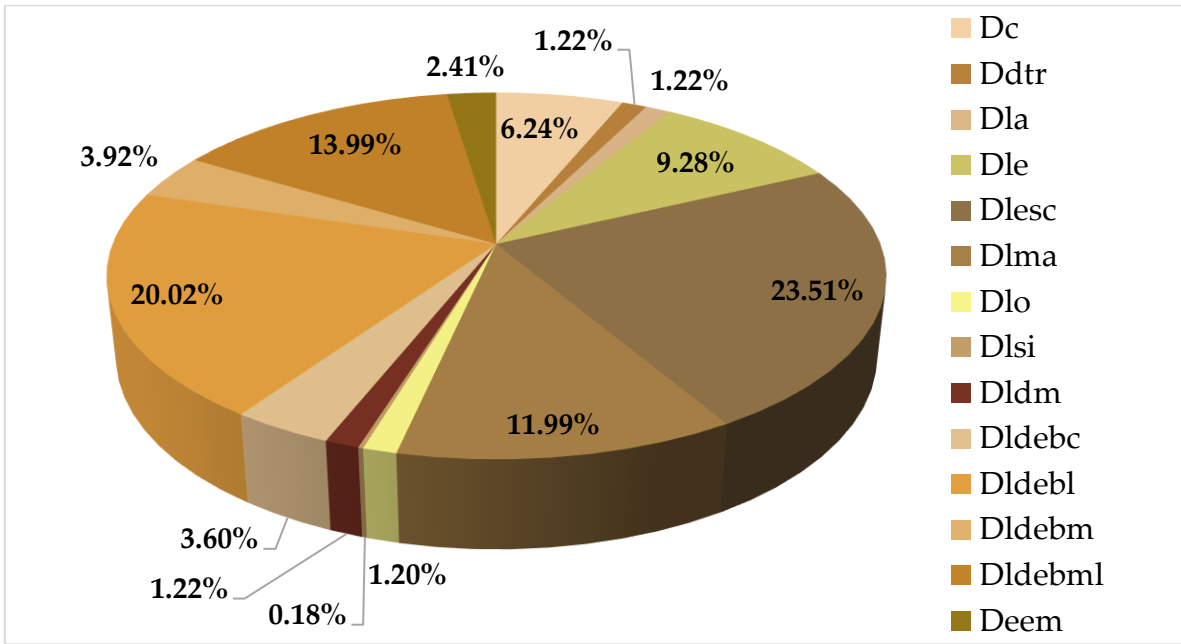


2. Ambiente denudacional

En el ambiente denudacional se manifiesta una amplia variedad de morfologías originadas por procesos de degradación tanto mecánicos como químicos, los cuales están condicionados por las características litológicas, la configuración topográfica y las condiciones climáticas regionales (SGC, 2014). La distribución espacial y la representatividad porcentual de las diferentes morfologías denudacionales identificadas en la zona se presenta en la Figura 51, donde se evidencia la proporción relativa de cada geoforma según su extensión areal dentro del ambiente morfogenético.

Figura 51

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional.



Las geoformas pertenecientes a este ambiente abarcan un total de 11.74 km², como se muestra en la [Tabla 3](#), distribuidos en 53 polígonos de los cuales las subunidades geomorfológicas predominantes son las laderas muy abruptas (Dlma), seguidas por los lomos denudados de longitud media (Dldm) y las laderas escarpadas (Dlesc); estas tres geoformas concentran más de la mitad del área total analizada.

Tabla 3

Distribución del área de las subunidades geomorfológicas del ambiente denudacional.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
Dc	Cima	0.73	6.24%
Ddtr	Cono de deslizamiento traslacional	0.14	1.22%

Dla	Ladera abrupta	0.14	1.22%
Dle	Ladera Erosiva	1.08	9.28%
Dlesc	Ladera escarpada	2.75	23.51%
Dlma	Ladera muy abrupta	1.40	11.99%
Dlo	Ladera ondulada	0.14	1.20%
Dlsi	Ladera suavemente inclinada	0.02	0.18%
Dldm	Loma denudada de longitud media	0.14	1.22%
Dldebc	Lomo denudado bajo de longitud corta	0.42	3.60%
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	2.34	20.02%
Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	0.45	3.92%
Dldebml	Lomo denudado bajo de longitud muy larga	1.64	13.99%
Deem	Escarpe de erosión mayor	0.28	2.41%
Total		11.73	100.00%

Las cimas (Dc), destacan por su alta distribución, con 14 polígonos distribuidos uniformemente en la zona. En contraste, unidades como el escarpe de erosión mayor (Deem), el cono de deslizamiento traslacional (Ddtr) y los lomos denudados bajos de longitud corta (Dldebc) presentan una baja frecuencia con 1, 2 y 3 polígonos respectivamente.

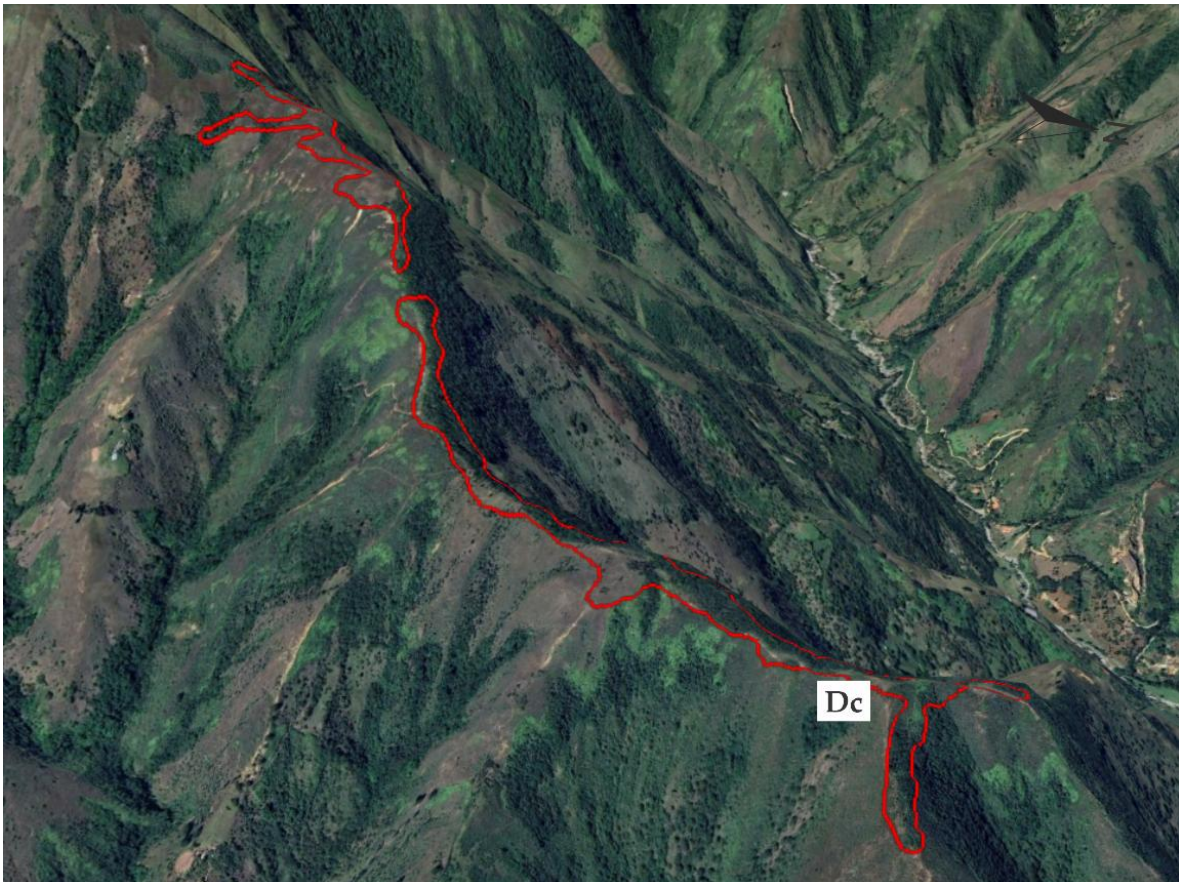
2.1. Cima (Dc)

Se trata de una superficie amplia que forma bandas largas a lo largo de las divisorias de agua, con pendientes que varían entre plano a suavemente inclinado ($<5^\circ$). Las cimas identificadas en el área de estudio se caracterizan por tener un ancho promedio de 150 metros y están rodeadas de laderas con pendientes inclinadas a escarpadas. El desarrollo de estas características del relieve se debe a la descomposición de las rocas originales y a la fuerte acción erosiva del agua y el viento.

Esta unidad se encuentra ubicada en las dos cuencas, constituyendo el límite entre las veredas San Ignacio y Santa Clara. Ocupa un área total de 0.70 km² que equivale al 1.84% del área de estudio.

Figura 52

Cima (Dc).



2.2. *Cono de deslizamiento traslacional (Ddtr)*

Esta subunidad presenta una configuración cónica o lobular con forma de ladera que varía desde aplanada hasta ligeramente ondulante. Se caracteriza por pendientes abruptas a escarpadas con curvatura variante entre plana a convexa. Su formación se asocia con el movimiento de rocas o tierra por una superficie de falla. Se encuentra en sectores intensamente fracturados o en zonas de contacto entre la roca y los depósitos superficiales que la cubren. La dinámica de estos procesos se desarrolla principalmente sobre rocas de calidad muy mala de esquistos de la unidad Esquistos

del Chicamocha en la vereda Santa Clara, abarcando un área total de 0.14 km², donde las condiciones litológicas y topográficas favorecen el desarrollo de estos procesos morfodinámicos.

Figura 53

Cono de deslizamiento traslacional (Ddtr).



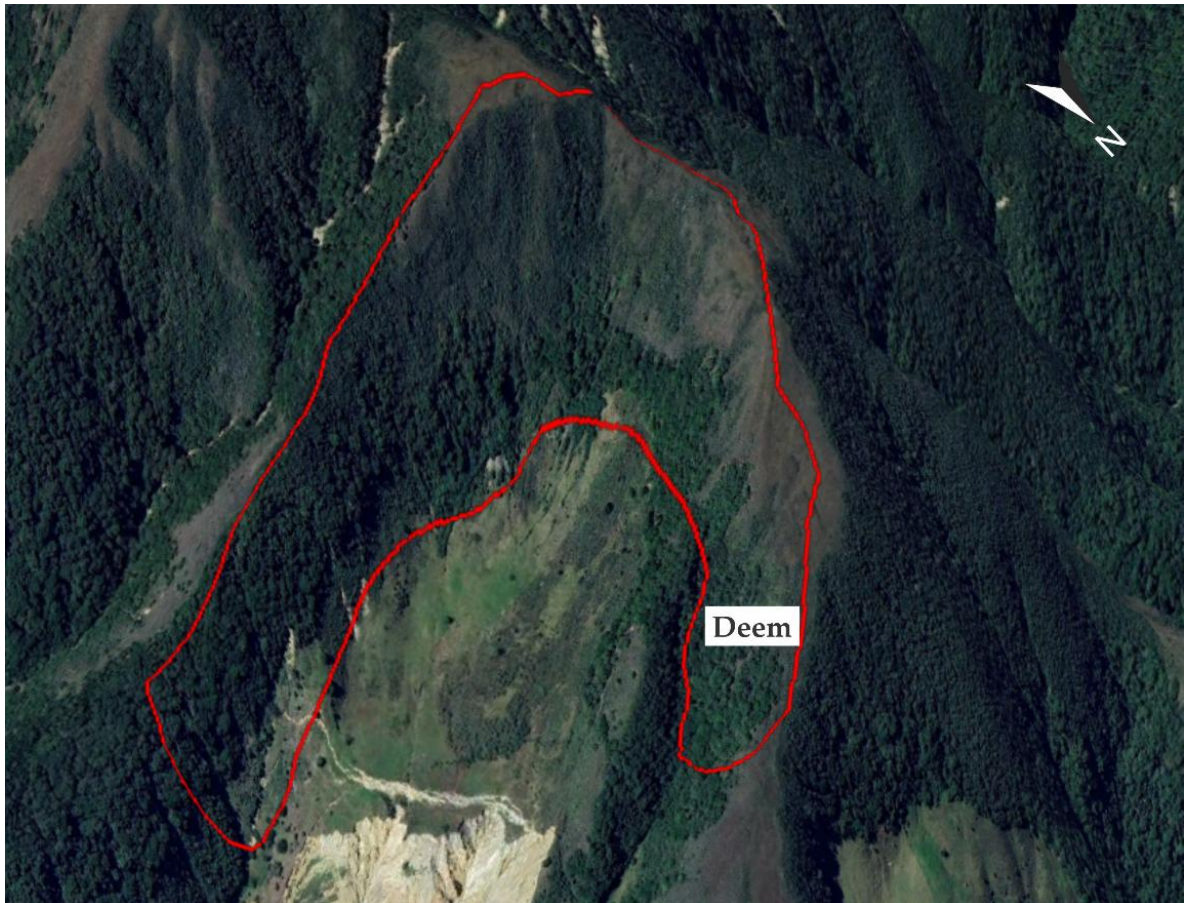
2.3. Escarpe de erosión mayor (Deem)

Esta geoforma consiste en una ladera abrupta con una altura aproximada de 300 metros, formada por la acción de movimientos en masa. Presenta longitud moderadamente larga, forma recta que tiende a cóncava y pendientes escarpadas a muy escarpadas. Esta geoforma ocupa el 0.71% del área total y se desarrolla sobre rocas de calidad muy mala de esquistos de la unidad

Esquistos del Chicamocha en la parte alta de la vereda Santa Clara, donde se asocia a la parte superior del deslizamiento traslacional que afecta esta cuenca.

Figura 54

Escarpe de erosión mayor (Deem).



2.4. Ladera abrupta (Dla)

Corresponde a la superficie del terreno que presenta pendientes características entre 16° y 35° , de longitud moderadamente larga y forma plana que tiende a convexa. Presenta procesos erosivos como cárcavas y surcos. Se encuentra sobre rocas de calidad mala a intermedia de monzogranito de la unidad Granito de Pescadero en la vereda Santa Clara y corresponde al 0.36% de área total.

Figura 55

Ladera abrupta (Dla).



2.5. Ladera Erosiva (Dle)

Las laderas erosivas constituyen superficies del terreno con pendientes que van desde abruptas hasta escarpadas (16° - 45°), con extensiones longitudinales que varían desde moderadas hasta largas (500-1250 m). Estas geoformas presentan una forma que varía de recta a convexa, desarrollando patrones de drenaje característicamente dendríticos.

Se caracterizan por la presencia de procesos erosivos intensos que se manifiestan a través de la formación de surcos y cárcavas, los cuales actúan sobre el suelo residual y las rocas de calidad mala y muy mala de las cuarcitas y filitas de la Formación Floresta. En el área de estudio, estas

morfologías representan el 2.73% de la superficie total analizada y se encuentran en la vereda Panamá, justo al margen de la quebrada del mismo nombre.

Figura 56

Ladera Erosiva (Dle).



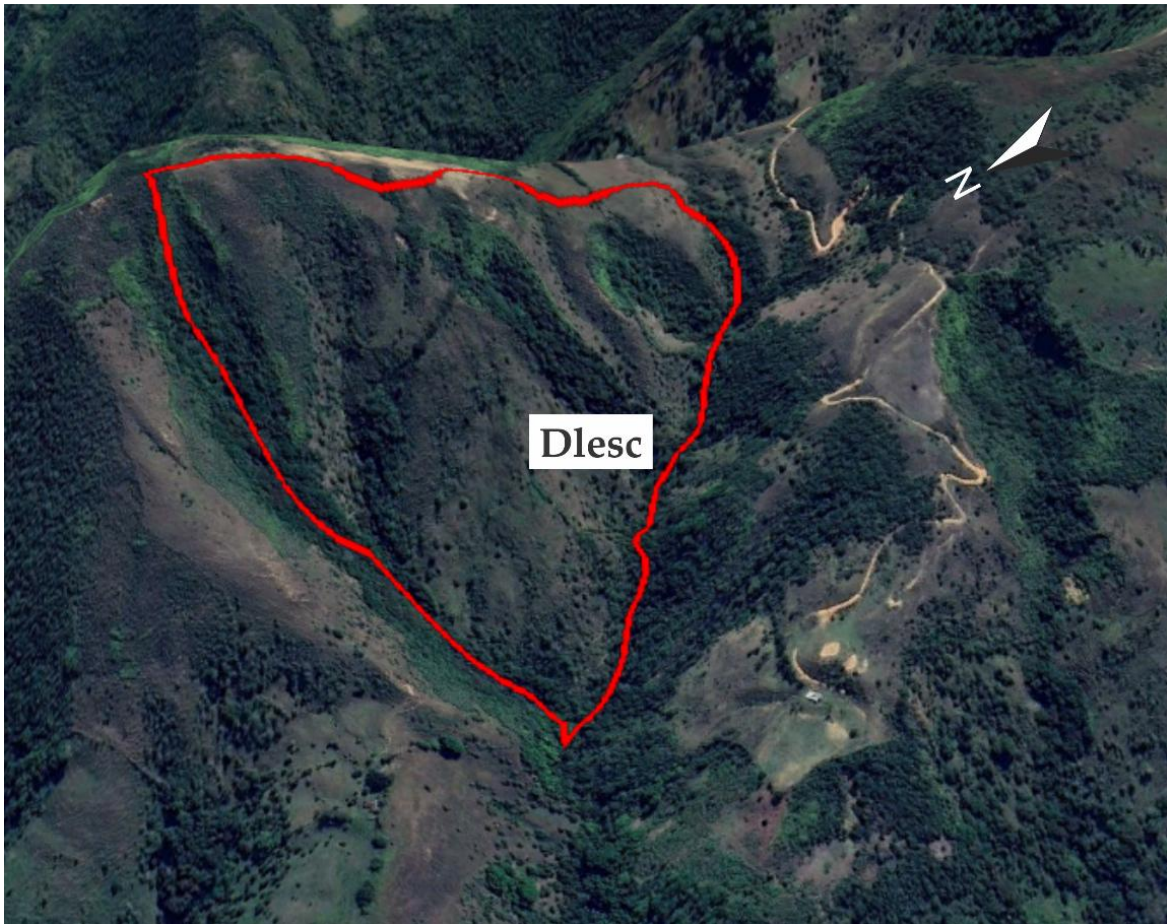
2.6. *Ladera escarpada (Dlesc)*

Esta subunidad geomorfológica se define como una superficie que presenta inclinaciones superiores a 45° , con formas predominantemente planas que pueden tender a convexas. Se presentan procesos erosivos como la formación de cárcavas y surcos, desarrollándose sobre materiales rocosos de calidad mala y muy mala correspondientes a la Formación Floresta y al Granito de Pescadero. Estas morfologías se distribuyen en toda el área de estudio, abarcando una extensión

equivalente al 6.92%, donde las condiciones litológicas y topográficas favorecen el establecimiento de estos procesos denudativos característicos.

Figura 57

Ladera escarpada (Dlesc).



2.7. Ladera muy abrupta (Dlma)

Se define como una superficie del terreno que presenta pendientes con inclinaciones entre 20° y 30°, de extensiones moderadas a extremadamente largas (<250 m) y morfologías cóncavas que tienden a planas. En estas geoformas predominan los procesos erosivos intensos y movimientos en masa. Se encuentran principalmente en la vereda Santa Clara, sobre rocas de calidad

intermedia del Granito de Pescadero, así como sobre algunos tipos de suelo de los Esquistos del Chicamocha y rocas de muy mala calidad de esta unidad. Representan el 3.53% del área total.

Figura 58

Ladera muy abrupta (Dlma).



2.8. *Ladera ondulada (Dlo)*

Esta geoforma se describe como una superficie de corta extensión inclinada cuyas laderas presentan pendientes que varían entre 15° y 45° . La ladera ondulada se caracteriza por desarrollar formas cóncavas y convexas, con un patrón de drenaje subparalelo. Su formación se asocia a procesos erosivos que actúan sobre las rocas de calidad mala del monzogranito del Granito de Pescadero. Corresponde al 0.35% del área total y se sitúa en la vereda Santa Clara.

Figura 59

Ladera ondulada (Dlo).

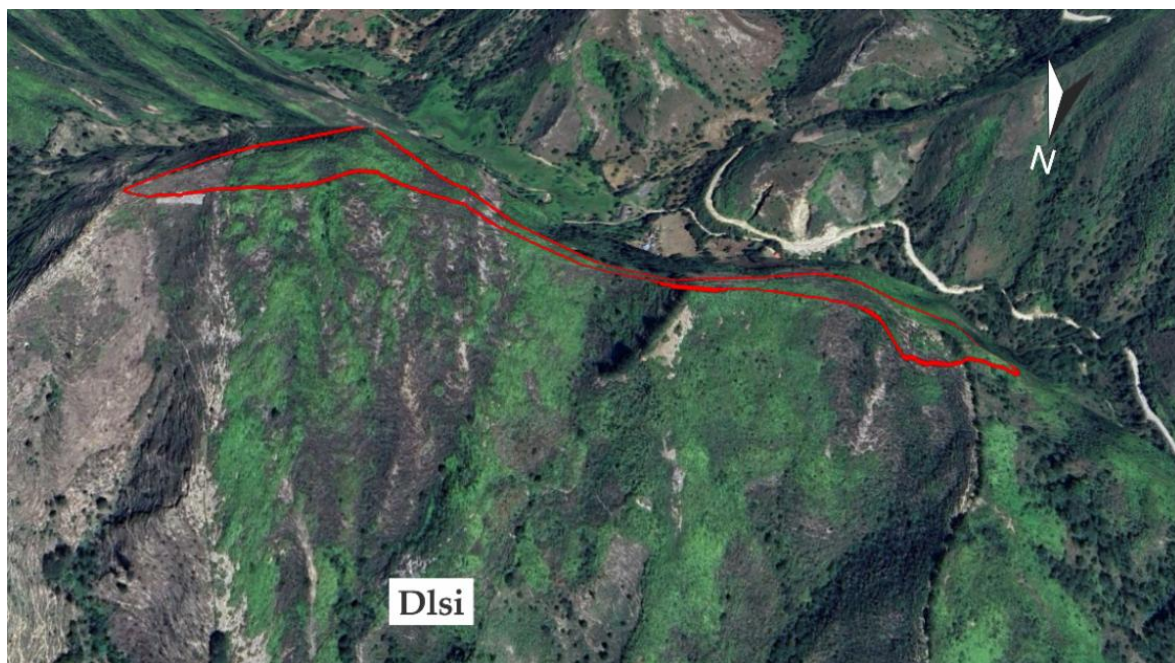


2.9. Ladera suavemente inclinada (Dlsi)

Se describe como aquella superficie muy corta con una pendiente característica que varía entre 2° y 4° . Esta ladera exhibe una forma plana que tiende a cóncava. Su origen está relacionado a los procesos de erosión que han actuado sobre el monzogranito del Granito de Pescadero y han conformado el suelo residual limo-arenoso sobre el cual se desarrolla esta geoforma. Equivale al 0.05% del área total y se ubica en la vereda Santa Barbara.

Figura 60

Ladera suavemente inclinada (Dlsi).



2.10. *Loma denudada de longitud media (Dldm)*

Representa una prominencia topográfica con altura promedio de 100 metros y longitud característica de aproximadamente 500 metros. Esta geoforma se encuentra orientada transversalmente respecto al drenaje principal de la cuenca, que en este caso es la quebrada El León. Sus laderas exhiben formas mayoritariamente convexas y pendientes muy inclinadas (11° - 15°), se encuentra en la vereda Santa Clara y su área total es equivalente al 0.36% de la zona estudiada.

Figura 61

Loma denudada de longitud media (Dldm).

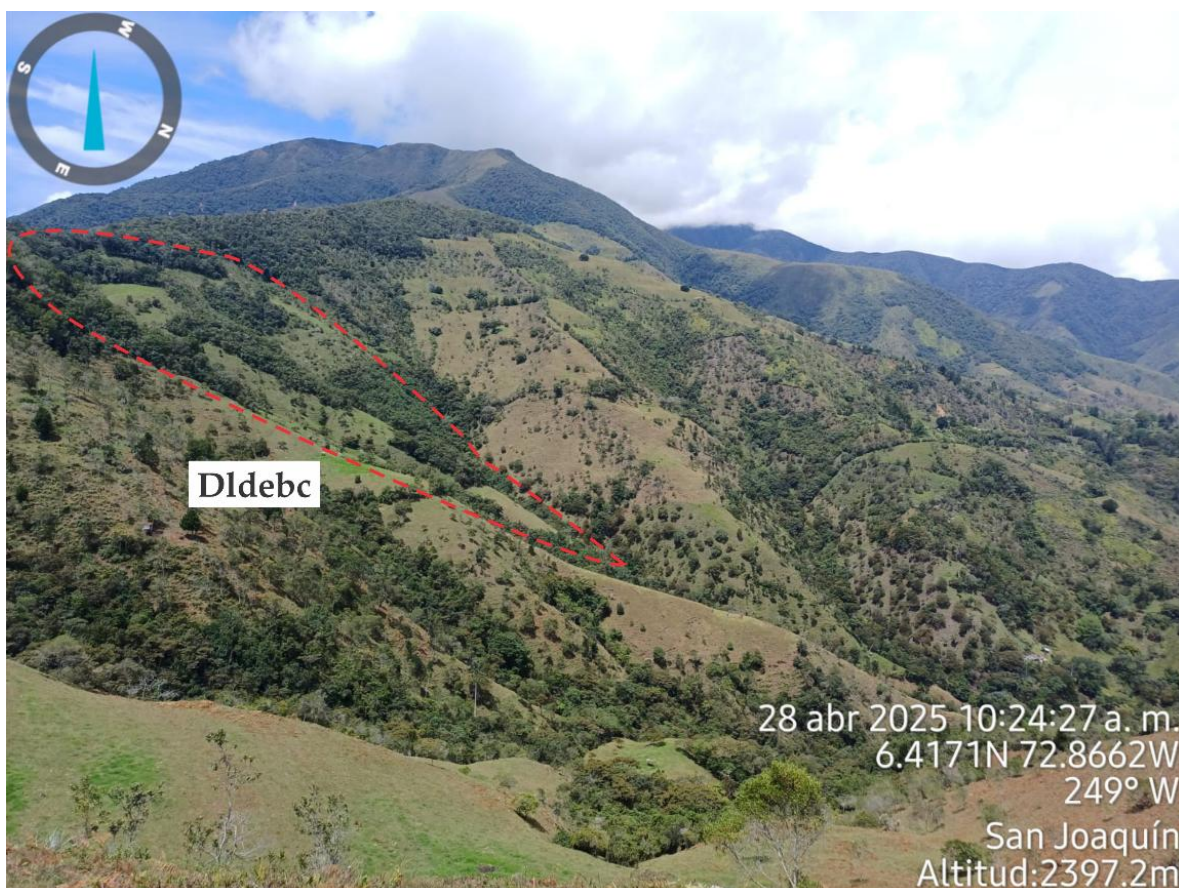


2.11. *Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc)*

Se trata de aquella geoforma alargada y alomada con un relieve relativo menor a 100 metros y ejes principales que varían de 250 a 500 metros de longitud. Estas geoformas se localizan perpendicularmente en relación con el drenaje principal. Las laderas asociadas presentan formas convexas que pueden tender a cóncavas, con pendientes que varían de inclinadas a muy abruptas. El desarrollo de esta geoforma se da principalmente por los procesos erosivos que han modelado el relieve. Los lomos denudados bajos de longitud corta se ubican en las veredas Panamá, San Ignacio y Santa Clara, donde ocupan el 1.06% del área total.

Figura 62

Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc).



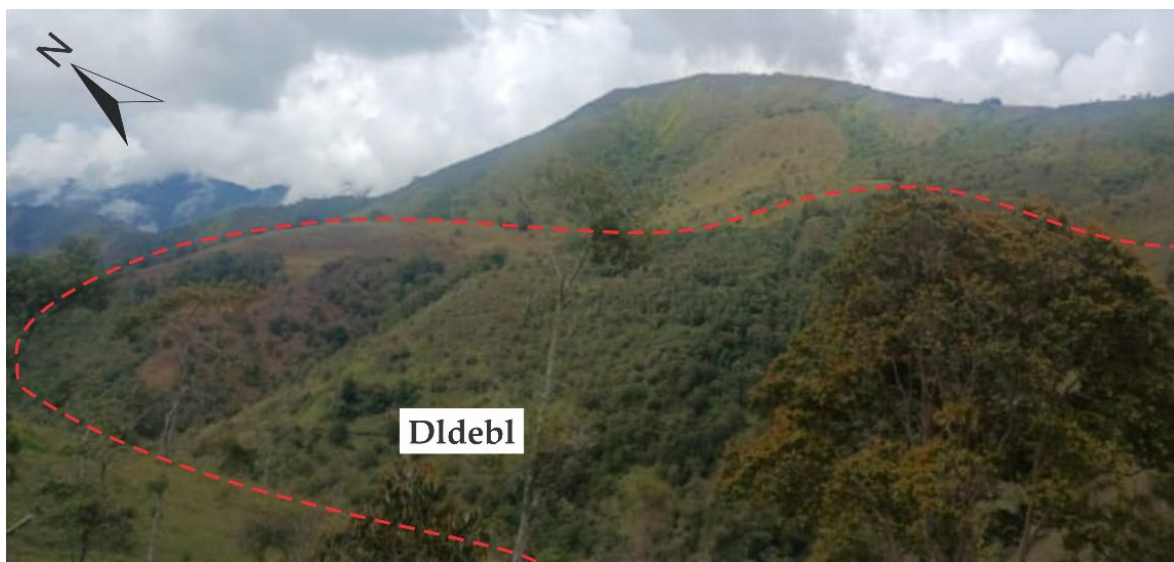
2.12. *Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl)*

Corresponde a una prominencia topográfica alomada que se localiza perpendicularmente al drenaje principal. Se caracteriza porque su relieve relativo no supera los 100 metros y sus ejes principales suelen variar de 1000 a 1250 metros. Presentan laderas con formas variables de cóncavas a convexas, cuyas pendientes pueden ser inclinadas e incluso muy abruptas.

Los procesos erosivos han dado paso a la formación de esta geoforma modelando el terreno. Ocupa el 5.89% del área total y se ubica en las veredas Panamá, San Ignacio y Santa Clara.

Figura 63

Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl).

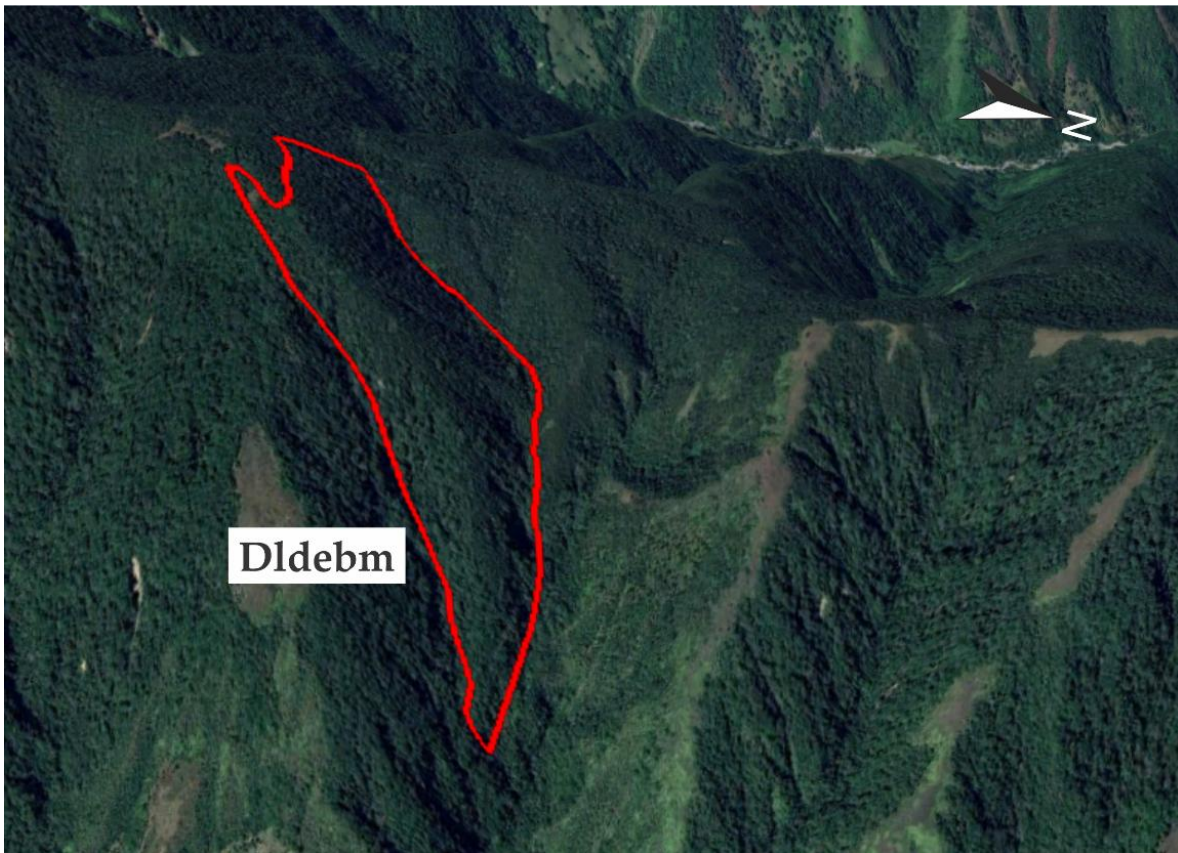


2.13. *Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)*

Esta subunidad geomorfológica constituye una elevación ondulada del terreno, definida así por su índice de relieve relativo que varía entre 50 y 100 metros y cuyos ejes principales tienen una longitud entre 500 y 1000 metros medidos en su eje mayor. Se dispone de forma transversal al drenaje principal y expone laderas suaves a escarpadas con geometrías diversas que pueden ser cóncavas o convexas. La génesis de esta geoforma se debe principalmente a la dinámica erosiva que ha ido esculpiendo la superficie terrestre. Abarca el 1.15% de la extensión total de estudio y se distribuye en las veredas Panamá y San Ignacio.

Figura 64

Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm).



2.14. *Lomo denudado bajo de longitud muy larga (Dldebml)*

Elevación del terreno alargada y alomada que presenta un relieve relativo inferior a 100 metros, con dimensiones en sus ejes mayores que superan los 1250 metros de extensión. Estas unidades morfológicas se disponen de manera perpendicular respecto al drenaje predominante. Sus laderas varían entre inclinadas a escarpadas, con formas cóncavas y convexas. La formación de esta geoforma obedece fundamentalmente a los procesos erosivos que actúan sobre la superficie. Ocupa el 4.41% del área de estudio y se encuentra en la vereda Santa Clara.

Figura 65

Lomo denudado bajo de longitud muy larga (Dldebml).



3. Ambiente Fluvial

Este ambiente comprende un área de 1.3005 km², dentro de la cual se distinguen dos subunidades geomorfológicas principales: la llanura de inundación y el abanico aluvial (Tabla 4), desarrolladas por la acción erosiva de los flujos hídricos, tanto en condiciones de dinámica normal de las corrientes como durante eventos de avenidas e inundaciones. Su formación es producto de los procesos de transporte y acumulación de sedimentos, impulsados por la energía del flujo y su deposición en las zonas laterales del cauce (Carvajal, 2008).

Tabla 4

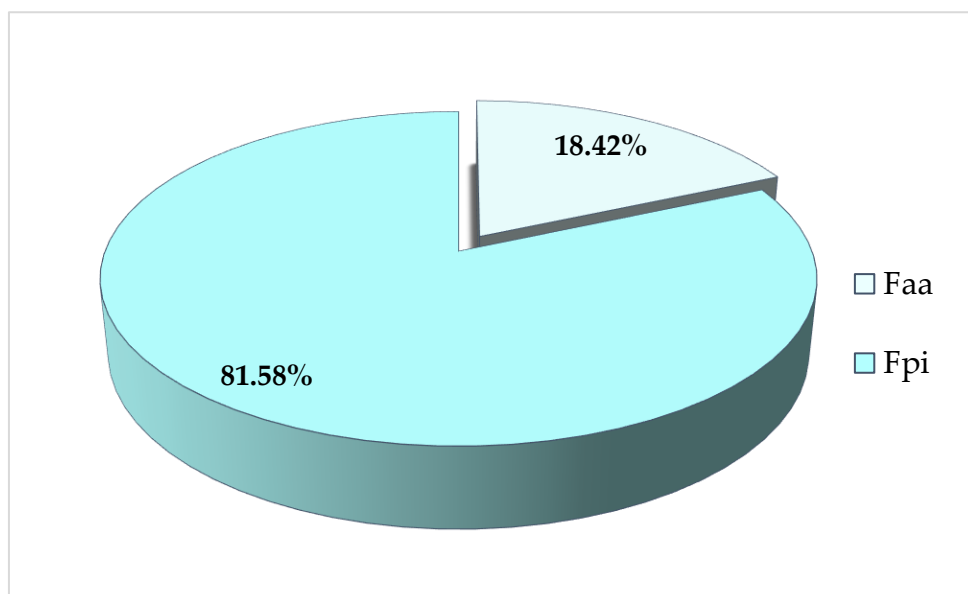
Área de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE
Faa	Abanico aluvial	0.23	18.42%
Fpi	Llanura de inundación	1.06	81.58%
Total		1.30	100.00%

Se reconocen principalmente las morfologías asociadas a ríos y quebradas, así como aquellas ubicadas en el fondo de los canales. En la zona de estudio se identificaron geoformas vinculadas a las quebradas Panamá y El León, conformadas principalmente por depósitos aluviales y aluviorrenciales.

Figura 66

Distribución porcentual de las subunidades geomorfológicas del ambiente fluvial.



En la Figura 66 se evidencia la distribución de las dos geoformas fluviales: la llanura de inundación (Fpi) y los abanicos aluviales (Faa). La primera ocupa la mayor extensión lo que refleja

el predominio de los procesos de erosión y sedimentación a causa de la dinámica activa de las quebradas Panamá y El León. En contraste, los abanicos aluviales (Faa), aunque presentan menor extensión, se caracterizan por una mayor frecuencia contando con 11 polígonos distribuidos en los márgenes de la quebrada Panamá.

3.1. *Abanico aluvial (Faa)*

Consiste en una superficie con forma de cono, cuyas laderas tienen una inclinación menor a 16° y forma convexa que tiende a recta, con morfología plana a ondulada. Su formación está dada por los procesos de acumulación en forma radial de sedimentos de origen fluviotorrencial y fluvial.

Esta geoforma se caracteriza por los drenajes de menor orden que fluyen de manera transversal cortando el abanico y desembocando en el drenaje principal. Algunas de estas unidades presentan una extensión entre 500 y 100 metros de largo, mientras que el ancho puede variar entre 400 y 50 metros, en la parte más alejada del ápice del abanico. Los abanicos aluviales se encuentran en los márgenes de la quebrada Panamá (veredas Santa Barbara, Panamá y San Ignacio), constituyendo la salida de la corriente de los drenajes menores que componen la cuenca. Corresponden al 0.6% del área de estudio.

Figura 67

Abanico aluvial (Faa) ubicado a los márgenes de la quebrada Panamá.



3.2. Llanura de inundación (Fpi)

La llanura o planicie de inundación es aquella superficie aplanada que tiende a ondulada, cuya inclinación no supera los 8° y se localiza en los márgenes de las corrientes de agua. Su formación tiene lugar durante las crecidas del nivel de agua en episodios de mayor precipitación y avenidas torrenciales. Esta geoforma se extiende de manera paralela a los márgenes de los dos drenajes principales. Específicamente en la quebrada Panamá, está conformada principalmente por sedimentos gruesos y se extiende por más de 4 kilómetros. Abarca algunos sectores del casco municipal en donde comprende pocos metros de ancho y, a medida que se aleja de la zona urbana, se vuelve más ancha alcanzando los 400 metros en el punto más amplio.

Por otro lado, en la quebrada El León la llanura de inundación está compuesta de material más fino que tiende a generar depósitos de lodo. Su material proviene principalmente de un

deslizamiento traslacional ubicado en la parte alta de la cuenca, el cual aporta material que es transportado hasta depositarse en la zona de menor inclinación. Esta quebrada también ha sido afectada por eventos de avenidas torrenciales por lo que se tienen depósitos aluviotorrenciales dentro de la llanura. En esta quebrada la geoforma puede llegar a tener hasta 200 metros de ancho. Esta geoforma ocupa 2.66% del área total de estudio.

Figura 68

Llanura de inundación (Fpi) en la quebrada El León.



4. Ambiente Antrópico

El ambiente antrópico comprende aquellas formas del terreno generadas por la acción humana sobre el paisaje (Carvajal, 2008), estas intervenciones se realizan con la finalidad de construir

edificaciones, el desarrollo de proyectos de infraestructura, depósitos de residuos o la habilitación de nuevos corredores viales, actividades que modifican la configuración original del relieve. Dentro de este ambiente solo se identificó una geoforma correspondiente al casco urbano del municipio de San Joaquín, la cual se describe a continuación.

4.1. *Superficie de explanación (Asp)*

Son aquellas áreas de aplanamiento hecho sobre laderas de sustrato rocoso y/o materiales no consolidados. Se ejecutan con el fin de preparar el espacio para la construcción o estabilización de laderas, empleando métodos como la explanación o terraceos que ayudan a disminuir la pendiente del terreno. A nivel general, las superficies de explanación no presentan curvatura, es decir, son superficies planas. Además, su relieve relativo es muy bajo (<50 m) y, por tanto, se tienen pendientes planas o suavemente inclinadas, que no superan los 5°.

Esta geoforma se encuentra en la cabecera municipal de San Joaquín. Dentro de ella se incluyen las edificaciones propias del municipio que no cumplen con el área mínima cartografiable. Alrededor de esta subunidad se encuentran el cauce activo de la quebrada Panamá y algunos espolones asociados a la falla Pueblo Viejo. En total, la superficie de explanación comprende el 0.46% del área total de estudio

Figura 69

Casco urbano del municipio de San Joaquín donde se encuentra la subunidad superficie de explotación(Asp).

