

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA
CUENCA MEDIA DEL CAÑO PARRADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-
META



ANDREA CAROLINA QÜENZA NIEVES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA
MICROCUEENCA DEL CAÑO PARRADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO

ANDREA CAROLINA QÜENZA NIEVES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Alfonsina Bocanegra Gómez

Ingeniería Industrial

Geóloga

Codirector

Mg. JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

Magister en Ordenamiento Ambiental del Territorio

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades académicas

P. JOSÉ GABRIEL Mesa Angulo, O.P.

Rector General

P. EDUARDO González Gil, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. RODRIGO García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria general Seccional Villavicencio

Ing. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Todo mi proceso académico no fue fácil pero tampoco difícil, si en el camino hubo cosas negativas y no acordes a mi crecimiento personal me quedan de experiencias. En lo personal mi tiempo, mis virtudes, mis conocimientos, el alcance que estoy teniendo hoy día es mérito de mi mamá mí persona, mi papá y mi hermana, su constancia y perseverancia por mí, me mantuvieron siempre a flote.

Todos mis logros se los dedico a ellos.

Agradecimiento

En este lado universitario, gratitud por el Ingeniero Emiro que siempre estuvo ahí para apoyarme, enseñarme y creer en mí (El inicio es duro pero los resultados son el poder del conocimiento).

La Ingeniera Alfonsina por su constancia y dedicación, la admiro.

Resumen

El concepto fenómeno de remoción en masa son todos aquellos procesos por los cuales un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, por acción de gravedad se desplazan ladera abajo (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2023). Algunos movimientos en masa pueden ser lentos, imperceptibles y difusos, mientras que otros, pueden desarrollar velocidades altas, determinados por superficies de rotura (GEMMA, 2010).

La vereda Buenavista de la ciudad de Villavicencio, se encuentra en el flanco de la cordillera oriental, sobre el trazo de la falla geológica Colepato (INGEOMINAS, 2001), sector en el que se presentan movimientos en masa, los cuales están afectando a la población aledaña al Caño Parrado debido a las altas pendientes y movimientos sísmicos que se presentan en la zona constantemente (Autor, 2023).

El Caño Parrado es un afluente del río Guatiquía, se encuentra localizado al Sur de la ciudad de Villavicencio en la vereda Buenavista, en la comuna 1; en la microcuenca se presentan afectaciones por fenómenos naturales que intervienen en diferente medida factores como la cobertura del suelo, la pendiente del terreno, las características intrínsecas de los materiales, las lluvias y la actividad tectónica. Específicamente relacionados con los movimientos de masa, que afecta a la población que reside en el sector, presentando procesos erosivos y de colmatación que afectan el pie de la montaña (Alcaldía de Villavicencio, 2023).

Por otra parte, a partir de la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa en escala 1:25,000, se indicó la susceptibilidad a partir de los factores condicionantes y detonantes de los deslizamientos presentes en la microcuenca caño parrado, siendo esto de tipo caída u/o movimientos complejos con una amenaza alta debido a las condiciones débiles de los materiales presentes, es decir generados por las altas precipitaciones, saturando los materiales cuya s densidades superan las estimadas (SGC, 2001).

Palabras claves: Movimientos en masa, Susceptibilidad, Factores Condicionantes, Factores Detonantes

Abstract

The concept of mass movement refers to all those processes by which a volume of material consisting of rock, soil, earth, debris or rubble, by the action of gravity, moves downhill (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2023). Some mass movements can be slow, imperceptible and diffuse, while others can develop high velocities, determined by rupture surfaces (GEMMA, 2010).

The Buenavista district of the city of Villavicencio is located on the flank of the eastern mountain range, on the trace of the Colepato geological fault (Parra & INGEOMINAS, 2001), a sector where mass movements occur, which are affecting the population adjacent to the Caño Parrado due to the high slopes and seismic movements that occur in the area constantly (Autora, 2023).

Caño Parrado is a tributary of the Guatiquía river, located south of the city of Villavicencio in the Buenavista district, in commune 1; the micro-watershed is affected by natural phenomena that intervene to different extents in factors such as soil cover, slope of the land, intrinsic characteristics of the materials, rainfall and tectonic activity. Specifically related to mass movements, which affect the population residing in the sector, presenting erosive and clogging processes that affect the foot of the mountain (Alcaldía de Villavicencio, 2023).

On the other hand, from the Methodological Guide for the zoning of threat due to mass movements in scale 1:25,000, the susceptibility was indicated based on the conditioning and triggering factors of the landslides present in the Caño Parrado micro-basin, being this of fall type or/and complex movements with a high threat due to the weak conditions of the materials present, i.e. generated by high rainfall, saturating the materials whose densities exceed the estimated ones (Methodological Guide 1:25,000, 2017).

Key words: Mass Movements, Susceptibility, Conditioning Factors, Triggering Factors.

Tabla de contenido

	Pág.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. ALCANCE.....	18
5. ESTADO DEL ARTE.....	20
5.1 ANTECEDENTES	20
6. MARCO TEÓRICO	22
7. MARCO CONCEPTUAL	23
8. MARCO NORMATIVO	28
9. METODOLOGÍA.....	29
9.1 FASE 1: CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL	29
9.2 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS	31
9.2.1 <i>Actividad 1: Inventario de información.....</i>	<i>31</i>
9.2.2 <i>Actividad 2: Interpretación de imágenes satelitales en plataforma y dron..</i>	<i>31</i>
9.2.3 <i>Actividad 3: Levantamiento en campo.....</i>	<i>31</i>
9.2.4 <i>Actividad 4: Mapa de inventario de procesos morfodinámicos</i>	<i>32</i>
9.3 FASE 2: FACTORES CONDICIONANTES Y DETONANTES	32
9.3.1 <i>Fase 2.1: factores condicionantes</i>	<i>32</i>
9.3.2 <i>Fase 2.2: factores detonantes</i>	<i>35</i>
9.4 FASE 3: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD.....	35
9.4.1 <i>Susceptibilidad por movimientos en masa.....</i>	<i>35</i>
10. RESULTADOS Y ANÁLISIS RESULTADOS	38

10.1.	CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL	38
10.1.1	<i>Inventario de procesos morfodinámicos</i>	38
10.2	FACTORES CONDICIONANTES	40
10.2.1	<i>Cobertura vegetal</i>	40
10.2.2	<i>Cobertura vegetal actual (2023)</i>	42
10.2.3	<i>Geomorfología</i>	44
10.2.4	<i>Curvas de nivel</i>	45
10.2.5	<i>Pendiente</i>	46
10.2.6	<i>Curvatura</i>	47
10.2.7	<i>Distancia de drenajes</i>	49
10.2.8	<i>Relieve</i>	50
10.2.9	<i>Geología</i>	51
10.2.10	<i>Suelos</i>	54
10.3.	FACTORES DETONANTES	55
10.3.1.	<i>Precipitación</i>	55
10.3.2.	<i>Sismos</i>	56
11.	SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	58
	CONCLUSIONES	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXOS	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de procesos de remoción en masa tomada de la Guía metodológica para la zonificación de amenazas a escala 1:25,000	26
Tabla 2 Clasificación de los movimientos según la velocidad	26
Tabla 3 Normativa legal vigente para la evaluación de amenazas naturales	28
Tabla 4 Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.....	33
Tabla 5 Subunidades indicativas de procesos en movimientos en masa	34
Tabla 6 Inventario de Movimientos en masa presentes en la microcuenca Caño Parrado	38
Tabla 7 Área de usos del suelo para el año 2018 de la microcuenca Caño Parrado	42
Tabla 8 Área de usos del suelo para el año 2023 de la microcuenca Caño Parrado	42
Tabla 9 Unidades geomorfológicas presentes en Caño Parrado	44
Tabla 10 Rango de pendientes presentes en la microcuenca Caño Parrado	46
Tabla 11 Áreas de intervalos de Curvatura presentes	48
Tabla 12 Intervalos de distancia de drenajes	49
Tabla 13 Intervalos de altura en Mapa de relieve	50
Tabla 14 Formaciones geológicas presentes en la Microcuenca Caño Parrado	52
Tabla 15 Clasificación del suelo SUCS en la Microcuenca Caño Parrado.....	54
Tabla 16 Precipitaciones anuales (1998-2010) de la Microcuenca Caño Parrado.....	56
Tabla 17 Sismos registrados por la Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC (SGC (1998-2020)	57

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Mapa de ubicación de la microcuenca Caño Parrado.....	19
Figura 2 Metodología de la fase de Caracterización Geoambiental, por Autora, 2023.....	30
Figura 3 Metodología bivariado de Valor Informativo, por Autora, 2023.....	37
Figura 4 Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos, Autora (2023).....	39
Figura 5 Movimiento en masa presentado en la microcuenca del Caño Parrado.	40
Figura 6 Malmanejo de Aguas Residuales, aporte al Caño Parrado.....	41
Figura 7 Mapa de cobertura vegetal 2023.....	43
Figura 8 Mapa geomorfológico de la microcuenca Caño Parrado (2023).....	45
Figura 9 Mapa de Curvas de Nivel, por Autora (2023).....	46
Figura 10 Mapa de Pendientes, por Autora (2023).....	47
Figura 11 Mapa de Curvatura, por Autora,2023.....	48
Figura 12 Mapa de Distancia de Drenajes, por Autora,2023.....	50
Figura 13 Mapa de Relieve, por Autora,2023	51
Figura 14 Areniscas de tamaño medio, con tamaño de grano alrededor de 0,6mm de forma irregular redondeado pertenecientes a la unidad estratigráfica de formación Cáqueza.	53
Figura 15 En la imagen de la izquierda se observan las rocas altamente diaclasada pertenecientes a la unidad estratigráfica de formación Cáqueza.	54
Figura 16 Mapa de Suelos UCS presentes en la microcuenca Caño Parrado.....	55
Figura 17 Mapa de precipitación anual (1998-2010).....	56
Figura 18 Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la microcuenca Caño Parrado	59

Lista de Anexos

Anexo 1. Inventario de información	64
Anexo 2 Caracterización de los movimientos en la cuenca caño parrado	65
Anexo 3 Información por area sobre los factores condicionante y detonantes	67
Anexo 4 Mapa de ubicación	67
Anexo 5 Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos.....	67
Anexo 6 Cobertura Vegetal 2023.....	67
Anexo 7 Mapa Geomorfológico	67
Anexo 8 Mapa de Curvas de Nivel.....	67
Anexo 9 Mapa de Pendientes.....	67
Anexo 10 Mapa de Curvatura	67
Anexo 11 Mapa de Distancia de Drenajes.....	67
Anexo 12 Mapa de Relieve.....	67
Anexo 13 Mapa de Suelos UCS.....	67
Anexo 14 Mapa de Precipitación.....	67
Anexo 15 Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en masa.....	67

Introducción

Los movimientos en masa presentes en la microcuenca Caño Parrado, debido a su ubicación geográfica, es una de las zonas más inestables del tramo, cuyas características geológicas, geomorfológicas, climatológicas y sísmicas facilitan el desarrollo de movimientos en masa (MM), que se constituyen en peligros naturales de ocurrencia cada vez más frecuente (Villacorta et al., 2012). Asimismo, las tendencias de expansión urbana (Barrios), han traído como consecuencia asentamientos no legales (invasiones, ocupaciones graduales, entre otros).

El presente trabajo se constituye como uno de los pilares fundamentales para el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa presentes en la zona de estudio para posibles eventos, con el avance de los Sistemas de Información Geográfica se ha facilitado el procesamiento y análisis de información del terreno sobre el cual se desarrollan estos eventos, a través de la utilización de sensores remotos y software, el análisis de datos en los SIG, permitiendo generar modelos del terreno y los eventos de remoción en masa con insumos de información geológica, geomorfológica, uso de suelo entre otras sobre el área de estudio. Es por esto por lo que mediante la aplicación de los SIG se estudia para la ciudad de Villavicencio en el sector de Caño Parrado, parte alta de la ciudad, localizada sobre la Cordillera Oriental la susceptibilidad a generarse movimientos en masa.

1. Planteamiento del problema

Los movimientos en masa son desplazamientos del terreno (suelos y/o rocas) en efecto lentos, rápidos, secos, húmedos o fluidos (Cruden,1991). Los más comunes en Colombia son los tipos deslizamiento y caída de rocas, entre otros. Denominados derrumbes, procesos de ladera, procesos gravitacionales, procesos geo-morfodinámicos y de falla en el talud o ladera (UNGRD, 2020).

De acuerdo con el Banco Mundial (2012), los movimientos en masa en el país son el segundo fenómeno geológico con efectos naturales conocidos después de las erupciones volcánicas; generando entre 1939 y 2017 en el departamento del Meta, 51 fallecidos, 43 heridos, 12 desaparecidos, 121 casas dañadas, 63 afectadas directamente y 138 casas destruidas (SGC, 2023). Por consiguiente, en Colombia esta amenaza se presenta con recurrencia debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y los altos niveles de lluvias.

A nivel local en la ciudad de Villavicencio se presenta una alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa a causa de las condiciones geomorfodinámicas mencionadas anteriormente, debido al desgaste derivado de los procesos de sedimentación, meteorización y adicionalmente al régimen de lluvias en la zona.

Teniendo en cuenta esto en el lapso del 2002 - 2015; para impedir la ocupación en zonas de alto riesgo por eventuales ocurrencias de tipo geológicas (Castañeda, 2018). Prohibiendo la ocupación permanente en áreas como Caño Parrado donde se han presentado diferentes eventos relacionados a movimientos de masa, en su mayoría en épocas de lluvia, como el que se presentó el 27 de mayo del 2021, generando pérdida total de una vivienda y afectaciones a otros 17 inmuebles (Dane, 2021).

Identificando, que las dificultades son generadas por la alta remoción en masa que se han presentado frecuentemente en áreas inestables de la cimentación en el presente año en Caño Parrado en temporadas de lluvias, en cuanto a esto se vienen presentando desde hace 17 a 25 años a causas de invasión en el área sobre los cimientos (Afectados del barrio el triunfo y sector Buenavista, 2022).

Asimismo, para este caso en particular en la microcuenca Caño Parrado se evidenció deforestación en la zona alta de la microcuenca y nacimiento de corrientes, también inadecuadas prácticas agropecuarias que generan impactos al recurso hídrico, ocupación del cauce de las

corrientes que irrespetan las zonas de inundación o de retiro, vertimientos de aguas residuales domésticas en las corrientes, captación de una cantidad mayor de caudal distinto de lo legalizado por la autoridad ambiental, generando problemas de erosión y degradación en las márgenes del cuerpo hídrico (Segura y Arango, 2004).

Motivo por el cual, el presente estudio de investigación tiene como prioridad realizar un análisis de información que permita determinar áreas sobre la zona que estén presentando más susceptibilidad a generar movimientos en masa que se presentan en la microcuenca mediante la recopilación de información enfocada en la guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos de masa del Servicio Geológico Colombiano del 2017 a escala 1:25,000 (SGC,2017). De acuerdo con lo anterior para este proyecto de investigación, ¿Qué análisis presentan los procesos de remoción en masa que se prolongan en la microcuenca Caño Parrado en el municipio de Villavicencio Meta?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de los movimientos en masa presentes en la microcuenca Caño Parrado en el municipio de Villavicencio, Meta.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los movimientos de masa que se han presentado en la zona
- Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en los movimientos de masa presentes en la zona
- Elaborar mapa de susceptibilidad por movimientos de masa presentes en la microcuenca de Caño Parrado

3. Justificación

El área urbana del municipio de Villavicencio, localizado en el piedemonte de la Cordillera Oriental, presenta un contexto geológico, geomorfológico e hidrológico complejo constituyéndose en una región altamente propensa a sufrir los efectos adversos de diferentes fenómenos naturales, dado que en Villavicencio se han presentado damnificados desde hace ya varios años por estos fenómenos (Alcaldía de Villavicencio, 2019). La situación de riesgo por movimientos en masa localizados en sectores de alta amenaza por problemas de lluvias, geología, geomorfología, entre otros hace necesario realizar un análisis que permita conocer los movimientos que se presentan continuamente en los cauces actuales del Río Guatiquía y Ocoa, afectando microcuencas como Caño Parrado, Caño Buque, entre otros, los cuales se ven afectados por la alta dedicación de la cuenca alta (INGEOMINAS, 2001).

Teniendo en cuenta lo anterior y dado que Villavicencio es una ciudad que se desarrolló en medio de la red hidrográfica de las cuencas de los Río Guatiquía y río Ocoa y sus respectivos afluentes a lo largo de la ciudad, como es el caso de la microcuenca de Caño Parrado (SGC, 2001). De acuerdo con el plan de ordenamiento territorial (POT) de Villavicencio en su último año 2015, la zona fue catalogada como amenaza alta para movimientos en masa, donde se evalúan fenómenos naturales que se presentan y están afectando a la población ubicadas en las inmediaciones del caño, por ende, se realizó un análisis para determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en los movimientos de masa presentes en la zona. Por consiguiente, se requiere la gestión de riesgos de deslizamientos para la caracterización de estos, la cual ayudará en la actualización de información en el plan de ordenamiento territorial (POT), para reducir la alta susceptibilidad (Alcaldía de Villavicencio, 2015).

En conclusión, el desarrollo del presente estudio de investigación es importante para el análisis de movimientos en recopilación de información necesaria para la gestión de riesgo, la prevención y mitigación de posibles desastres que se puedan presentar en la microcuenca de Caño parrado, teniendo como insumo para posteriores estudios tal como es el caso del análisis de susceptibilidad por movimientos para la población (Autora, 2022).

4. Alcance

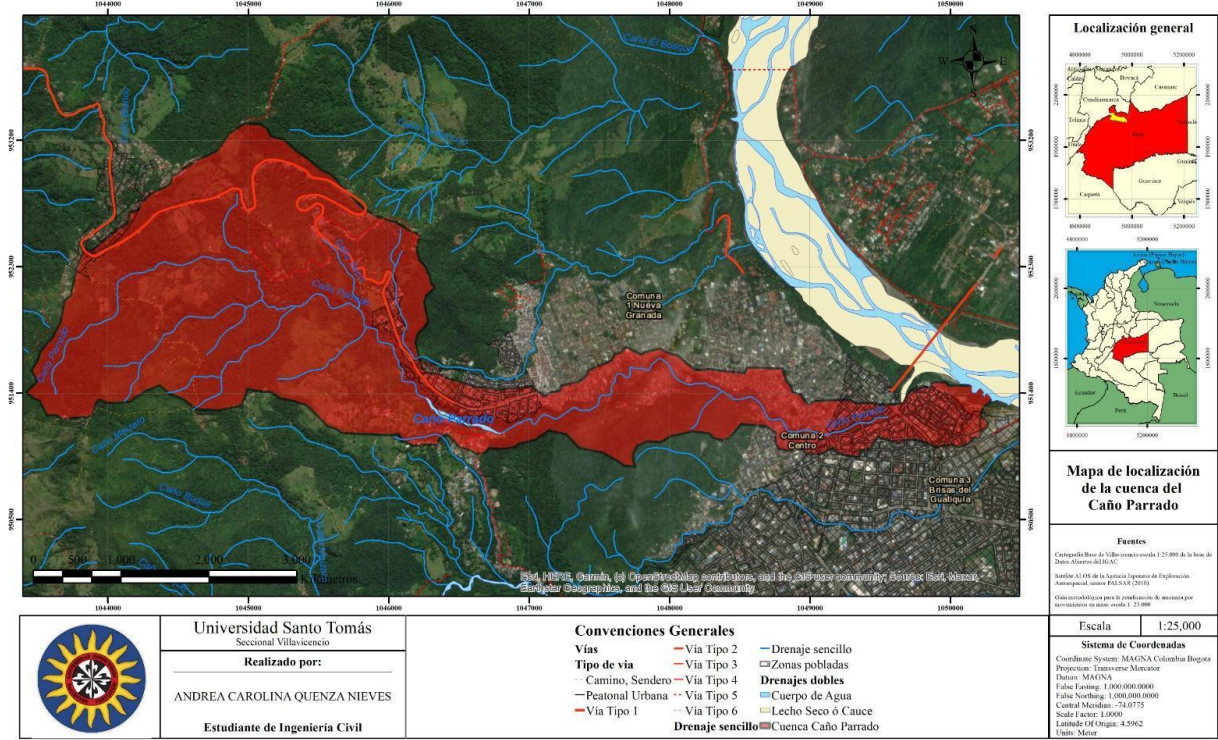
Villavicencio es un municipio colombiano con una población estimada de 531.275 habitantes (DANE,2018), capital del departamento del Meta. Está ubicado en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta; en el municipio sobresalen dos regiones: una montañosa localizada al occidente y Noroccidente, que corresponde al flanco oriental de la Cordillera Oriental; la segunda, una planicie inclinada ligeramente hacia el Oriente y el Nororiente, pertenece al piedemonte de la cordillera, bordeada al Norte por el río Guayuriba. En la parte central de esta planicie cruzan los ríos Ocoa y Negro, además de numerosos caños y afluentes menores; con relación al aspecto hidrográfico, Villavicencio cuenta con tres principales afluentes de los ríos Guatiquía, Guayuriba y Negro identificados y delimitados en los planos de ordenación y manejo de las cuencas (POMCAS, 2010),

Específicamente el área de estudio corresponde a la microcuenca hidrográfica del caño parrado, la cual hace parte de la cuenca del Río Guatiquía, se encuentra ubicada al noroccidente del casco urbano del municipio de Villavicencio en el departamento del meta, con un área de 5.52 Km² y una longitud aproximada de 6.5 Km. Su extensión se encuentra comprendida entre los puntos P1;4°10'0.80"N, 73°40'54.27"W y P2;4° 9'23.04"N, 73°37'51.17"W; Su cauce atraviesa por las veredas Buenavista, Contadero y Mesetas Altas, hasta encontrarse con la zona urbana de la ciudad y desembocar finalmente en el río Guatiquía a una altura aproximada de 450 m de altitud, atraviesa los barrios Brisas del Guatiquía, Emporio, El Triunfo, La Esmeralda, Centro, Villa Julia, entre otros.

El municipio presenta diferentes amenazas naturales, destacándose las inundaciones y los procesos de remoción en masa; los cuales se desarrollan por diversos factores como son las características geológicas, estabilidad de laderas, altos niveles de precipitación, topografía, ubicación geográfica y a la geomorfología presente.

Por lo anterior, es importante evaluar el riesgo por fenómenos de remoción en masa en la microcuenca de Parrado, asociados con la distribución espacial de la población de los barrios anteriormente mencionados, Véase en la figura 1.

Figura 1 Mapa de ubicación de la microcuenca Caño Parrado



Nota. Elaborado en base a información suministrada por el Instituto de Información Agustín Codazzi (IGAC), 2023

5. Estado del arte

5.1 Antecedentes

De todos los países andinos, Colombia es uno de los más afectados por remociones en masa y es, en el mundo, uno de los hotspots de riesgos más importante (Nadim et al., 2006). Las causas que producen estos fenómenos pueden ser agrupadas en cuatro factores principales: 1) clima tropical húmedo, 2) actividad sismo-tectónica, 3) actividad volcánica, 4) crecimiento urbano en pendientes abruptas. La susceptibilidad al desarrollo de un evento de remoción en masa es determinada por una compleja interrelación de todos los factores mencionados anteriormente. lo cual este desencadenamiento de remociones en masa ocurre usualmente por eventos específicos que intervienen en el equilibrio dinámico de las pendientes de la cuenca, como el caso del Caño Parrado en la ciudad de Villavicencio (Autora,2022).

En Colombia se han realizado pocos estudios acerca de las lluvias como factor detonante de los movimientos en masa. Se sobresalen estudios realizados por van Westen et al. (1994) y Terlien (1997) en la cuenca del Río Chinchiná y en la ciudad de Manizales respectivamente, donde evalúan la estabilidad de las vertientes integrando un modelo hidrológico que evalúa la posición y fluctuación del nivel freático de acuerdo con la precipitación. Dicho análisis revela que movimientos superficiales son detonados por lluvias diarias superiores a los 70 mm, mientras movimientos profundos son detonados por lluvias acumuladas, antecedentes sobre 200 mm en 25 días, combinadas con lluvias diarias las cuales se reducen cuando la lluvia antecedente incrementa. Para el departamento de Antioquía, Moreno et al. (2006) estudian la relación entre lluvia y movimientos en masa para el periodo 1929-1999, proponiendo umbrales de acuerdo con la lluvia antecedentes de 15 días y la lluvia precedente de 3 días, con valores de 150 mm y 75 mm respectivamente.

A nivel municipal para el año 2001 en el mes de noviembre un deslizamiento en el nacimiento de la quebrada Alejandría, vereda Buenavista, comprometió 10 hectáreas, desapareciendo 150.000 metros cuadrados, generando en el cauce del afluente, superando el nivel del puente que empalma los túneles. Concluyendo que las causas dieron origen a una cárcava, llegando a tal nivel que la colmatación en las quebradas podría generar un alto riesgo (El tiempo, 2001).

Por consiguiente, el estudio determinó que hay un alto grado de amenaza por remoción en masa en la parte alta del asentamiento de la microcuenca Caño Parrado, lo cual es una situación que generó un estado de susceptibilidad por movimientos en masa que se producen en la microcuenca caño parrado, atravesando por diferentes afluentes de la ciudad, considerados por el plan de ordenamiento territorial (POT) de Villavicencio en su último año 2015, generando una amenaza alta.

Este estudio de investigación se justificó con la necesidad de mitigar la amenaza por remoción en masa teniendo en cuenta los diferentes antecedentes que se han presentado en la microcuenca (Autora, 2022).

Lo cual el presente estudio de investigación buscó evaluar la necesidad de mitigar las amenazas por remoción en masa, teniendo en cuenta los antecedentes respecto a los anteriores acontecimientos presentados en los sectores, ocasionando pérdidas humanas, económicas y de infraestructura (Autora, 2022).

Como argumento se tuvo en cuenta que todos estos factores se relacionan en diferentes variables, realizando así un análisis que permitiera evaluar las zonas de amenaza por remoción en masa (Autora, 2022).

6. Marco teórico

Existen en la literatura técnica gran diversidad de métodos y enfoques metodológicos para el análisis de amenaza por movimientos en masa a diferentes escalas, que han servido de base para la elaboración de guías e incluso para la generación de normas en diferentes países (AGS, 2007; Fell et al., 2008; Corominas et al., 2013). La razón fundamental de este trabajo radica en la necesidad de unificar la terminología relacionada con los movimientos en masa, resaltar las temáticas e información fundamental para el desarrollo del análisis y susceptibilidad, promoviendo la aplicación de técnicas que permitan entender la problemática relacionada con los movimientos en masa y cuyos resultados contribuyan en la toma de decisiones para la adecuada planificación de este (Autora,2022).

7. Marco conceptual

Remoción en masa. Procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Son procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original (Olivier y Renet, 1976; Tadashi, 1995).

Geomorfología de un movimiento en masa. Los procesos de remoción en masa en taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno. Los procesos de remoción en masa ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla por caída libre, erosión o flujos (SGC, 2017).

Flujo de tierra. Tienen una forma característica de “reloj de arena”, el material se licua y se acaba, formando un cuenco o depresión en la cabeza. El flujo en sí mismo es alargado y por lo general ocurre en materiales de grano fino o rocas con arcilla en pendientes moderadas y en condiciones saturadas (USGS, 1998).

Flujo rápido canalizado. cuyo movimiento es muy rápido, se desplaza de manera no canalizada o por cauces de montaña y se detiene cuando encuentra una zona de planicie (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Flujo no canalizado. El material desplazado se mueve preferencialmente a lo largo de una ladera sin un canal definido (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Topográficas. Acantilados o pendientes fuertes causados por erosión, fracturamiento de bloques, fracturamiento y plegamiento combinado y acantilamiento por medios artificiales (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Reptación. Cuyo movimiento es extremadamente lento (unos pocos centímetros al año). Se manifiesta por la acumulación de sus efectos inclinación de postes y árboles, agrietamiento de

viviendas y daños recurrentes en tuberías y obras de urbanismo (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Estratigráficas. Presencia de una o más capas masivas descansando sobre capas suaves; presencia de una o más capas permeables; alternancia de capas competentes e incompetentes, especialmente si algunas son arcillosas (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Orgánicas. Pérdida del suelo al deteriorarse su cubierta vegetal como resultado de clima caliente o seco, deforestación, cultivos o incendios (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Amenaza. Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos de salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Sepúlveda, 1998).

Reducción de la cohesión. Este factor es influyente debido a la desecación u disturbios que se generan en las capas de arcilla (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Desastre. Interacción de un fenómeno geológico extremo (de tipo catastrófico) y una comunidad u obra humana, que causa alteraciones intensas en personas, bienes, servicios y/o ambiente. Es la ocurrencia efectiva de un fenómeno peligroso que, como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, causa efectos adversos sobre los mismos (González de Vallejo et al, 2002).

Agentes naturales. Como socavación por corrientes de agua, flujo de capas subyacentes de arcilla plástica o aren, disminución del volumen de capa subyacente de material fino suelto como resultados de esfuerzos (licuación), reblandecimiento del terreno por absorción de agua a lo largo de un curso de agua o por elevación del nivel del agua y falla del terreno saturado cuando el nivel desciende y alteración química (intemperismo) de los materiales subyacentes (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Agentes Antrópicos. Como aumento de la pendiente por socavación, excavación, explotación de canteras y cortes para obras civiles tales como cimentaciones, carreteras o canales (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Erosión. Adaptando la definición presentada en el estudio Indicadores de erosión en áreas áridas y semiáridas (FAO, 2014, citado por IGAC y Corantioquia, 2014), la erosión es un proceso de pérdida continua y selectiva de materiales ocasionada por agentes naturales o antrópicos. Cuando la erosión se produce sin intervención antrópica, se denomina erosión geológica o natural, debido a la acción de agentes como el agua (hídrica), viento (eólica), deshielo (glaciar), entre otros, sobre los materiales de las capas superficiales roca o suelo; de lo contrario se considera erosión antrópica o acelerada, en la que el hombre altera los procesos naturales principalmente con prácticas como el laboreo en el sentido de la pendiente, cultivos, compactación del terreno, deforestación, quemas, minería, entre otras actividades (González de Vallejo et al, 2002).

Zonificación. La división del territorio en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo con el nivel de susceptibilidad, amenaza o riesgo actual o potencial (Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000, 2017).

Precipitaciones y condiciones climáticas. El efecto que la lluvia provoca sobre los materiales es el incremento de presiones intersticiales, la elevación del nivel freático y el flujo de agua a través del terreno. Todo ello disminuye la resistencia al corte de los materiales, además de elevar su peso e influir en sus propiedades resistentes por lo que es pertinente afirmar que muchos de los deslizamientos son causa del comportamiento hidrogeológico y del desequilibrio que este genera en algunos tipos de suelo (análisis de la zona de remoción de masa, sector de la vereda Servitá, municipio de Villavicencio: alcance de la amenaza y soluciones de ingeniería, 2019).

Clasificación de los procesos de remoción. Para la determinación del potencial de remoción de masa que consiste en el desprendimiento de materiales constituyentes de una ladera, se aplica la clasificación de Cruden y Varnes (1978). Estas clasificaciones, se fundamentan por un lado en el tipo de material que constituye la ladera susceptible de deslizarse, que puede ser roca,

escombros, o sedimentos constituidos por solo arena o lodos, suelos orgánicos o mezclas de los anteriores, que pueden estar secos, saturados o altamente saturados por agua.

Producción o formación de escarpes sobrecargados. Estos escarpes se generan por fracturamiento natural, plegamiento natural colocación de relleno o material de rezago en ángulos o inclinaciones mayores al ángulo usual de reposo.

Tabla 1 Clasificación de procesos de remoción en masa tomada de la Guía metodológica para la zonificación de amenazas a escala 1:25,000

Tipo de proceso		Tipo de material		
		Roca	Suelo ingenieril	
			Grueso	Fino
Caídas		Roca	Detritos	Tierra
Volcamiento(volteo)		Roca	Detritos	Tierra
Deslizamiento	Rotacional (Pocas unidades)	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de tierra
	Traslacional (Muchas unidades)	Bloques rocosos	Bloques de detritos	Bloques de tierra
		Roca	Detritos	Tierra
	Propagación lateral	Roca	Detritos	Tierra
Flujos		Roca	Detritos	Tierra
Complejos: combinación de dos o más de los tipos principales de movimientos				

Nota. Adaptado de (Varnes, 1978)

Tabla 2 Clasificación de los movimientos según la velocidad

Designación	Velocidad
Extremadamente Rápido	>3m/s
Muy Rápido	0.3 m/día a 0.3 m/min
Rápido	1.5 m/día a 0.3 m/min
Moderado	1.5 m/día a 1.6 m/día
Lento	1.5 m/día a 1.6 m/mes
Muy Lento	0.06 m/año a 1.6 m/año
Extremadamente Lento	<0.06 m/año

Nota. Adaptado de (Varnes, 1978)

Factores Detonantes. En términos de la probabilidad temporal calculada a partir de la frecuencia del detonante lluvia, esta no se extrapola en términos de escenarios futuros por efectos del cambio climático debido a que el clima y los deslizamientos de tierra actúan sobreponiéndose a las escalas espaciales y temporales, lo que dificulta la evaluación de los impactos climáticos en los deslizamientos de tierra (Gariano y Guzzetti, 2016).

Para la zonificación de amenaza por movimientos en masa se ha incluido el análisis de detonantes lluvia y sismo para la caracterización de la probabilidad temporal de ocurrencia de un movimiento en masa, ligada a la probabilidad temporal de ocurrencia del detonante (análisis de la zona de remoción de masa, sector de la vereda Servitá, municipio de Villavicencio: alcance de la amenaza y soluciones de ingeniería, 2019).

Factores condicionantes. Son los factores que pueden ayudar o dificultar la solución del problema o la satisfacción de una necesidad y que, en muchas ocasiones, también pueden actuar de manera neutra, dependiendo de las circunstancias que se confronten como: la geología, geomorfología, entre otros (ifbs calidad, 2017).

Geología. La presencia de materiales geológicos (roca y suelo) de baja resistencia (inherente) o la presencia de discontinuidades, son factores relacionados con la ocurrencia de movimientos en masa. Los materiales pueden ser naturalmente débiles o se pueden debilitar por procesos naturales como la saturación (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Geomorfología. Registra información de las formas del terreno, los materiales que las constituyen y los procesos superficiales que los afectan (Carvajal, 2012), en la ejecución de estudios de amenaza por movimientos en masa es obligatoria la elaboración de estos mapas tanto para los análisis de amenaza como para su validación e incorporación en la planificación territorial (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

8. Marco normativo

Tabla 3 Normativa legal vigente para la evaluación de amenazas naturales

Título	Año	Descripción
Ley 388	1997	Establecer mecanismos que permitan al municipio promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo y la prevención de desastre en asentamientos de alto riesgo, mediante un conjunto de acciones político-administrativas que permitan orientar y administrar el desarrollo físico del territorio (IDEAM, 2016).
Ley 1523	2012	Esta ley pone en manifiesto el carácter de obligatoriedad y exigencia a las entidades que se encargan de la gestión del riesgo de desastres, de generar planes de prevención y mitigación frente a cualquier tipo de amenaza de tipo natural. De igual modo solicita a los habitantes del terreno nacional actuar con precaución y protección acatando la directriz de las autoridades (UNGRD, 2022).
Decreto 019	2012	Los trámites, los procedimientos y las regulaciones administrativas tienen por finalidad proteger y garantizar la efectividad de los derechos de las personas naturales y jurídicas ante las autoridades y facilitar las relaciones de los particulares con estas como usuarias o destinatarias de sus servicios de conformidad con los principios y reglas previstos en la Constitución Política y en la ley (IDEAM, 2016).
Decreto 1807	2014	Establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan. Este decreto es fundamental para la elaboración de esta investigación debido a que establece los parámetros que se deben tener en cuenta al momento de realizar el análisis de procesos de remoción en masa tal como se estima en el Capítulo 1, artículo 8 (POMCAS, 2015).
Decreto 1077	2015	Incorpora la gestión del riesgo de desastres en los planos de ordenamiento territorial para el ministerio de vivienda, ciudad y territorio, lo cual permite priorizar las zonas en donde se requiere adelantar estudios que permitan categorizar el riesgo y establecer las medidas de intervención estructural para su manejo (Minvivienda, 2021).
NSR-10	2010	La norma sismo resistente en el Capítulo H de Estudios Geotécnicos establece la obligatoriedad de los estudios geotécnicos definitivos para todos los tipos de edificaciones tanto urbanas como suburbanas de cualquier uso. De igual manera “Establece los criterios para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de estructuras de cimentación o reforzamiento existentes... para soportar los efectos por sismos y otras amenazas geotécnicas desfavorables, objetando los estudios necesarios que permitan identificar cualquier amenaza (NSR-10, 2023).

9. Metodología

De acuerdo con los objetivos planteados y el alcance del proyecto, el presente trabajo se desarrolló basado en los lineamientos sugeridos en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000, propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, el cual propone tres etapas:

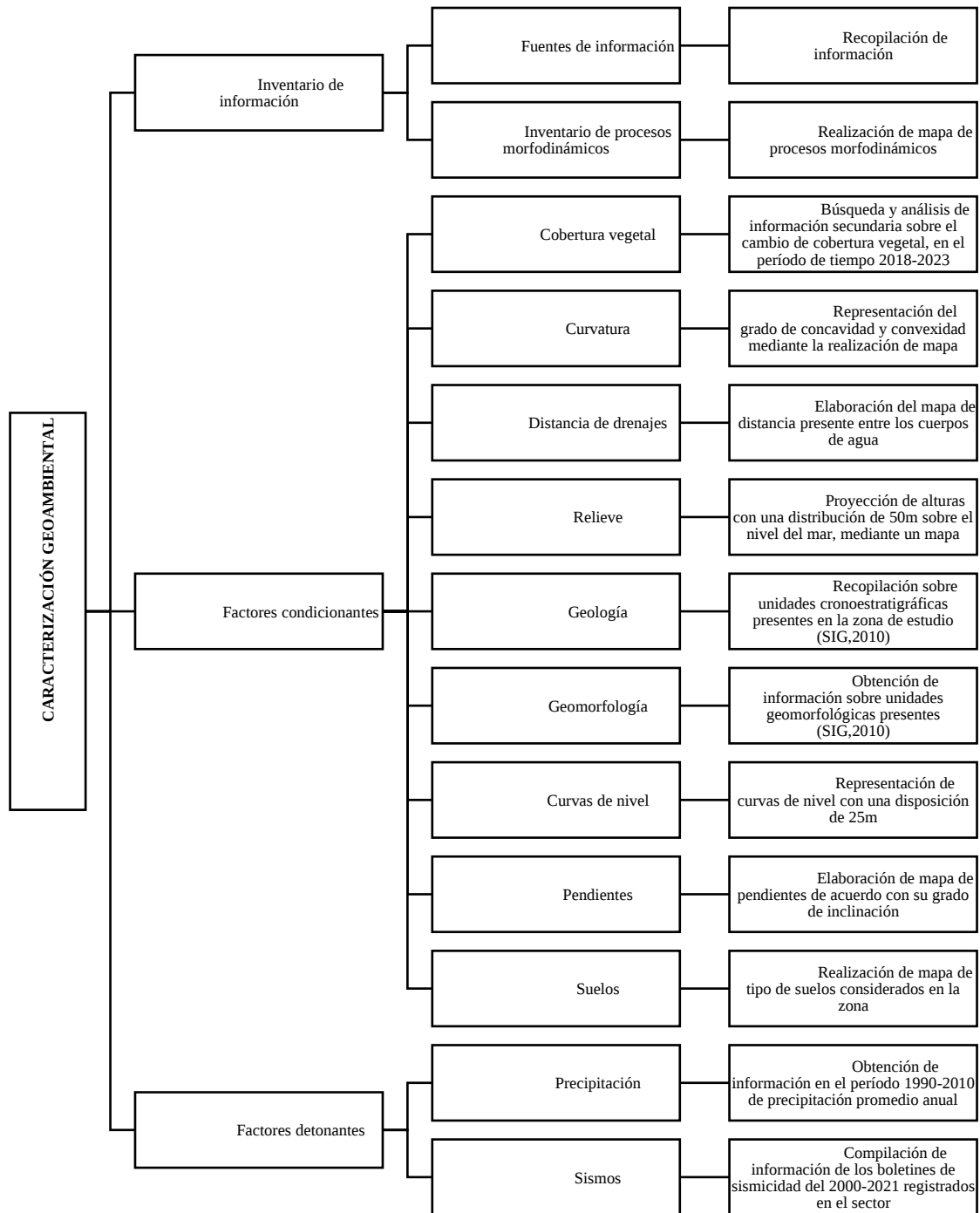
- Caracterización Geoambiental
- Análisis de susceptibilidad
- Caracterización de la amenaza

Pero debido a la falta de información como el conocimiento de todos los tipos de movimientos, la frecuencia de ocurrencia y el factor detonante lluvia o sismo, el presente proyecto solamente abordó las dos primeras etapas

9.1 Fase 1: caracterización geoambiental

Se presentan las características geológicas y ambientales del área de estudio, relacionadas con la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Donde se incluyen las temáticas de inventario de procesos morfodinámicos, la geología y unidades geológicas, cobertura de la tierra y uso del suelo y factores detonantes. Cada una de estas temáticas (geología, geomorfología, cobertura y uso del suelo) describen la importancia de cada uno de los factores geoambientales considerados en la ocurrencia de un movimiento en masa analizado de acuerdo con los escenarios de amenaza definidos para el área de estudio de la microcuenca caño parrado, corroborada posteriormente con el análisis de susceptibilidad y amenaza.

Esta fase metodológica consta de tres etapas, en la cual fue necesario buscar, recopilar y analizar información secundaria, de fuentes públicas como la Alcaldía para la elaboración del Plan de ordenamiento territorial, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de la Macarena - CORMACARENA, Servicio Geológico Colombiano, diferentes estudios encontrados en el repositorio de la Universidad Santo Tomás y la Unidad de Gestión de Riesgo de Villavicencio, quién nos proporcionaron el Modelo Digital de Elevación (MDE), identificadas con mayor nivel de detalle en el Anexo 1, para la elaboración de diferentes mapas a escala 1:25.000 procesados en ArcGIS 10.2

Figura 2 Metodología de la fase de Caracterización Geoambiental, por Autora, 2023

9.2 Inventario de procesos morfodinámicos

9.2.1 *Actividad 1: Inventario de información*

Para esta actividad se realizó la búsqueda y compilación de fuentes de información relacionada a la temática con base de datos e información correspondiente a los estudios técnicos locales realizados por diferentes entes públicos y privados, entidades públicas y privadas, como lo son; Corporación para el desarrollo sostenible de la Macarena, Alcaldía de Villavicencio, Unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres de Villavicencio, Servicio Geológico Colombiano y diferentes estudios por parte de la academia. El propósito de esta actividad fue obtener cartografía básica, mapas de geología, mapas geomorfológicos, mapas de distribución de suelos, datos históricos de ocurrencia de eventos catastróficos, datos de sismicidad histórica instrumental. Por último, se realizó una depuración, organización y análisis de la información.

Se investigó sobre la ocurrencia de los movimientos en masa en la zona de estudio, fecha, localización, dimensiones, factores que intervinieron o intervienen, potencialidad de la ocurrencia, magnitud e intensidad de la ocurrencia, volúmenes y daños que se causaron.

9.2.2 *Actividad 2: Interpretación de imágenes satelitales en plataforma y dron*

Se interpretaron imágenes disponibles en el programa Google Earth, imágenes por medio de vuelo, imágenes de satélite de alta resolución en zonas con poca accesibilidad que dificultan el levantamiento del inventario de información en campo para el mapeo de los movimientos de masa visibles y cicatrices de erosión presentes en la cuenca.

9.2.3 *Actividad 3: Levantamiento en campo*

En esta actividad se realizó un recorrido por el cauce de la cuenca para recolectar información con un mayor nivel de detalle para la caracterización de un movimiento en masa, se tomaron datos de localización mediante Gps, registro fotográfico, muestras de rocas para su posterior clasificación y determinación de las unidades geológicas a la cual pertenece.

Debido a la complejidad del sector se realizó un vuelo mediante dron para la ubicación y determinación de la extensión de los movimientos de masa presente en el área de estudio; facilitando la realización de mapas de alta resolución además para la caracterización de la vegetación presente.

9.2.4 Actividad 4: Mapa de inventario de procesos morfodinámicos

Se realizará un mapa que registre los movimientos en masa producto de inventarios observados en fotografías aéreas, imágenes satelitales o ubicados en el SIMMA y comprobados en campo de manera visual y mediante el dron.

9.3 Fase 2: factores condicionantes y detonantes

9.3.1 Fase 2.1: factores condicionantes

Los factores condicionantes indicados por el servicio geológico son: Geomorfología, geología y cobertura y uso del suelo; se realizó análisis de cada uno de estos factores de forma independiente como actividades de acorde a los objetivos propuestos y el alcance del proyecto. En relación con los factores detonantes se muestran los sismos y la lluvia registrados en el sector.

9.3.1.1. Actividad 5: Elaboración de mapa de unidades geomorfológicas y geológicas de acuerdo con los lineamientos del SGC se tomará como base para generar los siguientes mapas. Se realizaron muestras del suelo para análisis, con el fin de identificar las capas que presente como el asentamiento, estructura, características, entre otros, proponiendo generar las siguientes capas de información (variables):

- Mapas de pendiente del terreno mediante ARCGIS,
- Elaboración de mapas de subunidades geomorfológicas a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas verificando los ambientes denudacionales, fluvial, estructural o antrópico.
- Mapa que represente algunas características como rasgos que presentan inestabilidad como: erosión, zonas de deforestación, entre otros.

A continuación, se detallan los parámetros que se tuvieron en cuenta de acuerdo con la guía para la elaboración de los diferentes mapas.

Pendiente del terreno: La pendiente es el principal factor geométrico para tener en cuenta un análisis de estabilidad y puede obtenerse por medio del DEM. Lo cual es importante tener en cuenta, ya que la categorización de los rangos de pendiente del terreno está condicionada por las características morfométricas, morfológicas y morfodinámicas propias del área de estudio.

Los rangos de pendiente presentados en la siguiente tabla pueden ser aplicados a la capa de información que será utilizada en el proceso de zonificación de movimientos en masa:

Tabla 4 Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0-2	Plano a casi plano. No hay denudación apreciable
2-4	Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.
4-8	Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8-16	Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglaciares, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.
16-35	Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35-55	Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.
>55	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas.

Nota. Adaptado de Van Zuidam, (1986).

Curvatura: Permitirá determinar el grado de Concavidad/Convexidad mediante el radio de curvatura de la celda según un plano vertical, es decir, un valor positivo indica que la superficie es lateralmente convexa hacia la celda y un valor negativo indica que la superficie es lateralmente cóncava hacia la celda y un valor alrededor de cero indica que la superficie es lineal.

Se propone el uso de la curvatura perpendicular a la dirección de máxima pendiente (curvatura de plano). La variable se relaciona con los movimientos en masa en la medida en que indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial (Carrara, 1983, citado por Santacana, 2001).

Subunidades indicativas de procesos tipo caída y flujo: Tomando como base la propuesta para la generación de mapas geomorfológicos adoptada por el SGC (2012), se han definido para el análisis específico de procesos tipo caída y aflujo algunas unidades y subunidades geomorfológicas indicativas de dichos procesos, las cuales, sin embargo, no restringen el criterio del experto en el análisis de otras que se consideren relevantes en el estudio de amenaza. Una subunidad geomorfológica indicativa de inestabilidad es aquellas cuyas características morfológicas y morfométricas, así como algunas propiedades intrínsecas (litología, fracturamiento, meteorización, entre otras), se conjugan en un espacio físico y determinan la generación de un movimiento en masa.

Tabla 5 Subunidades indicativas de procesos en movimientos en masa

SUBUNIDADES INDICATIVAS DE PROCESOS						
TIPO	ANÁLISIS					
CAÍDA	Se tendrán en cuenta geoformas que se puedan relacionar con la posible inestabilidad de laderas o taludes, considerando ya sea la geoforma en sí misma, o las laderas (o escarpes) que la conforman.					
FLUJO	Se considerará las geoformas cuyo origen está relacionado principalmente con corrientes torrenciales que desembocan en zonas planas (denudacionales y fluviales).					

Nota. Adaptado de SGC, (2012)

Rasgos geomorfológicos indicativos de inestabilidad: Se identifican algunas características del terreno que no son representadas como subunidades, pero que dan cuenta de la dinámica actual y futura de la zona de estudio. Estas características son definidas como rasgos geomorfológicos indicativos de inestabilidad.

Cobertura vegetal y uso del suelo: Este factor es considerado para el análisis de amenaza con el fin de recopilar capas de información independientes que representan las condiciones actuales de vegetación o la dinámica antrópica dentro de la zona. Se recopiló y analizó información secundaria como estudios, conflictos de uso del suelo, mapas de cambio de cobertura, fotografías aéreas e imágenes satelitales del cambio de cobertura y uso del suelo. La metodología que se utilizó para ver los cambios de cobertura del suelo fue Corine Land Cover. Se elabora un mapa de la cobertura del suelo en el cual se observará cómo ha cambiado en el transcurso de 2018 hasta 2023.

9.3.1.2. Actividad 6. Elaboración de mapa de unidades geológicas. Se realizó la identificación en campo de las unidades geológicas y las estructuras establecidas por el servicio

geológico en la plancha 266, además se verificó el grado de meteorización de las rocas y posteriormente se procedió a la elaboración del mapa geológico en ArcGIS.

Se recolectaron muestras de material litológico para análisis de composición, con el fin de identificar las unidades presentes, el estado cualitativo de meteorización, para el caso de los suelos no fue posible hacer una caracterización por laboratorio, se realizó mediante revisión bibliográfica.

9.3.2 Fase 2.2: factores detonantes

9.3.2.1. Actividad 7: Lluvia. Para la solución de esta fase, se tendrá en cuenta la precipitación, para ello se le solicitará al Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) información de las precipitaciones de un periodo de tiempo determinado entre 2012 hasta 2022. Con el propósito de determinar la relación de los eventos con los altos niveles de precipitación.

9.3.2.2. Actividad 8: Sismo. Se propone la aproximación de un sismo con la probabilidad temporal de ocurrencia de este con capacidad de detonar movimientos en masa, a partir de la revisión de registros de sismicidad relacionada con movimientos en masa disponibles en el SGC.

9.4 Fase 3: análisis de susceptibilidad

Teniendo en cuenta el alcance de la guía aplicada para el presente proyecto y la escala de trabajo, que recomienda para el análisis de susceptibilidad, tanto el mapeo directo, a partir de geoformas indicativas de inestabilidad, como el análisis estadístico de factores o combinación de factores condicionantes de la ocurrencia de movimientos en masa en el área de estudio. El método se explica detalladamente en los análisis de resultados.

9.4.1 Susceptibilidad por movimientos en masa

Posteriormente para el análisis de susceptibilidad se presenta la metodología utilizada para el análisis de susceptibilidad por tipo de movimiento en masa, donde se estableció las zonas susceptibles y su relación con las características geoambientales, validando la hipótesis. Se tiene en cuenta la importancia de cada factor condicionante, es decir los posibles escenarios de amenaza de acuerdo con los resultados del análisis (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Después de obtener los mapas de Caracterización Geoambiental, procediendo al mapa de susceptibilidad mediante el método de valor de información, es decir, método bivariado donde predice los posibles deslizamientos a futuro. Para este método se rasterizan 9 factores, 8 condicionantes (pendiente, suelos, cobertura, relieve, geomorfología, geología y distancia de drenajes), y un detonante (lluvia), respecto a los movimientos en masa (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Asimismo, del ráster generado se obtuvo el valor de píxeles de por clase (NCp) de los factores condicionantes y detonantes, relacionando los movimientos en masa presentes en la zona de estudio con el número de píxeles de cada factor, para obtener el número de píxeles por movimientos en masa (NSp), (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Finalmente se aplica la ecuación para calcular la probabilidad condicional (Cp), la probabilidad previa (Pp), y por último el logaritmo de la probabilidad condicional sobre la previa (Guedjeo et al., 2017).

$$Cp \frac{NSp}{NCp} \rightarrow \text{Cálculo de probabilidad condicional}$$

$$Pp \frac{NSp}{NCp} \rightarrow \text{Cálculo de probabilidad previa}$$

$$Inf = \log \frac{Cp}{Pp} \text{ o } \ln \frac{\frac{NSp}{NCp}}{\frac{NSp}{NCp}} \rightarrow \text{Cálculo de valor informativo}$$

Donde:

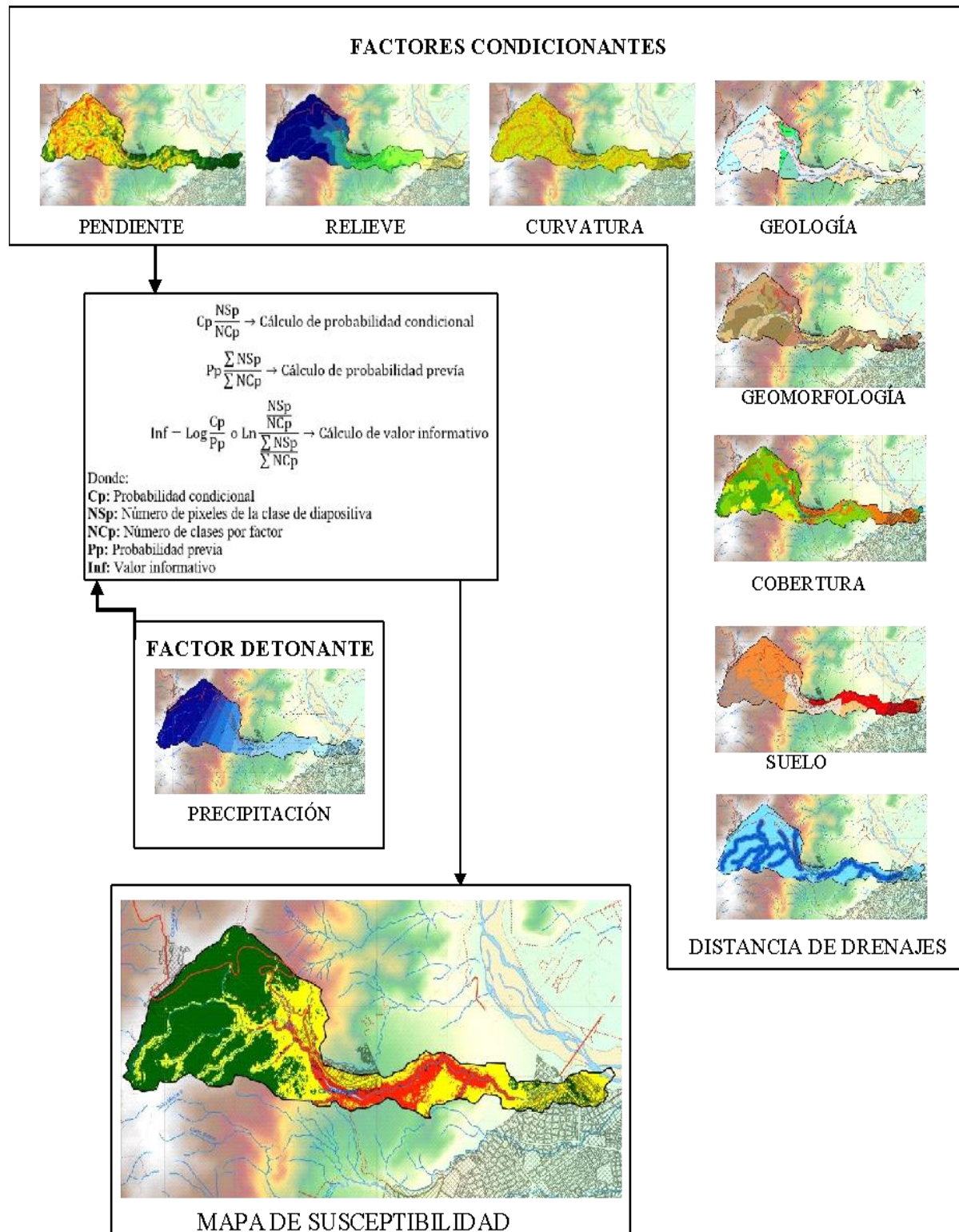
Cp: Probabilidad condicional

NSp: Número de píxeles de la clase de diapositiva

NCp: Número de clases por factor

Pp: Probabilidad previa

Inf: Valor informativo

Figura 3 Metodología bivariado de Valor Informativo, por Autora, 2023

10. Resultados y análisis resultados

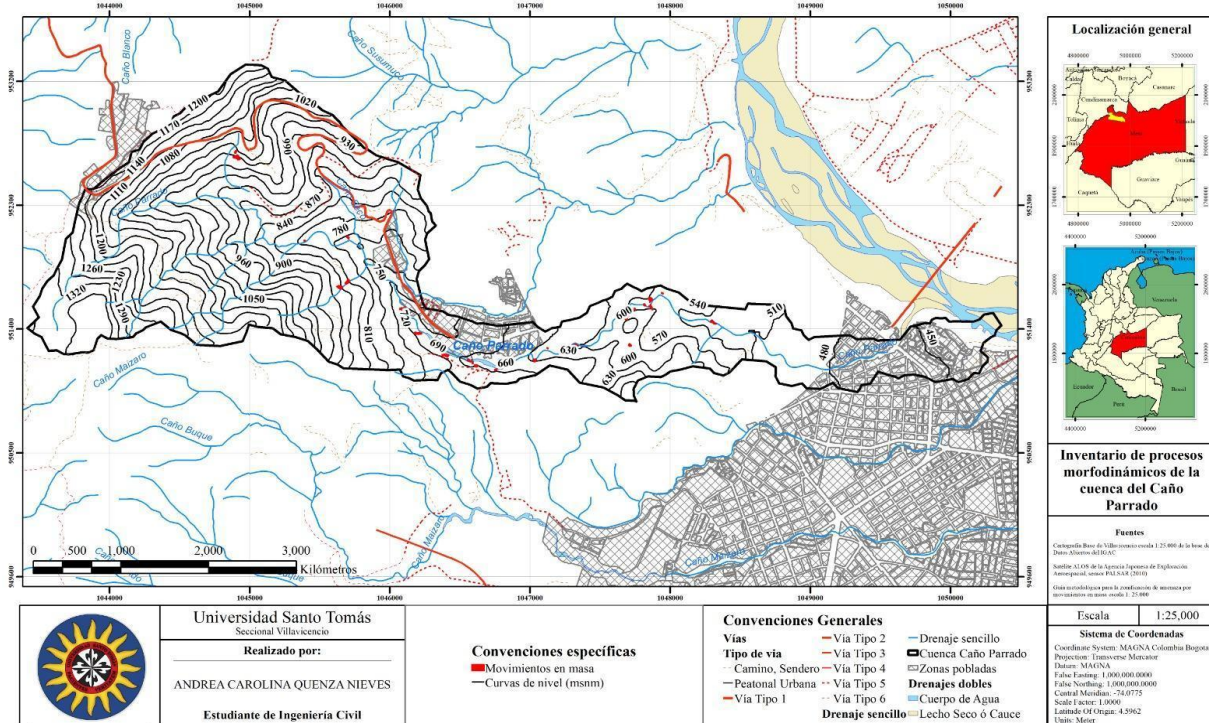
10.1. Caracterización geoambiental

10.1.1 Inventario de procesos morfodinámicos

En la microcuenca Caño Parrado se registraron 13 movimientos en masa, de los cuales 11 son tipo deslizamiento y 2 tipo caída, evidenciados en campo en el periodo 2022-2023 (Autora, 2023) presentes en la tabla 6. Los deslizamientos se producen sobre varias superficies de suelos y/o rocas escarpadas por acción de la gravedad y por la alta deformación y grado de meteorización que presenta las rocas; las áreas afectadas se encuentran desprovista de vegetación y se evidencia el alto contenido de humedad del suelo; los movimientos de mayor envergadura, que cubre un área mayor a 470m² se describen en detalle en el anexo 2, descritas en diferentes fichas de caracterización.

Tabla 6 Inventario de Movimientos en masa presentes en la microcuenca Caño Parrado

Nº	Tipo de movimiento	Importancia	Latitud	Longitud	Altura
1	Caída	Alta	04°09'39.7"	73°38'59.1"	561m
2	Deslizamiento	Alta	04°09'39.6"	73°38'58.9"	568m
3	Deslizamiento	Alta	04°09'40.7"	73°39'00.1"	562m
4	Caída	Alta	04°09'39.7"	73°39'01.0"	545m
5	Deslizamiento	Alta	04°09'39.7"	73°39'00.9"	550m
6	Deslizamiento	Alta	04°09'38.6"	73°39'03.0"	538m
7	Deslizamiento	Alta	04°09'37.5"	73°39'04.4"	533m
8	Deslizamiento	Alta	04°09'37.6"	73°39'04.7"	537m
9	Deslizamiento	Alta	04°09'40.5"	73°38'59.2"	588m
10	Deslizamiento	Alta	04°09'40.8"	73°38'59.0"	571m
11	Deslizamiento	Alta	04°09'41.1"	73°38'59.1"	563m
12	Deslizamiento	Alta	04°09'42.5"	73°38'56.7"	558m
13	Deslizamiento	Alta	04°09'42.6"	73°38'56.8"	558m

Figura 4 Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos, Autora (2023).

Nota. Elaborado con información suministrada por el IGAC, 2023

En la figura 5, se evidencia uno de los principales movimientos presentes en el área de estudio, descrito como movimiento tipo deslizamiento rotacional de forma cóncava, cuya ubicación se presenta en las coordenadas 04°09'22.37" Norte y 73°39'40.46" Oeste, aldaño al barrio el Triunfo y al tramo vial antiguo Villavicencio – Bogotá, es indiscutible las dimensiones por el área superficial, la envergadura, la ausencia de vegetación, los sedimentos que aporta al cauce, que puede contribuir con una avenida torrencial.

Figura 5 *Movimiento en masa presentado en la microcuenca del Caño Parrado.*



En la zona se localizan 13 movimientos de masa, los cuales se pudieron cartografiar por las imágenes captadas por el dron y comprobadas en la visita de campo, se registró la ubicación exacta de cada uno de los movimientos activos mediante un GPS, información plasmada en la tabla. Cabe destacar que además de los movimientos de masa inventariados, sobresalen la gran cantidad de detritos que ocupa el cauce de origen fluviotorrencial.

10.2 Factores condicionantes

10.2.1 Cobertura vegetal

Uno de los factores condicionantes importantes en la ocurrencia de movimientos en masa es el cambio de cobertura de la tierra, ya sea por causas naturales o antrópicas. Generando factores mecánicos los cuales controlan la erosión, resistencia del suelo, protección del suelo y enraizamiento (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

Dentro de la zona de estudio las actividades antrópicas han generado la aparición de patrones que afectan la estabilidad del talud como es evidente en varias zonas de la microcuenca, generando inestabilidad del talud, cambios en el ciclo hidrológico y deterioro en la calidad del agua, como es el caso del mal manejo de las aguas servidas y el aporte de residuos sólidos (Véase en la figura 6).

Figura 6 *Mal manejo de Aguas Residuales, aporte al Caño Parrado*



Dado que la cobertura vegetal es un factor detonante importante, la ausencia contribuye en los procesos erosivos y por ende en los movimientos en masa (INGEOMINAS,2011), para el presente trabajo se realizó el cambio de cobertura para el año 2018 y se comparó con el presente año 2023.

En la Tabla 7 se identificaron 22 usos del suelo de la microcuenca Caño Parrado, donde se evidencian las coberturas vegetales para el año 2018.

Tabla 7 Área de usos del suelo para el año 2018 de la microcuenca Caño Parrado

ID	Tipo de cobertura	Área (ha)	% Área	% Por zonas
1	Bosque abierto alto	42.64	7.13%	30.43%
2	Bosque abierto bajo	2.74	0.46%	
3	Bosque de galería arbolado	45.66	7.64%	
4	Bosque de galería mixto	4.33	0.72%	
5	Bosque de galería y ripario	7.94	1.33%	
6	Bosque denso alto	78.66	13.16%	
7	Guadua asociada a cuerpos de agua	8.14	1.36%	1.36%
8	Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.87	0.98%	10.80%
9	Mosaico de pastos cultivos y espacios naturales	19.23	3.22%	
10	Mosaico de pastos y cultivos	13.00	2.17%	
11	Mosaico de pastos y espacios naturales	26.46	4.42%	
12	Pastos arbolados	9.93	1.66%	
13	Pastos degradados	3.17	0.53%	
14	Pastos enmalezados	74.94	12.53%	20.82%
15	Pastos limpios	36.42	6.09%	
16	Red vial	2.19	0.37%	
17	Ríos	6.57	1.10%	
18	Tejido urbano continuo	100.15	16.75%	
19	Tejido urbano discontinuo	19.16	3.21%	19.96%
20	Tierras desnudas y degradadas	5.76	0.96%	
21	Vegetación secundaria alta	23.28	3.89%	
22	Vegetación secundaria baja	61.63	10.31%	
Total		597.88	100%	100.00%

Nota. Adaptado de SIG,2018

Comprendiendo las zonas boscosas como las zonas más denotativas con un porcentaje del 30,43% de la microcuenca Caño Parrado y seguido de los pastos con un porcentaje por área del 20,82%, identificando la zona con menor cobertura por área las tierras desnudas y degradadas en un 0,92% presentados para el año 2018.

10.2.2 Cobertura vegetal actual (2023)

Tabla 8 Área de usos del suelo para el año 2023 de la microcuenca Caño Parrado

ID	Tipo de cobertura	Número de píxeles	Área (ha)	% Área	% Por zonas
1	Bosque abierto alto	3371	52.67	8.74%	45.91%
2	Bosque abierto bajo	674	10.53	1.75%	
3	Bosque de galería arbolado	3848	60.13	9.97%	
4	Bosque de galería mixto	4425	69.14	11.47%	
5	Bosque denso alto	5395	84.30	13.98%	
6	Mosaico de pastos cultivos y espacios naturales	61	0.95	0.16%	
7	Mosaico de pastos y cultivos	0	0.00	0.00%	5.34%
8	Mosaico de pastos y espacios naturales	1999	31.23	5.18%	

9	Pastos arbolados	2079	32.48	5.39%	12.34%
10	Pastos degradados	364	5.69	0.94%	
11	Pastos enmalezados	1419	22.17	3.68%	
12	Pastos limpios	899	14.05	2.33%	
13	Red vial	345	5.39	0.89%	0.89%
14	Ríos	632	9.88	1.64%	1.64%
15	Tejido urbano continuo	6869	107.33	17.80%	21.57%
16	Tejido urbano discontinuo	1455	22.73	3.77%	
17	Tierras desnudas y degradadas	420	6.56	1.09%	1.09%
18	Vegetación secundaria alta	2011	31.42	5.21%	11.22%
19	Vegetación secundaria baja	2316	36.19	6.00%	
Total			602.84	100%	100.00%

Se evidencian cambios de cobertura en zonas boscosas aumentando en un 15,48% y una disminución en pastos arbolados de un 8,48%, así mismo se evidencio como la guadua asociada a cuerpos de agua desaparecieron en un 1,36%. Aumento en el tejido urbano que pasó de 19,96% a 21,57%, al igual que el porcentaje de tierras desnudas y degradadas véase figura 7.

Mapa de cobertura vegetal actual de la cuenca del Caño Parrado

Convencciones específicas

- Movimientos en masa
- Cobertura vegetal
- Esqueje abierto alto
- Esqueje abierto bajo
- Esqueje de galería arbolado
- Esqueje de galería matorral
- Esqueje denso alto
- Montes de paises cultivos y especies nativas
- Montes de paises y espacios naturales
- Paisaje arbolado
- Paisaje degradado
- Paisaje controlado
- Paisaje limpio
- Paisaje vital
- Paisaje
- Paisaje urbano continuo
- Paisaje urbano discontinuo
- Paisaje urbano degradado
- Paisaje secundario alto
- Vegetación secundaria baja

Convencciones Generales

Vías

- Vía Tipo 1
- Vía Tipo 2
- Vía Tipo 3
- Camino, Sendero
- Peatonal Urbana
- Vía Tipo 5
- Vía Tipo 6

Drenaje sencillo

- Cuenca Caño Parrado
- Zonas pobladas
- Drenajes dobles
- Cuerpo de Agua
- Lecho Seco ó Cauce

Localización general

Mapa de cobertura vegetal actual de la cuenca del Caño Parrado

Fuente

Cartografía: Base de Vigilancia a escala 1:20,000 de la Ins. Pura Alvarado A01007

Sistema de Coordenadas: UTM de la Agencia Espacial de Exploración Aeroespacial, zona 18S UTM (2010)

Para más información sobre la metodología de muestreo por estratificación ver anexo 1, pág. 174

Escala 1:25,000

Sistema de Coordenadas

Coordenado System: MAGNA Colombia Bogotá

Proyección: Transverse Mercator

Datums: MAGNA

Falso Easting: 1,600,000.0000

Falso Northing: 1,000,000.0000

Central Meridian: -74.0775

Scale Factor: 1.0000

Latitude Of Origin: 4.2962

Units: Meter

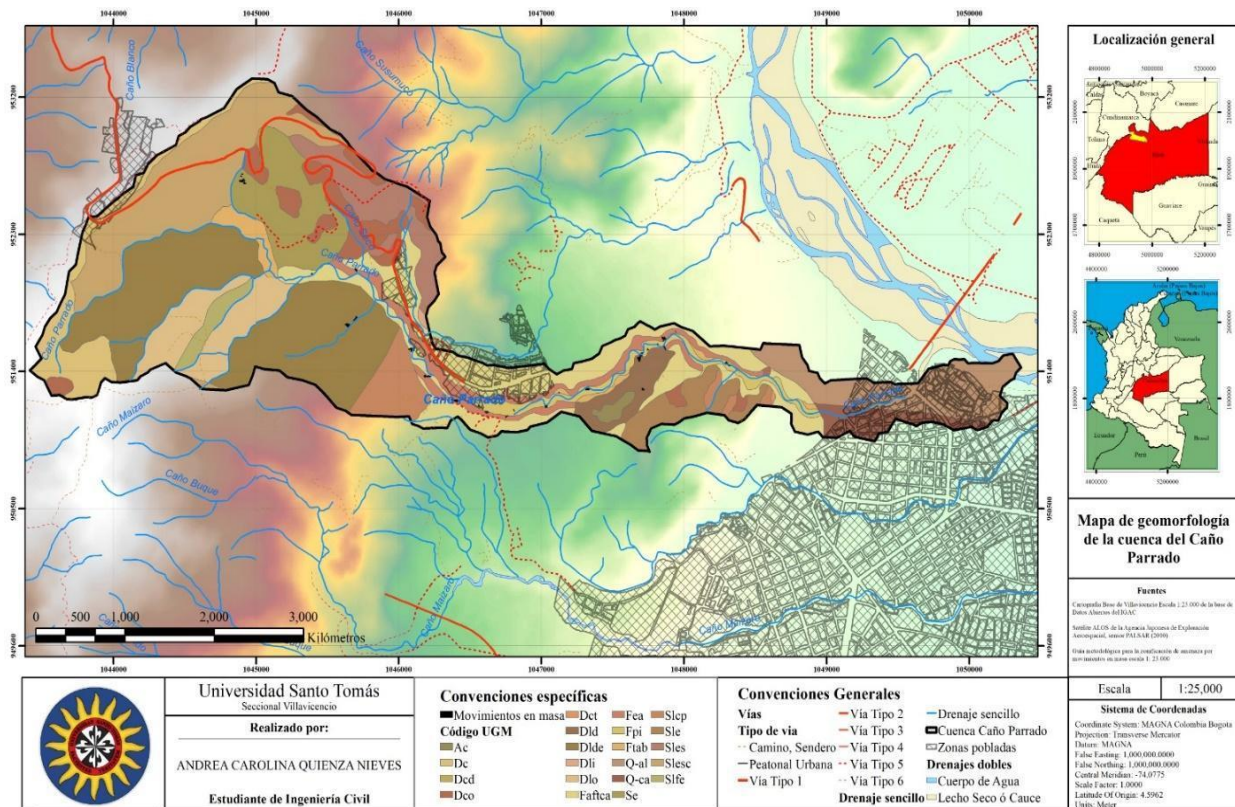
10.2.3 Geomorfología

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano sobre la geomorfología aplicada a movimientos en masa de la plancha 266 de Villavicencio donde se localiza la zona de estudio, permitiendo evaluar el comportamiento del terreno, los procesos que lo formaron y su alcance en los procesos dinámicos presentes en el sector (INGEOMINAS,2001).

Con el fin de aplicar la metodología la parte media de la cuenca caño parrado se distribuye con un 20,38% lomo denudado, 12,96% abanico fluviotorrencial coalescente antiguo y en la cuenca alta un 12,96% ladera escarpada; siendo estas las unidades más representativas a lo largo de la cuenca Caño Parrado, con un menor porcentaje en cuenca denudada de un 0,02% presentados en la cuenca alta y conos de talus con un 0,03% pronunciados en la parte baja. Observándose en la Tabla 9 los porcentajes por área de cada una de las unidades geomorfológicas identificadas en el mapa, figura 8.

Tabla 9 Unidades geomorfológicas presentes en Caño Parrado

ID	UGM	Descripción	Área (ha)	% Área
1	Ac	Cantera	2.69	0.45%
2	Dc	Cima	28.25	4.73%
3	Dcd	Cuenca denudada	0.11	0.02%
4	Dco	Coluvión	31.32	5.24%
5	Dct	Cono de talus	0.21	0.03%
6	Dld	Loma denudada	13.07	2.19%
7	Dlde	Lomo denudado	121.86	20.38%
8	Dli	Ladera inclinada	0.56	0.09%
9	Dlo	Ladera ondulada	33.77	5.65%
10	Faftca	Abanico fluviotorrencial coalescente antiguo	77.46	12.96%
11	Fea	Escarpe de abanico	22.78	3.81%
12	Fpi	Plano o llanura de inundación	14.05	2.35%
13	Ftab	Terraza de acumulación baja	9.23	1.54%
14	Q-al	Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	42.76	7.15%
15	Q-ca	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	13.78	2.30%
16	Se	Espinazo	37.78	6.32%
17	Slcp	Ladera contrapendiente	20.01	3.35%
18	Sle	Ladera estructural	17.36	2.90%
19	Sles	Ladera escalonada	28.22	4.72%
20	Slesc	Ladera escarpada	75.47	12.62%
21	Slfe	Escarpe de línea de falla	7.14	1.19%
Total			597.88	100%

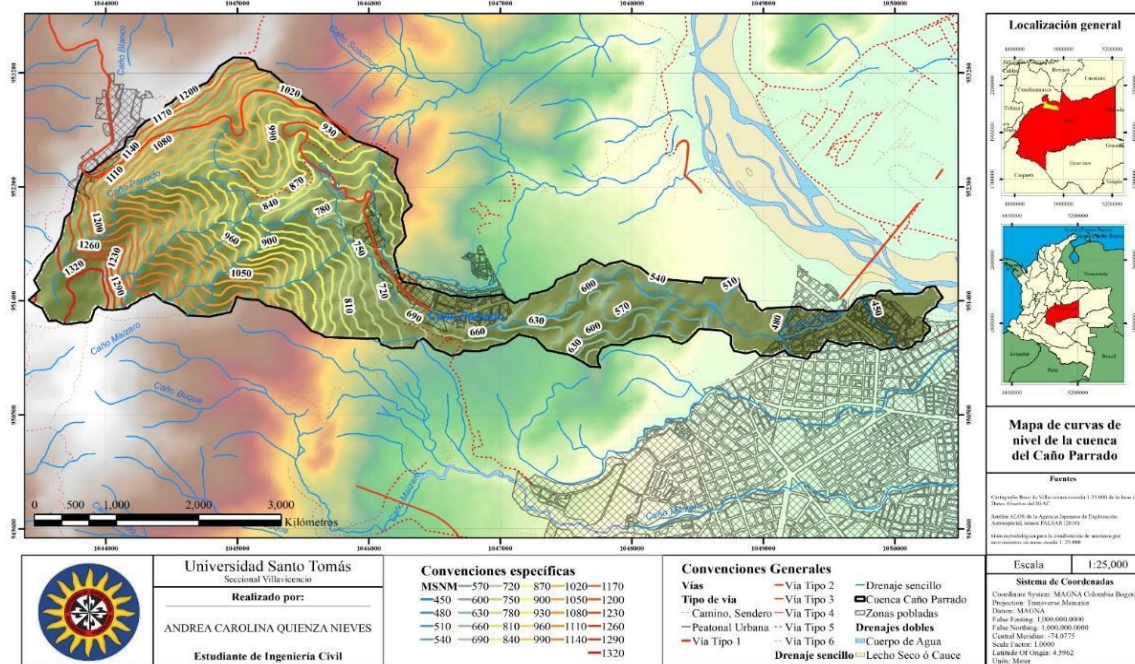
Figura 8 Mapa geomorfológico de la microcuenca Caño Parrado (2023).

Nota. Elaborado con información suministrada por el IGAC, 2023, adaptada por Autora (2023)

10.2.4 Curvas de nivel

La diferencia en la altitud de las curvas de nivel de Caño Parrado es de 30m, de acuerdo con el mapa se identifican diferentes tipos de curvas de nivel, desde el más alto hasta el más bajo, que van de 450 a 1320 msnm, las cuales no indican el número de altura del terreno y su complejidad.

Indicando en la parte alta de la microcuenca Caño Parrado, pendientes de mayor grado de inclinación, en cuanto a la parte media y baja las pendientes son más alejadas debido a que su grado de inclinación es menor, véase en la figura 9.

Figura 9 Mapa de Curvas de Nivel, por Autora (2023)

10.2.5 Pendiente

La variable pendiente es importante para el análisis de susceptibilidad para la recopilación que constituye un fenómeno gravitacional en donde las zonas altas de pendiente con un mayor rango generan la propagación de movimientos en masa (Tao et al., 2016).

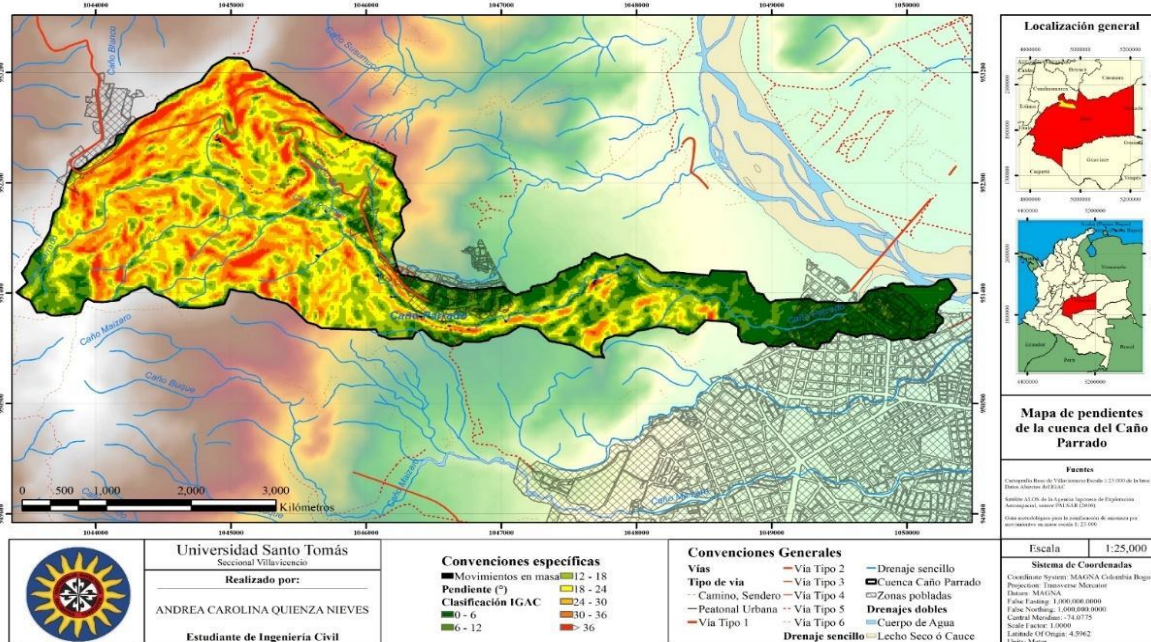
La microcuenca Caño Parrado se encuentra localizada sobre el Piedemonte de la Cordillera Oriental con una altimetría de referencia con respecto a Villavicencio de 467 msnm con alta diversidad de pendientes. Teniendo en cuenta los valores de inclinación que se encuentran en un rango de 0° a 55°, clasificados en 7 rangos según la guía metodológica 1:25.000 y modificados de acuerdo con el IGAC con el área de estudio.

Tabla 10 Rango de pendientes presentes en la microcuenca Caño Parrado

ID	Intervalo (°)	Descripción	Número de píxeles	Área (ha)	% Área
1	0 - 6	Plano	6091	95.17	15.91%
2	6 - 12	Ligeramente plano	5408	84.50	14.13%
3	12 - 18	Ligeramente inclinado	6593	103.02	17.22%
4	18 - 24	Fuertemente ondulado	8190	127.97	21.39%
5	24 - 30	Fuertemente quebrado	6786	106.03	17.73%
6	30 - 36	Escarpado	3799	59.36	9.92%
7	> 36	Muy escarpado	1417	22.14	3.70%
Total			38284	598.19	100.00%

Como se indica en la Tabla 10, el rango de pendiente con mayor porcentaje por área se encuentra en los intervalos 18°-24° con un 127,97 Ha a partir de lo analizado en el mapa de pendientes, esta zona se encuentra en la parte alta de la microcuenca y extendiéndose sobre la microcuenca media, considerándose una zona con altos procesos denudacionales y con alta propensión de procesos erosivos en la parte media, asimismo el rango con menor porcentaje es considerado con un área de 22,14Ha correspondiente a >36° considerado muy escarpado debido a sus inclinaciones abruptas y desniveladas que contienen roca presentado en la zona alta de la microcuenca (Guía metodológica 1:25,000, 2017), véase en la figura 10.

Figura 10 Mapa de Pendientes, por Autora (2023).



10.2.6 Curvatura

La curvatura indica la forma de las laderas, relacionada con los movimientos en masa en la medida en que se indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial. En zonas cóncavas el flujo se concentra hacia la celda mientras se dispersa en las convexas, es decir se determina el grado de concavidad o convexidad de una determinada zona en el área de estudio (Servicio Geológico Colombiano, 2017), a partir de los siguientes aspectos:

1. **Valor positivo:** Superfície lateralmente convexa

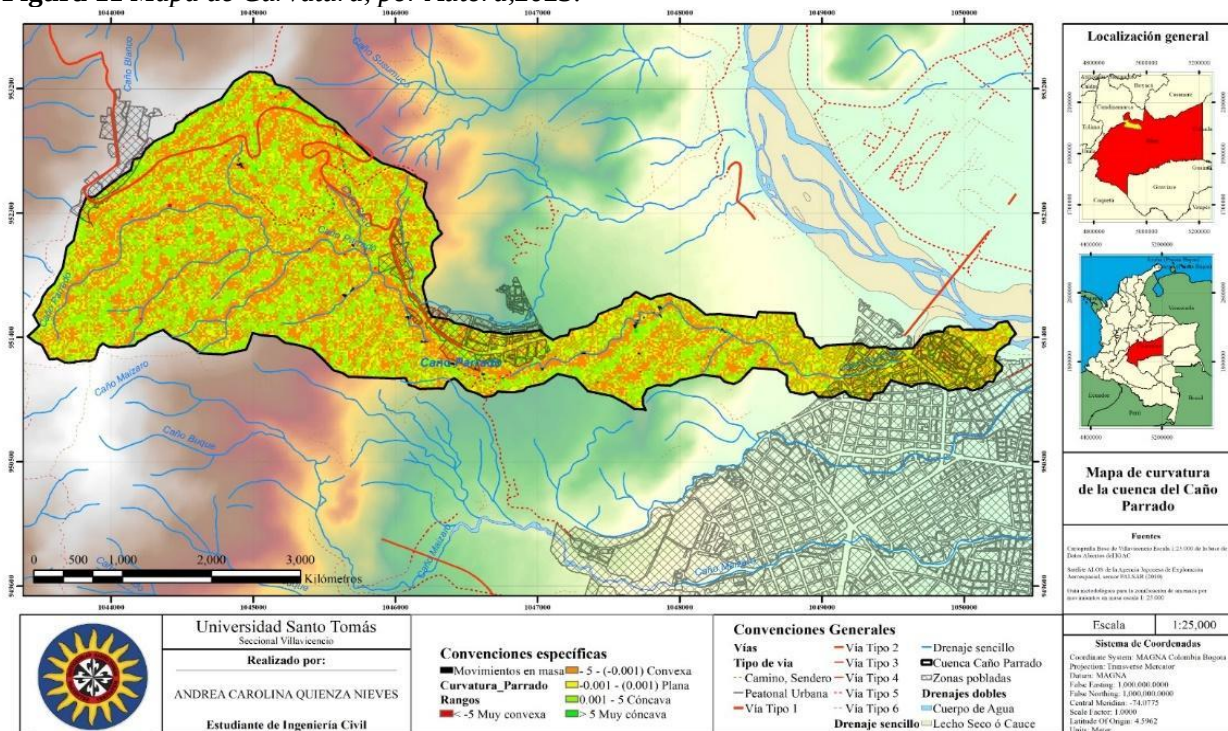
2. **Valor negativo:** Superficie lateralmente cóncava
3. **Valor cercano a cero:** Superficie lineal

Esta variable se divide en 5 intervalos, como se indica en Tabla 11 y se evidencia en la figura 11, donde se contempla el dominio de la curvatura cóncava con un porcentaje de área de 60,16%, seguido de la convexa con un porcentaje de área de 39,64%.

Tabla 11 Áreas de intervalos de Curvatura presentes

ID	Intervalos	Número de píxeles	Área (ha)	% Área
1	< -5	50	0.78	0.13%
2	- 5 - (-0.001)	15220	237.81	39.82%
3	-0.001 - (0.001)	7851	122.67	20.54%
4	0.001 - 5	15038	234.97	39.34%
5	> 5	64	1.00	0.17%
Total		38223	597.23	100%

Figura 11 Mapa de Curvatura, por Autora, 2023.



Evidenciado en la figura 11 se comprende la distribución de curvatura en la zona de estudio, siendo la cóncava con mayor área. Considerando el alto grado de concavidad de la curvatura del terreno, los movimientos en masa serán acelerados y la superficie les facilitará el desplazamiento por efecto de la gravedad (Rojas, 2018).

De tal modo que en superficie convexa se dispersan los flujos, predominando la cóncava, es decir más afectiva en la captación de agua de lluvia que es un condicionante morfológico característico en los movimientos en masa superficiales (Carrara,1973), citado por (Santacana, 2001).

10.2.7 Distancia de drenajes

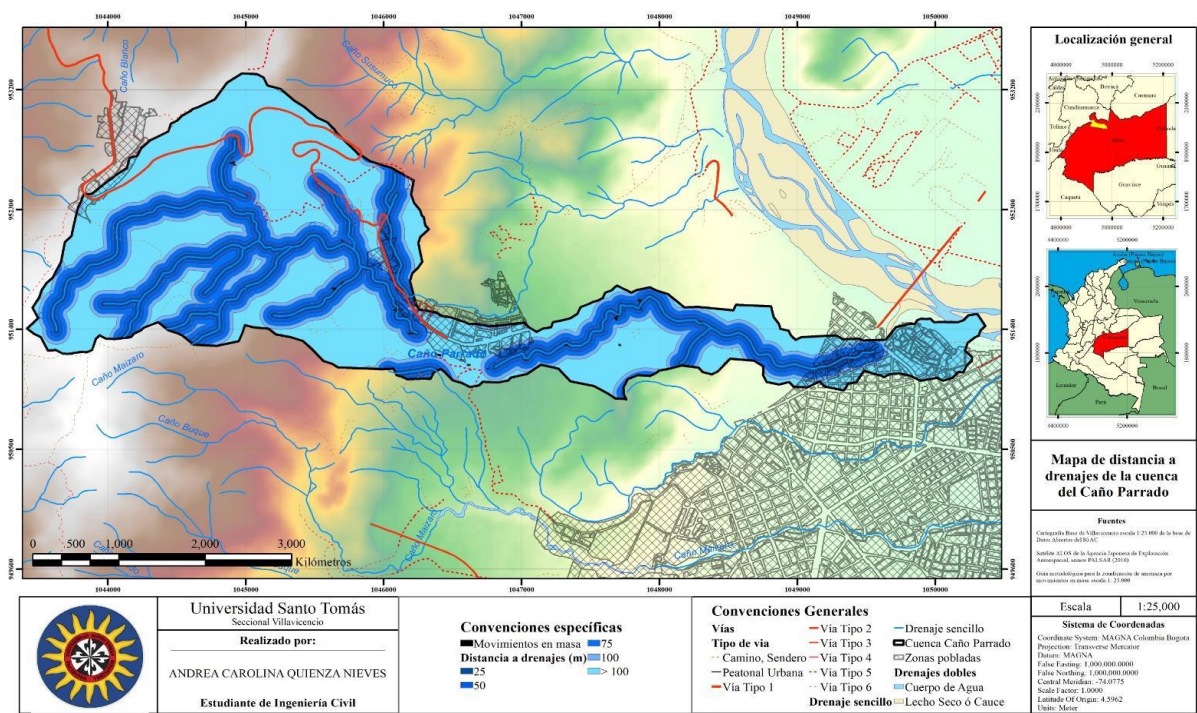
Los drenajes dan una idea del orden o cantidad del caudal que transporta en el afluente hídrico Caño Parrado, además que tiene la particularidad de identificar los caudales de los ríos no navegables permanentes o intermitentes. De modo que para el área de estudio predomina el intervalo >100 con un porcentaje por área del 51.89% de la microcuenca identificado en la figura 11, indicando que las zonas de este rango son menos propensas a movimientos en masa debido a que se encuentran retiradas del drenaje o afluente, el rango con menor área es de 75-100 con un porcentaje en área de 11.31% considerándose zonas menos propensas a movimientos en masa y en un rango de 25 m se identifica con zonas de mayor susceptibilidad por movimientos debido a sus distancias menos prolongadas de acuerdo a los movimientos en masa generados en la microcuenca media del Caño Parrado(Guía metodológica 1:25,000, 2017).

De acuerdo con los resultados la densidad de los drenajes permite el aumento de escorrentía de materiales, junto con las altas pendientes presentes en el tramo alto y medio y las altas precipitaciones que oscilan entre 4348mm y 5539 mm anual superando el registro promedio anual en Villavicencio de acuerdo con el IDEAM de 4383 mm (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM),2014). Véase en la figura 12.

Tabla 12 Intervalos de distancia de drenajes

ID	Intervalo (m)	Área (ha)	% Área
1	0 - 25	74.89	12.53%
2	25 - 50	73.64	12.32%
3	50 - 75	71.49	11.96%
4	75 - 100	67.63	11.31%
5	> 100	310.23	51.89%
Total		597.88	100%

Figura 12 Mapa de Distancia de Drenajes, por Autora,2023.



10.2.8 Relieve

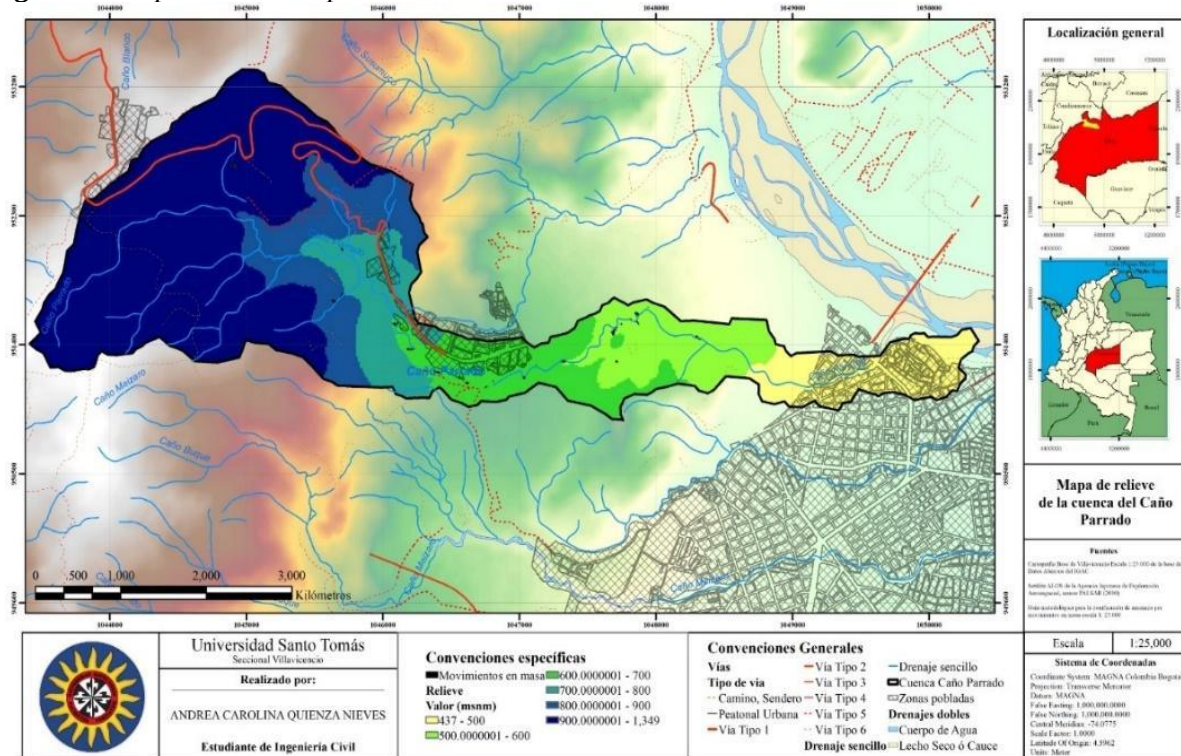
El relieve para el área de estudio presenta irregularidades típicas de zonas montañosas, con pendientes elevadas en las unidades de vertiente y más suaves en la parte baja. Así como la exposición de las laderas, lo que incide directamente en la vegetación. De manera que la microcuenca Caño Parrado cuenta con un porcentaje de 47.63%, siendo la más representativa con un rango mayor a 900 msnm siendo la más representativa en la parte alta y la menos representativa en la parte baja con un 9.01%, en un rango de 700-800 msnm, como se observa en la Tabla 13. Identificándose en el mapa de relieve (figura 13).

Tabla 13 Intervalos de altura en Mapa de relieve

ID	Intervalo (msnm)	Número de píxeles	Área (ha)	% Área
1	437 - 500	3574	55.84	9.35%
2	500 - 600	3831	59.86	10.02%
3	600 - 700	4130	64.53	10.81%
4	700 - 800	3445	53.83	9.01%
5	800 - 900	5038	78.72	13.18%
6	> 900	18205	284.45	47.63%
Total		38223	597.23	100%

Este proceso beneficia los procesos gravitatorios por la diferencia de altitud, es decir originando laderas de alta probabilidad con factores que desencadenan movimientos en masa que influyen en la erosión y depósito de este, permitiendo la meteorización y/o sedimentación de las rocas superficiales que lo conforman (Rodríguez Valdivia, Alan et al., 2004).

Figura 13 Mapa de Relieve, por Autora, 2023



En la zona predomina las unidades pertenecientes al grupo Cáqueza, conformado por las formaciones de del mismo nombre, lutitas de Macanal y brechas de Buenavista y depósitos aluviales y de derrubio del cuaternario. (ver tabla 14)

Tabla 14 Formaciones geológicas presentes en la Microcuenca Caño Parrado

Nombre	Nomenclatura	Edad	Descripción
Depósitos Aluviales	Qal	Cuaternario	Sedimentos cuaternarios
Depósitos de Derrubio	Qd	Cuaternario	Se desarrollan sobre las laderas y son acumulaciones por gravedad de cantos de roca de diferentes tamaños.
Grupo Palmichal	KPgp	Cretácico superior	Arenita blanco-amarillenta grano medio a conglomerático con guijos de cuarzo lechoso, hasta de 2 cm de diámetro, alternan con conjuntos de arcillolita silícea de color gris.
Formación Arenisca de Cáqueza	Kic	Cretácico inferior	Arenita cuarzosa blanca, grano medio a conglomerático con gránulos de cuarzo hasta de 1cm de diámetro. Presenta intercalaciones de lodolitas gris verdosa
Formación Lutitas de Macanal	Kilm	Cretácico inferior	Lodolita gris oscura laminar con delgadas intercalaciones de arenita lítica de grano medio y capas delgadas de conglomerados. Los niveles arcillolíticos presentan amonitas y bivalvos. Algunos niveles de calcáreos. La base de la unidad se constituye por alternancia de lodolita
Formación Brechas de Buenavista	Jsb	Jurásico	Conglomerado con cantos redondeados y angulares hasta de 1 m de diámetro que incluyen cuarcita, pizarra, filita y cuarzo lechoso.

Nota. Plancha 266

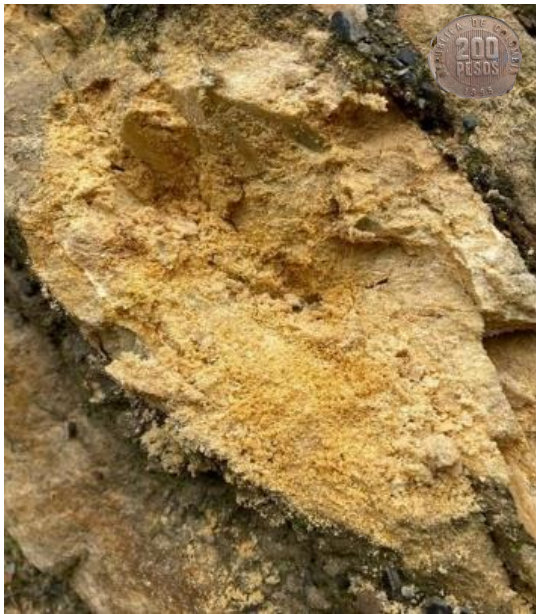
Las formaciones geológicas presentes en la microcuenca Caño Parrado; La Formación Cáqueza, compuesta con areniscas, esquistos, lutitas negras y conglomerado cuarcítico basal, que aflora en la carretera Bogotá-Villavicencio entre el puente sobre el río Cáqueza y la población de Quetame (Hubach, 1957).

Litológicamente las rocas de la Formación Lutitas de Macanal en el sector de Caño Parrado, se establecen gravas arenosas de granos subangulares a subredondeados con tamaño variable entre gránulo (2mm) y arena fina (0.2mm), de muy bajo grado de madurez, constituida por cuarzo, plagioclasa en granos maclados polisintéticamente, ortoclasa micropertítica, fragmentos de metaconglomerado cuarzoso y cuarzo deformado por cataclasis, filita micácea y como accesorio circón y pirita, asociada con láminas de materia orgánica.

Los movimientos de masa se presentan principalmente en la formación Cáqueza, de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (2014), la unidad está conformado por arenisca ce

cuarzo blanco, de grano medio, con alternancia de lodolita. En el sector predomina las areniscas, encontrándose en alto estado de meteorización (IV), baja cohesión y presentado un comportamiento de flujo. Ver figura 14

Figura 14 Areniscas de tamaño medio, con tamaño de grano alrededor de 0,6mm de forma irregular redondeado pertenecientes a la unidad estratigráfica de formación Cáqueza.



Grado	Clasificación
I	Fresco
II	Ligeramente degradada
III	Moderadamente degradada
IV	Altamente degradada
V	Completamente degradada
VI	Suelo residual

Nota. Price (2009)

De acuerdo con el servicio geológico 1998, en el sector se presenta la Falla del Mirador y la Falla Bavaria, catalogadas como fallas inversas. La Falla el mirador pone en contacto la secuencia metamórfica de la formación Brechas de Buenavista con las Lutitas de Macanal; cuya formación a su vez está en contacto con la formación Cáqueza por la falla Bavaria. Las fallas fueron identificadas en el sector por el lineamiento de los drenajes identificados en las imágenes satelitales. Las rocas en el área de estudio está altamente diaclasada, factor que contribuye a la meteorización y a los movimientos de masa ver figura 15.

Figura 15 En la imagen de la izquierda se observan las rocas altamente diaclasada pertenecientes a la unidad estratigráfica de formación Cáqueza.



10.2.10 Suelos

En esta variable el suelo es de poco desarrollo en las vertientes, como consecuencia de las fuertes pendientes. Pero sí un factor importante para los movimientos en masa ya que se forman a partir de la meteorización de rocas, donde se clasifican de acuerdo con sus propiedades físicas, origen, historia tectónica, diagénesis, procesos de sedimentación a meteorización y metamorfismo los cuales intervienen en su comportamiento, (SGC,2017).

En la microcuenca Caño Parrado se contemplan 9 Unidades Cartográficas de suelo (UCS), véase en la figura 16, como se observa en la tabla 15, evidenciando la litología con mayor área en Esquistos, filitas y conglomerados brechados con porcentaje de 41.7% lo cual los esquistos son de baja resistencia.

Tabla 15 Clasificación del suelo SUCS en la Microcuenca Caño Parrado

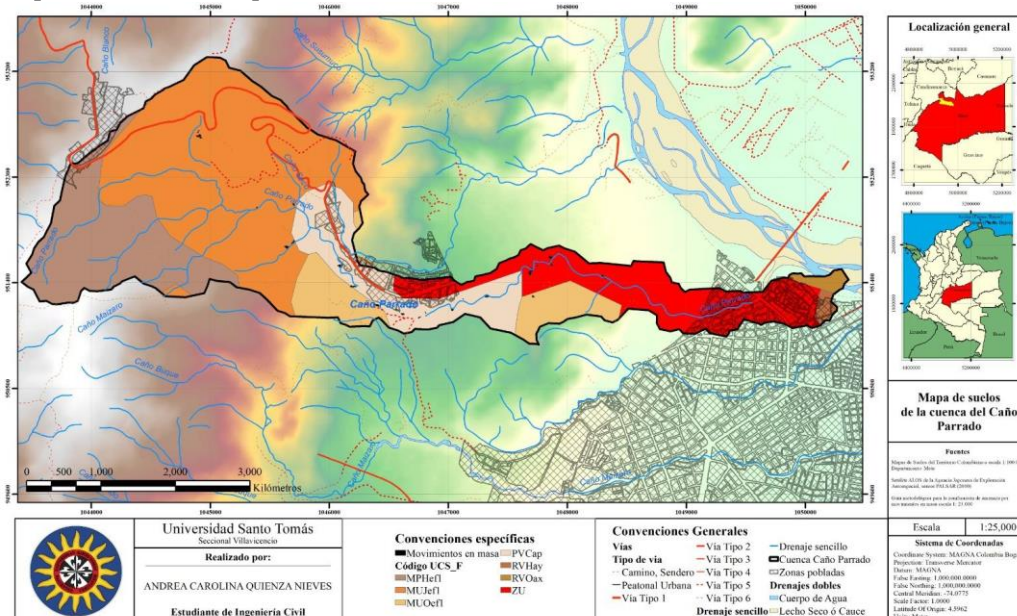
ID	UCS	UCS_F	Composición de los clastos presentes en los suelos	Porcentaje	Área (ha)	% Área
1	MPH	MPHef1	Arcillolitas con inclusiones de esquistos	40, 35, 25	111.13	18.59%
2	MUJ	MUJef1	Esquistos, filitas y conglomerados brechados	45, 30, 25	249.47	41.73%
3	MUO	MUOef1	Areniscas y arcillolitas intercaladas	40, 30, 25	0.93	0.16%
4	MUO	MUOef1	Areniscas y arcillolitas intercaladas	40, 30, 25	27.16	4.54%
5	MUO	MUOef1	Areniscas y arcillolitas intercaladas	40, 30, 25	24.35	4.07%
6	PVC	PVCap	Sedimentos mixtos aluviales que cubren depósitos de cantos y gravas bastante alterados	75, 25	74.97	12.54%
7	RVH	RVHay	Depósitos mixtos aluviales	45, 35	3.50	0.58%

Tabla 15 Continuación

8	RVO	RVOax	Cantos, gravas y arenas aluviales		5.15	0.86%
9	ZU	ZU	Zona urbana	Zona urbana	101.22	16.93%
Total					597.88	100.00%

Nota. Información suministrada por el IGAC (2023),

Figura 16 Mapa de Suelos UCS presentes en la microcuenca Caño Parrado



Nota. Información suministrada por el IGAC (2023),

10.3. Factores detonantes

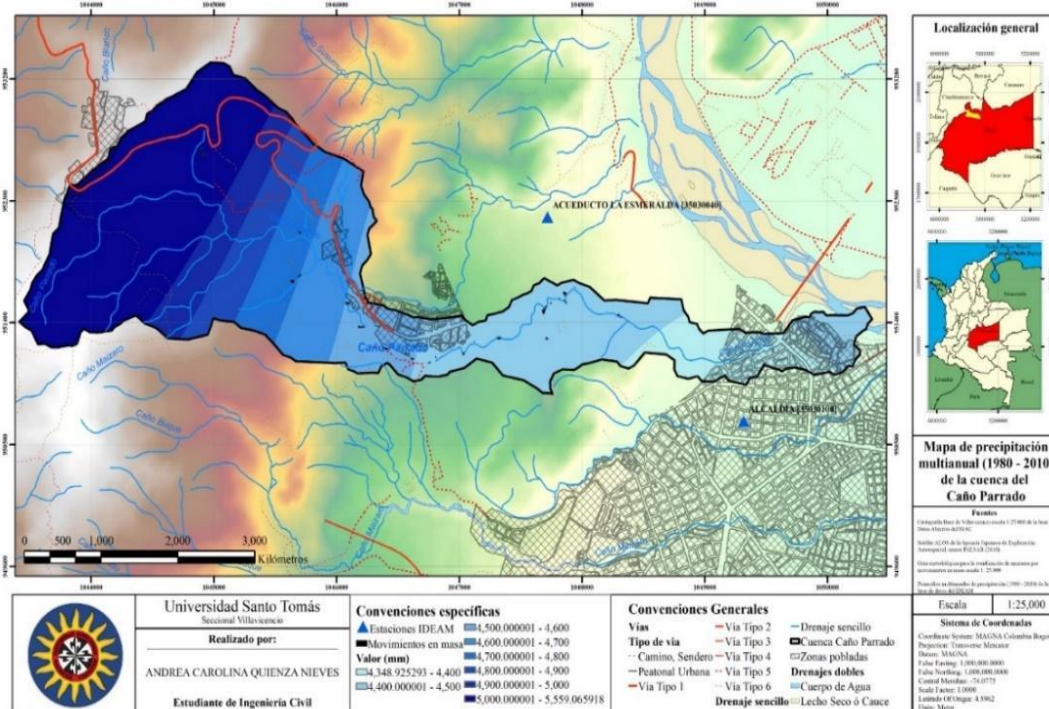
10.3.1. Precipitación

Según (Dahal et al., 2008) la incidencia de precipitación como factor detonante es de gran importancia en los movimientos en masa, por ende, ha sido involucrada en las evaluaciones de susceptibilidad. En la figura 17 se observa el mapa de isoyetas, en el cual se presenta de manera gráfica la distribución de precipitación sobre la zona para el período de tiempo de 1998 a 2010, de acuerdo con la precipitación anual de información disponible de las estaciones meteorológicas. Cabe resaltar que el tramo alto de Caño Parrado presenta mayor intensidad de lluvia con un intervalo mayor a 5000 mm, ocupando un porcentaje de área de 35.03% de la zona de estudio presente en la Tabla 16. Villavicencio cuenta con un promedio anual de 4383 mm, es decir, que la microcuenca Caño Parrado supera este promedio anual de precipitaciones (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), 2014).

Tabla 16 Precipitaciones anuales (1998-2010) de la Microcuenca Caño Parrado

ID	Intervalo (mm)	Número de píxeles	Área (ha)	% Área
1	4348 - 4400	2959	46.23	7.73%
2	4400 - 4500	7404	115.69	19.35%
3	4500 - 4600	2355	36.80	6.15%
4	4600 - 4700	3603	56.30	9.41%
5	4700 - 4800	2882	45.03	7.53%
6	4800 - 4900	2779	43.42	7.26%
7	4900 - 5000	2881	45.02	7.53%
8	> 5000	13406	209.47	35.03%
Total		38269	597.95	100%

Nota. información suministrada y modificada por el IDEAM (2023)

Figura 17 Mapa de precipitación anual (1998-2010)

Nota. información suministrada y modificada por el IDEAM (2023)

10.3.2. Sismos

Los sismos afectan el equilibrio de las laderas y ocasionan movimientos en masa, por medio de vibraciones, los cuales pueden generar efectos de roturas en el terreno y grandes deformaciones (Manrique, 2016). Se realiza una presentación de los sismos ocurridos en el periodo de tiempo del 2000 al 2020 en el municipio de Villavicencio, como se visualiza en la tabla 17. Donde la mayoría de los sismos se encuentran en el rango de profundidad de 0-30km, expresados de color rojo y de color verde el sismo con mayor profundidad en un rango de 70-120km, ocurrido

el 8 de octubre del 2001. Enfatizando los sismos relevantes con mayor magnitud, sucedidos el 31 de mayo del 2000, 12 de junio del 2010 y 12 de junio del 2014, con una magnitud de 3.8Mw, 3.7Mw y 4.3Mw respectivamente.

Tabla 17 Sismos registrados por la Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC (SGC (1998-2020))

Fecha	Hora	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Profundidad (km)	Magnitud (ml)	# fases
31/05/2000	02:07:33	4.217	-73.711	1.3	3.8	8
8/10/2001	21:42:09	4.209	-73.593	109.0	1.9	3
12/06/2010	14:22:44	4.218	-73.696	2.4	3.7	14
18/06/2010	06:54:13	4.147	-73.719	13.6	2.7	12
6/07/2010	12:47:02	4.151	-73.657	23.2	1.9	5
7/01/2011	17:27:19	4.173	-73.585	10.1	1.8	4
30/01/2011	08:17:13	4.199	-73.573	4.0	1.8	8
30/01/2011	08:41:01	4.197	-73.612	9.6	1.6	5
19/04/2011	12:39:30	4.098	-73.642	20.0	1.9	4
21/04/2011	00:30:03	4.183	-73.616	2.9	1.7	5
13/07/2011	21:24:17	4.104	-73.698	0.0	1.6	4
2/10/2011	00:55:18	4.080	-73.583	34.0	1.4	4
13/06/2012	12:11:44	4.185	-73.591	4.0	1.8	4
13/06/2013	10:55:54	4.219	-73.634	0.0	2.3	8
9/07/2013	23:16:23	4.124	-73.689	4.1	2.0	9
9/11/2013	07:51:09	4.134	-73.698	3.1	1.7	6
12/06/2014	06:30:41	4.189	-73.705	0.1	4.3	28
15/08/2014	07:51:48	4.217	-73.675	12.8	1.3	4
23/12/2014	23:50:21	4.231	-73.679	0.0	2.0	14
20/08/2015	06:24:32	4.075	-73.552	1.1	1.5	8
6/01/2016	00:24:43	4.207	-73.714	0.0	1.5	9
4/02/2016	14:07:40	4.187	-73.702	0.0	2.8	20
21/03/2017	07:37:44	4.176	-73.719	0.0	2.8	23
19/03/2018	22:15:27	4.165	-73.683	0	1,3	13
24/03/2018	16:41:34	4,058	-73,645	-0,18	2,2	18
24/07/2018	21:49:11	4,195	-73,704	13,71	0,9	17
24/07/2018	23:01:40	4,114	-73,695	11,44	0,6	16
26/07/2018	20:05:13	4,199	-73,715	10,9	1	17
28/07/2018	6:04:00	4,114	-73,676	10	1,3	23
17/08/2018	7:58:59	4,083	-73,763	-0,14	2,1	47
17/09/2018	10:07:17	4,118	-73,734	-0,4	1,7	20
19/11/2018	0:28:38	4,151	-73,638	-0,21	1,1	9
29/04/2019	22:24:12	4,253	-73,719	4,84	1,9	13
31/08/2019	14:41:48	4,165	-73,567	6,11	2,2	24
22/12/2019	4:33:00	4,045	-73,477	19,44	1,8	9
24/12/2019	20:35:39	4,117	-73,636	-0,2	1,8	11
1/01/2020	15:04:52	4,089	-73,582	11,32	1,1	10
8/01/2020	17:31:04	4,065	-73,635	32,78	1,1	10
12/01/2020	16:13:09	4,224	-73,648	0,6	1,1	10
24/04/2020	14:45:27	4,012	-73,556	13,05	1	10
1/06/2020	9:35:37	4,23	-73,681	5,28	1,6	13

Nota. Información suministrada por el Servicio Geológico Colombiano, (2023)

11. Susceptibilidad por movimientos en masa

Para el análisis de susceptibilidad por deslizamientos se realizó por medio del método estadístico bivariado WofE. Brindando un soporte para la validación de la hipótesis planteada sobre los factores condicionantes más importantes para la ocurrencia de los movimientos en masa en la microcuenca Caño Parrado, las cuales son elaboradas a partir del análisis de inventario de movimientos en masa (Guía metodológica 1:25,000, 2017).

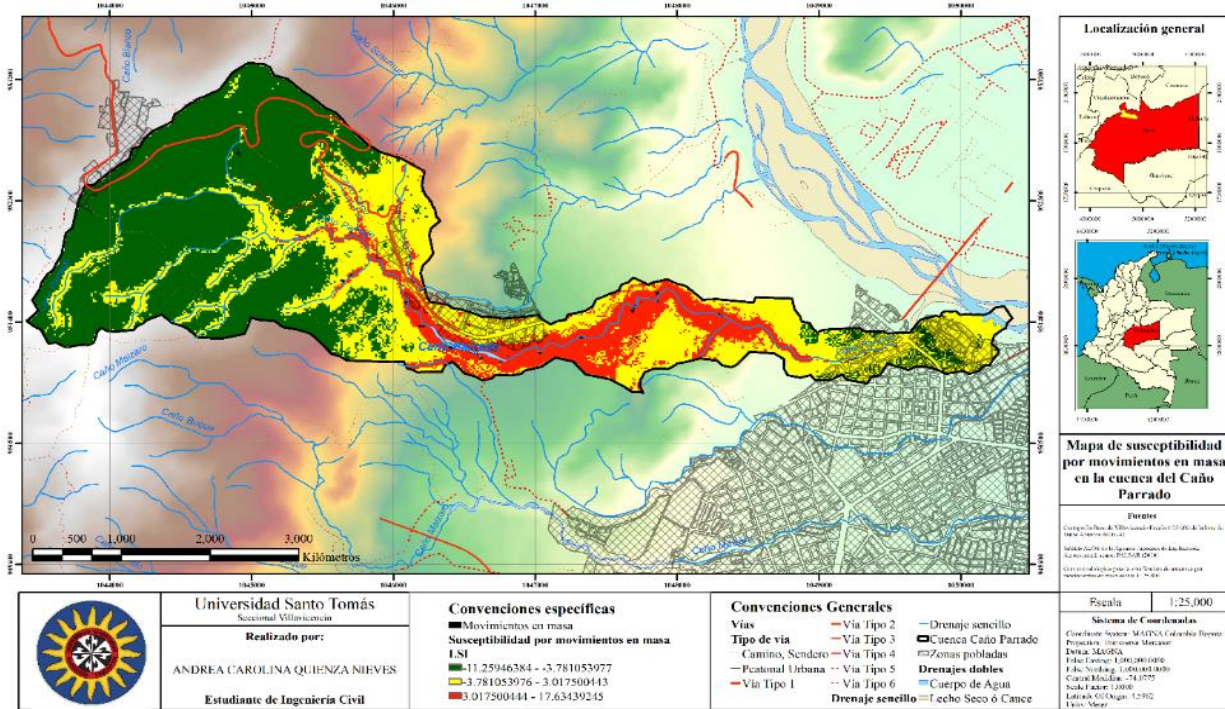
El método evalúa los patrones de asociación entre los factores condicionantes (evidencias) y las áreas inestables que considera la probabilidad incondicional y condicional de que ocurra un movimiento en masa (Bonham,1994).

Para el mapa de susceptibilidad se define un valor de área afectada para las variables de suelos, pendiente, relieve, curvatura, cobertura vegetal, geomorfología, geología, precipitaciones y distancia de drenajes. Desarrollando la ecuación de cálculo de valor informativo y se obtiene un valor de información (figura 14). Clasificando la zona de estudio en 3 categorías:

1. Susceptibilidad Alta (101)
2. Susceptibilidad Media
3. Susceptibilidad Baja

Los pesos finales para el análisis susceptibilidad aplicando el método WofE en el estudio de Zonificación de la Amenaza por movimientos en masa se evidencian en la tabla 18, identificados en el mapa de la figura 18 para el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa de la microcuenca Caño Parrado muy alta con rasgos geomorfológicos de carcavamiento con tipo de movimientos en masa activos del inventario de procesos morfodinámicos.

Figura 18 Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la microcuenca Caño Parrado



Nota. información suministrada por el IGAC (2023)

Conclusiones

La microcuenca Caño Parrado presenta diversas zonas de inestabilidad por movimientos en masa debido a las propiedades del suelo presente y las aguas que fluyen hacia la depresión geológica que constituye la microcuenca, así mismo como las altas pendientes del terreno y taludes en las zonas laterales, generando un análisis de susceptibilidad por movimientos en masa. El método usado para el análisis de susceptibilidad se basa en las condiciones en que ocurrieron los movimientos en masa y que puedan ocurrir a futuro.

De modo que este proyecto de investigación tiene como objetivo realizar un análisis de movimientos teniendo en cuenta los procesos morfodinámicos, así como las capas de información cartográfica, donde se identifican las posibles zonas de ocurrencia del movimiento en masa, como aquellas que pueden ser afectadas por el alcance o distancia del movimiento, lo cual han generado afluentes y condiciones geológicas, geomorfológicas y de cobertura, zonas inestables con procesos de gran volumen y propagación.

Para finalizar se tiene que la microcuenca Caño Parrado es una cuenca escarpada con un uso de suelo tipo B con capacidades de infiltración moderadas y con un alto rango de susceptibilidad por movimientos en masa debido a que están presente tres tipos de fallas presentes, considerando el más prolongado colepato con una longitud de 40 km, donde el 45% de su longitud es catalogada como activa con una tasa intermedia 0,01 a 0,1 cm/año.

Referencias bibliográficas

- Acosta Sabogal, I. (2014). Impacto del cambio climático en la remoción en masa del municipio de Villavicencio, *Revista de Cap & Cua. Ciencia, tecnología y cultura*. (11). 8-15. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4763412.pdf>
- Aguilar, J. (2021). *17 viviendas en riesgo por deslizamiento en el barrio 12 de octubre*. <https://www.joseivanaguilar.com/2022/05/03/17-viviendas-en-riesgo-por-deslizamiento-en-el-barrio-12-de-octubre/>
- Aristizábal, E., Martínez, H., y Vélez, J.I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y naturales*. 34(131). 210-227. https://www.accefyn.com/revista/Vol_34/131/209-227.pdf
- Charman, P., & Murphy, B. (2007). *Soil, Their properties and management* Oxford University Press
- Chen, T; Niu, R; N., & Jia, X. (2016). *A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS*. *Environmental Earth Sciences*, 75(10). <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5317-y>
- Congreso de la República de Colombia. (24, abril de 2012). Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 48.411 <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=17985#2>
- Cormacarena. (2022). *Naturalista*. <https://www.naturalista.mx/projects/identificacion-de-especies-en-la-cuenca-cano-parrado-cormacarena>
- Cruz Castañeda, A. N. Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la ciudad de Villavicencio. [*Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15584>
- DesInventar. (2022). *Información general de UNDRR*. <https://www.desinventar.org/>
- Freitas, M. (2009). *Engineering Geology, Principles and Practice*. Springer <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-68626-2>
- García Moreno, M. F., & Ricardo Santana, J. A. (2020). Estado del arte de metodologías para la evaluación de vulnerabilidad a nivel social y económico debido a amenazas de procesos de

- remoción en masa. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/882
- González de Vallejo, Luis (2002). *Capítulo 11: Prevención de riesgos geológicos*. En. Ingeniería Geológica. Pearson Educación.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). (2001). *Plancha 266 de Villavicencio*. Ingeominas.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). (2001). *Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio - Meta*. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B2/11003010002668/documento/pdf/0101026681102000.pdf>
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). (2010). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:500.000*. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B8/21003050024427/Documento/Pdf/2105244271101000.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (2014). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- Ito, R; Hashimoto, I; Masukawa, Y. & Hoshino, T. (2013). Effect of Cation- π Interactions and Steric Bulk on the Catalytic Action of Oxidosqualene Cyclase: A Case Study of Phe728 of β -Amyrin Synthase from Euphorbia tirucalli L. *Chemistry A European Journal*. 50(19). 17150-17158. <https://doi.org/10.1002/chem.201301917>
- Mergili, M. Marchant Santiago, I. Moreiras, M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Revista colombiana de geografía*, 24(2). 113-131. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a7.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guia-tecnica-formulacion-pomcas/>
- Ministerio de Salud y Protección Social; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (1, marzo de 2017). *Resolución 0549 2017. Por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%20No.0549%20de%202017.pdf
- Rodríguez Castiblanco, E. A., Sandoval Ramírez, J. H., Chaparro Cordón, J. L., Trejos González, G. A., Medina Bello, E., Ramírez Hernández, K. C., Castro Marín, E., Castro Guerra, J. A., & Ruiz Peña, G. L. (Eds.). (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000*. Editorial del Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978225>
- Sarmiento Linares, P. A. (2017). Desarrollo y análisis de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa: uso y evaluación del método heurístico del proceso de análisis jerárquico y comparación de criterios adecuados [*Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*]. *Repositorio*. https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Sarmiento-Linares-Paula-Alejandra.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. (2020). *Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA)*. <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>
- Ulloa Melo, C. (1988). *Excursión geológica Bogotá- Villavicencio- Acacias*. Ingeominas (ed.). Tercer Congreso Colombiano del Petróleo.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (19 de 08 de 2020). *Portal gestión de riesgo*. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>
- Zuidam, R. & Allan, J. (1987). *Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping*. Journal Royal Geologhaphical Society, 153(3), 428–429. <https://doi.org/10.2307/633706>

Anexos

Anexo 1. Inventario de información

Título del documento de investigación/Autor	Tipo de entidad		Tipo de documento		Tipo de información secundaria	Link o Dirección/fecha De publicación del artículo o la investigación
	Pública	Privada	Artículo	Otro. cuál		
Gestión del Riesgo de Villavicencio	X		X		Bases de datos (DEM) y Ortofotomosaico.	Quenza, 2023 / Propia por medio de fotografías aéreas
Alcaldía de Villavicencio	X		X		Informe del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)	http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan%20de%20Desarrollo%20Villavicencio%20Cambia%20Contenido%202020%20-%202023.pdf
Comité Empresarial Acueducto comunitario Buenavista	X			Acta de vecindad	Información de emergencias por movimientos en masa, a partir de fotografías digitales y entrevistas con la población.	https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/bfc94f85-d3b9-4c17-a704-4308aadeea96/content
Sistema de Información Geográfica	X			Mapa/Informes	Seguimiento de los movimientos en masa presentes en el área de estudio del 2018-2023	Actualización de cobertura Por Quenza, 2023
SGC y SIMMA	X			Inventario	Información de movimientos en masa en base de datos y Mapa de movimientos en masa.	https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/
USTA		X		Mapeo	Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en Masa y Memoria explicativa de la Plancha 266.	https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13281&shelfbrowse_itemnumber=13185
SASPlanet	X			Fotografías	Fotografía aérea	DRON
Google Earth	X			Mapa	Rasterización	Google Earth

Anexo 2 Caracterización de los movimientos en la cuenca caño parrado

Ficha1. Procesos de erosión y movimientos de masa característicos de caño Parrado

Tipo de proceso	Deslizamiento
Ubicación	Microcuenca Caño Parrado
Coordenadas	04°09'39.6" 73°38'58.9"
Altura	568m – Área 475m ²
Geología y Geomorfología	Formación Cáqueza, roca altamente diaclasada y con meteorización.
Descripción del proceso	Se trata de un deslizamiento de gran proporción con presencia de rocas meteorizadas y diaclasada, facilitando el deslizamiento.
Estado	Activo
Posibles Causas	Altas pendientes Precipitación constante
Actividad Uso del Suelo	Presencia de vegetación baja y pastos arbolados
Amenaza	Vereda con respecto a intersección vial



Movimiento Localizado

Tipo de proceso	Deslizamiento
Ubicación	Microcuenca Caño Parrado
Coordenadas	04°09'38.6" 73°39'03.0"

Altura	538m
Geología y Geomorfología	Formación Cáqueza, suelo permeable, fenómeno de socavación
Descripción del proceso	Proceso de carcavamiento que tiende a ampliarse lateralmente debido a la presencia de deslizamientos por procesos de meteorización hacia ambos flancos de la cárcava, los cuales involucran lutitas muy fracturadas, material coluvial y pequeños niveles de suelo residual, afectando un área considerable de pastos.
Estado	Activo
Posibles Causas	Altas pendientes Precipitación constante Socavación lateral Depósito poco consolidado
Actividad Uso del Suelo	Presencia de vegetación baja, presencia con pasto en gran porcentaje de área
Amenaza	Vereda con respecto a intersección vial
Movimiento Localizado	

Anexo 3 Información por area sobre los factores condicionante y detonantes

Se encuentra alojado en el Repositorio Institucional de la Universidad Santo Tomás en una hoja de calculo con pestaña con el siguiente contenido:

Movimientos en masa

Cobertura Vegetal 2018

Cobertura Vegetal 2023

Distancia de Drenajes

Relieve

Geomorfología

Pendientes

Suelos

Precipitacion

Método Wofe

Anexo 4 Mapa de ubicación

Anexo 5 Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos

Anexo 6 Cobertura Vegetal 2023

Anexo 7 Mapa Geomorfológico

Anexo 8 Mapa de Curvas de Nivel

Anexo 9 Mapa de Pendientes

Anexo 10 Mapa de Curvatura

Anexo 11 Mapa de Distancia de Drenajes

Anexo 12 Mapa de Relieve

Anexo 13 Mapa de Suelos UCS

Anexo 14 Mapa de Precipitación

Anexo 15 Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en masa