

Estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa del municipio de Coromoro,
Santander; Practica empresarial en Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S

Camila Andrea Piñeres Solano

Plan de trabajo de grado

Práctica empresarial

Director

Leonardo Palmera Sánchez

Geólogo M.Sc en Geociencias

Tutor

José Neyith Contreras Sandoval

Geólogo M.Sc en Geotecnia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este proyecto de grado está dedicado, en primer lugar, a Dios, fuente de toda mi sabiduría, fortaleza y esperanza. A Él le debo mi vida, mi fe y la fuerza para superar cada desafío que se presentó en el camino. Su amor incondicional me ha guiado en cada paso, iluminando mi mente cuando las dudas me invadían y sosteniéndome cuando sentía que ya no podía continuar. Gracias, Señor, por tu constante presencia en mi vida, por darme la serenidad de confiar en Tu voluntad y por mostrarme que, con fe, todo es posible. Este logro es un testimonio de Tu amor y guía divina.

A mis padres, quienes son el cimiento sobre el que he construido cada uno de mis sueños. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio, por cada gesto de apoyo, por cada palabra de aliento. Ustedes han sido mi motor, la razón por la cual nunca me rendí, aun cuando las dificultades parecían insuperables. Su fe en mí ha sido mi mayor impulso, y sus enseñanzas me han permitido crecer no solo en conocimiento, sino también como persona. Este logro es tanto suyo como mío, porque sin su amor y dedicación, no habría sido posible llegar hasta aquí.

Y a mis queridas mascotas, quienes, con su compañía y amor incondicional, han sido mi refugio en los momentos de estrés y cansancio. Gracias por estar siempre allí, brindándome paz, alegría y una lección constante de lealtad y cariño puro. Ustedes me recordaron, en medio de las horas de estudio, la importancia de disfrutar los pequeños momentos y de encontrar consuelo en las cosas simples. Su amor sincero me dio fuerzas cuando más lo necesitaba.

Este proyecto es el reflejo de la bendición de contar con ustedes en mi vida. A todos ustedes les debo, más que este logro académico, la gratitud eterna por ser mis guías, mis apoyos y mi fuente de inspiración.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este esfuerzo a Dios, a mis padres y a mis mascotas, quienes hacen que cada día de mi vida sea más pleno y significativo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Justificación	13
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo General.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. Localización	16
4. Marco Geológico	17
5. Marco teórico	19
5.1. Movimientos en masa	19
5.1.1. Caída	19
5.1.2. Volcamiento	19
5.1.3. Deslizamiento	19
5.1.4. Flujo	19
5.1.5. Propagación lateral.....	19
5.1.6. Creep (Reptación).....	20
5.2. Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza.....	20
5.2.1. Análisis de susceptibilidad.....	20
5.2.2. Análisis de Amenaza.....	21
6. Metodología	23
6.1. Fase 1: Introducción y capacitación.....	23
6.2. Fase 2: Recopilación de información.....	23

6.3. Fase 3: Caracterización geoambiental	23
6.4. Fase 4: Análisis de susceptibilidad	25
6.5. Fase 5: Caracterización de la amenaza	25
6.6. Fase 6: Conclusiones.....	26
7. Presentación de resultados	26
7.1. Recopilación de información	26
7.2. Caracterización geoambiental.....	28
7.2.1. Inventario de procesos morfodinámicos	28
7.2.2. Factores condicionates	31
7.2.2.1. Geomorfología.....	31
8.2.2.2. Unidades Geológicas Superficiales (UGS).	35
8.2.2.3. Cobertura de la tierra y usos del suelo.....	39
8.3. Análisis de susceptibilidad.....	43
8.3.1. Análisis de susceptibilidad por deslizamientos.....	43
8.3.2. Análisis de susceptibilidad por caídas	46
8.3.3. Análisis de susceptibilidad por flujos	48
8.3.4. Análisis de susceptibilidad por reptación	49
8.3.4. Análisis de susceptibilidad total.....	51
8.4. Caracterización de la amenaza.....	55
8.4.1. Factores detonantes.....	55
8.4.2. Categorías de amenaza por movimientos en masa	58
8.4.3. Mapa de amenaza por movimientos en masa	59
9. Conclusiones	65

10. Recomendaciones	67
Referencias Bibliográficas	68

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Método de análisis de susceptibilidad por cada tipo de movimiento en masa	21
Tabla 2. Categorías de amenaza a partir del análisis de susceptibilidad.....	22
Tabla 3. Movimientos en masa inventariados en el área de estudio (Coromoro, Santander).....	29
Tabla 4. Descripción de las UGS del área de estudio (Coromoro, Santander).....	37
Tabla 5. Descripción de las coberturas de la tierra del área de estudio (Coromoro, Santander) ..	40
Tabla 6. Estaciones pluviométricas de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	56
Tabla 7. Clasificación de aceleración sísmica de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	58
Tabla 8. Categorías de amenaza de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	58

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1. Mapa de localización de Coromoro, Santander.....	16
Figura 2. Mapa geológico del municipio de Coromoro, Santander.....	18
Figura 3. Esquema metodológico para la zonificación de amenaza por movimientos en masa ...	24
Figura 4. Cartografía base de la zona de estudio (Coromoro, Santander).	27
Figura 5. Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	30
Figura 6. Ambientes geomorfológicos de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	32
Figura 7. Mapa de subunidades geomorfológicas de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	33
Figura 8. Mapa de pendientes de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	34
Figura 9. Mapa de curvaturas de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	35
Figura 10. Mapa de UGS de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	37
Figura 11. Mapa de coberturas de la tierra de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	41
Figura 12. Mapa de cambios de cobertura del suelo (2018-2021) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	42
Figura 13. Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo deslizamiento de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	45
Figura 14. Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo caída de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	47
Figura 15. Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo flujo de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	49

Figura 16. Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo reptación de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	50
Figura 17. Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	53
Figura 18. Mapa de Isoyetas de la zona de estudio (Coromoro, Santander).....	57
Figura 19. Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 1) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	60
Figura 20. Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 2) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)	63

Lista de apéndices

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en el repositorio de la biblioteca UIS”

Anexo A: Inventario de Procesos Morfodinámicos

Resumen

Título: Estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa del municipio de Coromoro, Santander; Practica empresarial en Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S*

Autor: Camila Andrea Piñeres Solano**

Palabras Clave: Movimientos en masa, Susceptibilidad, Amenaza, Coromoro

Descripción:

El presente proyecto es resultado de las actividades realizadas durante la práctica empresarial con la empresa Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S. En esta, se realizó el estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 para el suelo rural del municipio de Coromoro, Santander, siguiendo la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2017).

El estudio de amenaza se llevó a cabo a partir de la recopilación de información y elaboración del mapa base del municipio. Luego, se realizó la caracterización geoambiental, donde se desarrolló el inventario de procesos morfodinámicos y se evaluaron los factores condicionantes, a partir de la generación y análisis de mapas de subunidades geomorfológicas, unidades geológicas superficiales y coberturas de tierra.

A partir de los factores condicionantes, se llevó a cabo el análisis de susceptibilidad para deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones, los cuales se agruparon mediante una superposición de mapas para obtener la susceptibilidad total por movimientos en masa para el municipio, donde las zonas con mayor susceptibilidad corresponden a sectores de alta pendiente contiguos a los drenajes principales y encontrando como movimientos de mayor ocurrencia los deslizamientos traslacionales y caídas de detritos y tierra. Finalmente, reclasificando la susceptibilidad e integrándola con la ponderación de los factores detonantes lluvia y sismo, se propusieron dos escenarios de amenaza por movimientos en masa para el suelo rural del municipio de Coromoro, donde la categoría alta corresponde a las zonas de mayor precipitación, que favorecen procesos de erosión hídrica y eventual ocurrencia de movimientos en masa, principalmente en las veredas La Mina, Ture, Pueblo Viejo y Santa Clara.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Leonardo Palmera Sánchez. Geólogo MSc en Geociencias. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. Geólogo MSc en Geotecnia.

Abstract

Title: Study of Zoning of Hazards due to Mass Movements in the municipality of Coromoro, Santander; Internship at Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S. *

Author(s): Camila Andrea Piñeres Solano**

Key Words: Mass movements, Susceptibility, Hazard, Coromoro

Description:

This project is the result of the activities carried out during the business practice with the company Alianza Consultora e Ingeniería S.A.S. In this, the zoning study of mass movement hazard scale 1:25,000 for the rural land of the municipality of Coromoro, Santander, was conducted following the methodological guide of the Colombian Geological Survey (2017).

The hazard study was carried out from the collection of information and preparation of the base map of the municipality. Then, the geoenvironmental characterization was carried out, where the inventory of morphodynamic processes was developed and the conditioning factors were evaluated, based on the generation and analysis of maps of geomorphological subunits, superficial geological units and land covers.

Based on the conditioning factors, the susceptibility analysis was carried out for landslides, falls, flows and reptations, which were grouped by superimposing maps to obtain the total susceptibility to mass movements for the municipality, where the areas with the greatest susceptibility correspond to high slope sectors adjacent to the main drainages and where translational landslides and debris and earth falls were found to be the most frequent movements. Finally, by reclassifying the susceptibility and integrating it with the weighting of the triggering factors rain and earthquake, two scenarios of mass movement hazards were proposed for the rural land of the municipality of Coromoro, where the high category corresponds to the areas of higher precipitation, which favor processes of water erosion and eventual occurrence of mass movements, mainly in the villages of La Mina, Ture, Pueblo Viejo and Santa Clara.

* Degree Work

**Faculty of Physicochemical engineering. School of Geology. Academic program. Director: Leonardo Palmera Sánchez. Geologist MSc in Geosciences. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. Geologist MSc in Geotechnics.

Introducción

Los movimientos en masa son unos de los fenómenos amenazantes con mayor ocurrencia en Colombia, debido a factores intrínsecos de la región, como el relieve, régimen hidrometereológico y actividad tectónica, para lo cual ha sido necesario expedir a nivel gubernamental una reglamentación relacionada con la planeación urbana y la gestión del riesgo de desastres, con el fin de que el desarrollo del territorio considere a la amenaza presente (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [Ungrd], 2020). A partir de la normativa vigente, como el decreto 1807 de 2014 (Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia [DAFP], 2014), se establecieron metodologías y escalas de trabajo para los estudios técnicos, siendo ejemplo los de zonificación de amenaza, necesarios al implementar la gestión del riesgo de desastres en los planes de ordenamiento territorial (Ungrd, 2015).

En el municipio de Coromoro, Santander, se ha identificado una recurrencia de movimientos en masa, principalmente deslizamientos, debido a factores intrínsecos de la zona, como la geología, la configuración tectónica y condiciones hidrometereológicas de la zona (Centeno & Gómez, 2001; Ardila, 2018; Bluradio, 2022), donde se precisa de estudios técnicos detallados actualizados, principalmente en la zonificación de amenaza por movimientos en masa.

Por tal motivo, el presente proyecto plantea mediante una práctica empresarial en ALICON & ING S.A.S, realizar un estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa en suelos rurales, a escala 1:25.000, en el municipio de Coromoro, Santander, siguiendo la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017), para así aportar al conocimiento geológico de la zona de estudio y generar insumos que puedan ser implementados en el ordenamiento territorial de dicho municipio.

1. Justificación

En la reducción del riesgo de desastres por movimientos en masa es fundamental iniciar desde el conocimiento técnico de la región, para lo cual es necesario contar con estudios detallados, que sean concordantes con la norma vigente, y permita la comprensión y aplicabilidad por parte de los entes territoriales (Ungrd, 2020). Por tal motivo, los estudios técnicos deben delimitar, caracterizar y analizar la amenaza (Ungrd, 2015), entregando como resultado mapas de zonificación que propicien una correcta evaluación de la amenaza, en este caso, por movimientos en masa.

El municipio de Coromoro, Santander, presenta antecedentes de ocurrencia de movimientos en masa, con reportes de deslizamientos en la vereda Zuñiga y sectores Punteral, Gordural y Loma de la Mula a finales de la década de 1990 (Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras [Ingeominas], 1999), con una reincidencia de esta amenaza entre 2016 a 2018 en la vereda Zuñiga (Ardila, 2018). Mientras que, en eventos más recientes, está un deslizamiento de tierra que provocó daños en tres viviendas de la zona durante la temporada invernal de 2022 (Bluradio, 2022).

El estudio de zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, realizado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), asigna al municipio de Coromoro una amenaza media a muy alta; donde parte de la ocurrencia se debe a ciertos factores condicionantes, como la presencia de rocas altamente fracturadas y meteorizadas en zonas escarpadas (Ingeominas, 1999; Fonseca *et al.*, 2018).

A pesar de esto, el municipio no cuenta con estudios técnicos de amenaza en una escala más detallada (ej. 1:25.000), por lo que actualmente es difícil establecer relaciones entre factores

condicionantes y detonantes, lo cual dificulta la creación de medidas de prevención y mitigación por parte de los entes territoriales (Periódico UNAL, 2022). Por tal razón, al considerar los antecedentes de ocurrencia de movimientos en masa en este municipio (Ingeominas, 1999; Ardila, 2018; Bluradio, 2022), se identifica una necesidad de generar estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala detallada (1:25.000) en Coromoro, Santander.

Las funciones de la empresa ALICON & ING S.A.S incluyen los estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa, los cuales cumplen la normativa vigente, para su respectiva implementación en planes y esquemas de ordenamiento territorial. De esta manera, y recordando el decreto 1807 de 2014, el cual estipula la escala 1:25.000 para los estudios de zonificación de amenaza en suelos rurales (DAFP, 2014), el presente proyecto propone, mediante la modalidad de práctica empresarial, obtener y analizar el estudio básico de zonificación de amenaza por movimientos en masa en suelos rurales de Coromoro, Santander, a escala 1:25.000, siguiendo la metodología propuesta por la guía del SGC (2017).

Para cumplir a cabalidad con este proyecto es importante recordar que la práctica empresarial consiste en aplicar conocimientos y habilidades adquiridos a la solución de problemas empresariales (Universidad Industrial de Santander [UIS], 2008). Por tal motivo, las tareas que realicé como practicante de geología en la empresa ALICON & ING S.A.S consistieron en recopilar los insumos cartográficos necesarios para elaborar el inventario de procesos morfodinámicos y análisis de factores condicionantes y detonantes, los cuales permitieron desarrollar la caracterización geoambiental de la zona de estudio. De esta forma, aplicando métodos estadísticos y heurísticos/geomorfológicos, se obtuvo la zonificación de susceptibilidad, y consecuentemente, se generó la zonificación y análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 en el municipio de Coromoro, Santander.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Generar y analizar la zonificación de amenaza por movimientos en masa en suelo rural, a escala 1:25.000, del municipio de Coromoro, Santander, aplicando la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2017).

2.2 Objetivos Específicos

Recopilar la información y cartografía base correspondiente al suelo rural del municipio de Coromoro, Santander.

Realizar la caracterización geoambiental del área de estudio a partir de la elaboración del inventario de procesos morfodinámicos y análisis de factores condicionantes y detonantes.

Desarrollar el análisis y zonificación general de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25.000 de la zona de estudio.

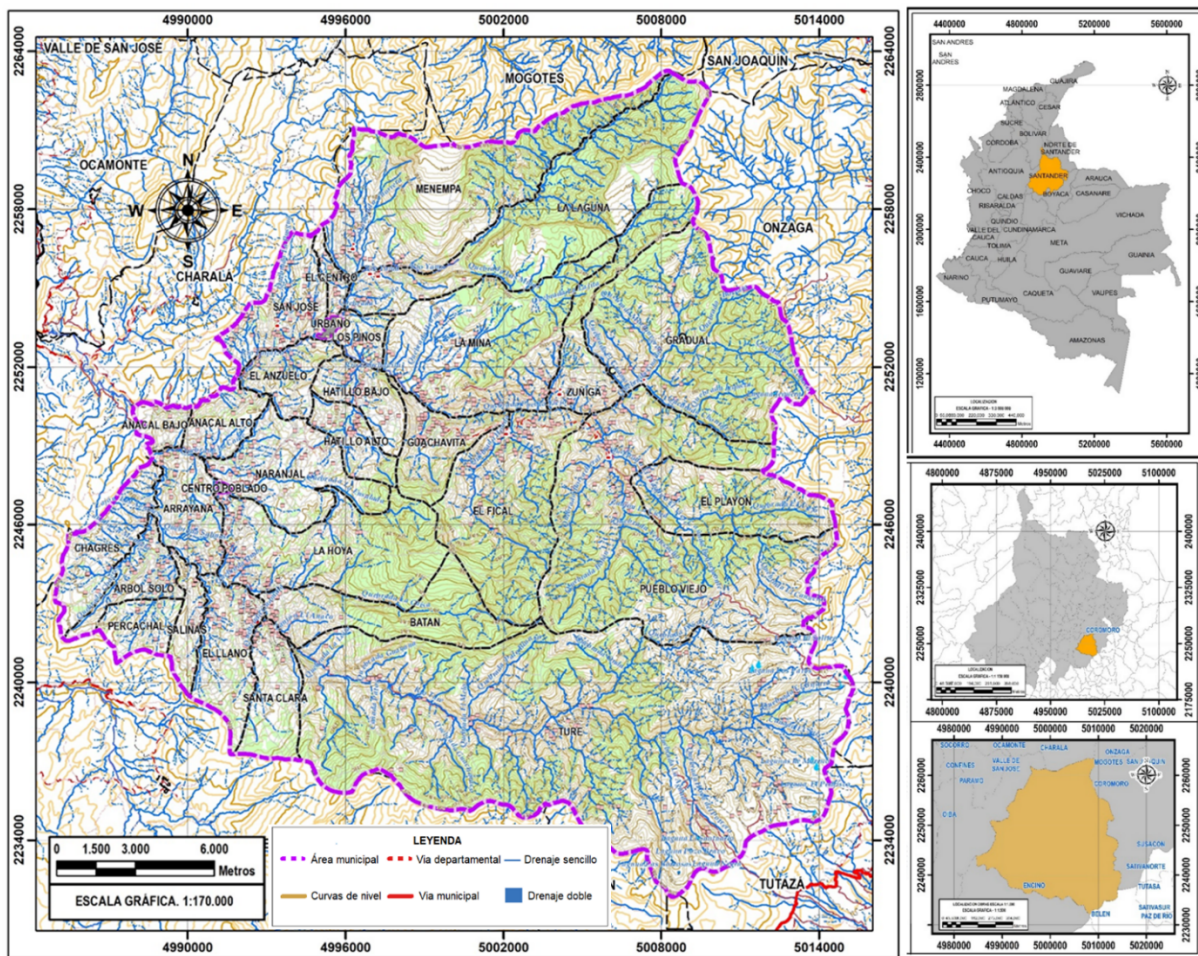
Caracterizar y elaborar la zonificación de amenaza por movimientos en masa en suelo rural (escala 1:25.000) del municipio de Coromoro, Santander.

3. Localización

El municipio de Coromoro (Figura 1), en el departamento de Santander, está situado a una altura de 1510 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre los 18-22°C y una extensión de 554 km², siendo delimitado por las coordenadas geográficas 6° 17' 43" latitud norte y 73° 2' 25" longitud oeste (Cortes *et al.*, 2002; DiCCOL, s.f).

Figura 1

Mapa de localización de Coromoro, Santander



Nota. Localización geográfica nacional y departamental del municipio de Coromoro, Santander.

Este municipio hace parte de la zona hidrográfica del río Sogamoso y cuenca hidrográfica del Río Fonce (Corporación Autónoma de Santander [CAS], 2012), teniendo como drenajes principales los ríos Taquiza, Pienta, Yama y Ture (Centeno & Gómez, 2001). Con respecto al aspecto climático, se clasificó en bosque andino, lo que permite desarrollar actividades económicas relacionadas a la agricultura, como el cultivo de café y frutales arbóreos, así como de ganadería (Cortes *et al.*, 2002).

4. Marco Geológico

La geología de la zona de estudio (Figura 2) se encuentra conformada por unidades metamórficas de la Formación Silgará (Predevónico) y Formación Floresta (Devónico); del Mesozoico, se ha descrito la Cuarzomonzonita y Riolita de edad Triásica-Jurásica, junto con las unidades sedimentarias Formación Montebel y Formación Girón del Jurásico superior, y las Formaciones Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití del Cretácico inferior (Pulido, 1979; Centeno & Gómez, 2001). Finalmente, se encuentran los depósitos aluviales, coluviales y glaciares, donde se asentó el casco urbano del municipio (Vargas *et al.*, 1981; Centeno & Gómez, 2001).

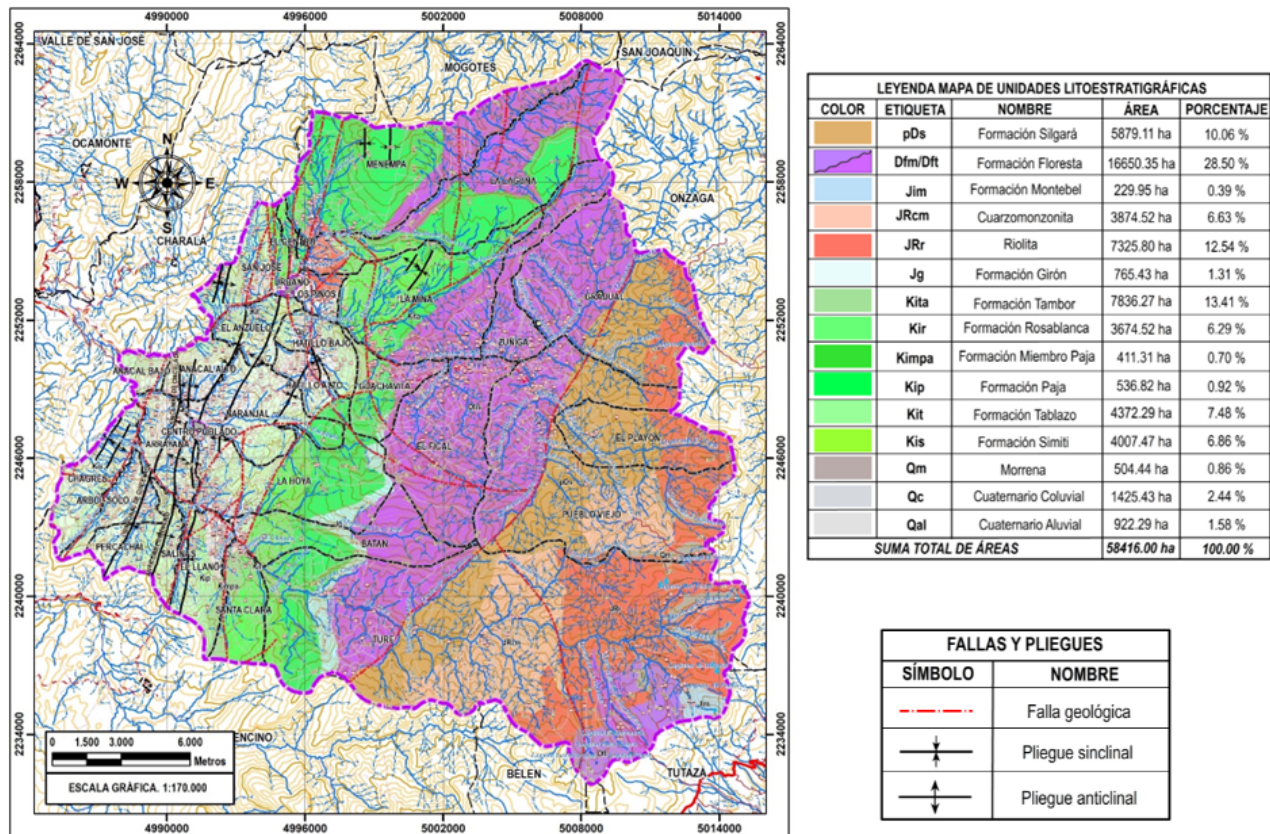
A nivel de geología estructural, la región se relaciona con la actividad tectónica de la Cordillera Oriental y al complejo ígneo-metamórfico del Macizo de Santander, donde se han identificado fallas de tipo normal e inversas, así como plegamientos (Figura 2), resultado de esfuerzos compresionales y extensionales (Díaz & Mejía, 2014). Con respecto a las estructuras principales del municipio, Centeno & Gómez (2001) menciona la Falla de Riachuelo, Falla de

Encino y Falla de Coromoro, mientras que Pulido (1985) incluye a la Falla de Ocamonte, el Sinclinal de Cincelada y el Anticlinal de Encino.

La geomorfología del sector rural presenta pendientes abruptas, con mayor ocurrencia de escarpes en las zonas más altas, siendo conformado principalmente por rocas fracturadas y meteorizadas de la Formación Floresta, además de encontrar un valle profundo en V en el Río Yama (Ingeominas, 1999). Por otro lado, en el casco urbano se identificaron conos y abanicos, con una morfología suave a empinada, que se relaciona a los depósitos cuaternarios de la zona (Centeno & Gómez, 2001).

Figura 2

Mapa geológico del municipio de Coromoro, Santander



Nota. Unidades litoestratigráficas y estructuras de Coromoro, Santander.

5. Marco teórico

5.1. Movimientos en masa

Los movimientos en masa se pueden definir como desplazamientos de material litológico y/o de escombros sobre una ladera por acción de la gravedad (Cruden & Varnes, 1996; Vargas, 2000). Actualmente, se reconocen 6 tipos básicos de movimientos, según la clasificación de Cruden & Varnes (1996), los cuales se describen a continuación:

5.1.1. Caída

Desprendimiento de una masa de roca o suelo desde un talud empinado, que desciende a través del aire, principalmente en caída libre (Cruden & Varnes, 1996).

5.1.2. Volcamiento

Rotación hacia delante de una masa de roca/suelo, alrededor de un eje, por debajo del centro de gravedad de la masa que se desplaza (Cruden & Varnes, 1996).

5.1.3. Deslizamiento

Movimiento ladera abajo de una masa de roca/suelo a lo largo de una superficie de falla. Pueden ser rotacionales, traslacionales o compuestos (Cruden & Varnes, 1996).

5.1.4. Flujo

Movimientos espacialmente continuos con superficies de corte superficiales y estrechamente espaciadas, cuyo comportamiento se asemeja al de un líquido viscoso (Cruden & Varnes, 1996; Olarte, 2017).

5.1.5. Propagación lateral

Extensión o dilatación lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, manifestándose como una extrusión de material propenso a licuación (Cruden & Varnes, 1996; Olarte, 2017).

5.1.6. Creep (Reptación)

Movimientos de material inconsolidado extremadamente lentos, siendo una deformación del terreno producto de un esfuerzo constante (Olarte, 2017).

5.2. Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza

En el contexto de los movimientos en masa, SGC (2017) define la amenaza como un evento físico de origen natural o inducido, con la capacidad de provocar daños y pérdidas humanos, materiales y ambientales; mientras que la susceptibilidad la describe como la medida de la magnitud y distribución espacial de movimientos en masa existentes o potenciales en un área. Para este mismo autor, la zonificación consiste en la división del territorio en áreas homogéneas, categorizadas de acuerdo con el nivel de susceptibilidad, amenaza y/o riesgo actual o potencial.

5.2.1. Análisis de susceptibilidad

El análisis de susceptibilidad por movimientos en masa consiste en determinar y evaluar la probabilidad de ocurrencia en un área específica, a partir de los condicionantes del terreno y excluyendo los factores detonantes (Aristizábal *et al.*, 2019). Dependiendo del tipo de movimiento, condiciones del área de estudio y criterio profesional, se pueden utilizar diversos métodos entre ellos el método heurístico y el mapeo geomorfológico, mientras que desde un enfoque cuantitativo se incluyen los métodos estadísticos y determinísticos (Aleotti & Chowdhury, 1999).

Los factores condicionantes se refieren a los elementos y características intrínsecas del terreno que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (Rodríguez-Valdivia *et al.*, 2014). En el caso de los estudios de susceptibilidad por movimientos en masa en Colombia, se consideran los siguientes factores condicionantes: Geomorfología, Unidades Geológicas Superficiales (UGS), y Coberturas de la tierra y usos del suelo (SGC, 2017).

En la Tabla 1 se presenta las recomendaciones dadas en la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano para el análisis de susceptibilidad, según el tipo de movimiento en masa a considerar.

Tabla 1

Método de análisis de susceptibilidad por cada tipo de movimiento en masa

Tipo de movimiento	Metodología	Método	Zona de análisis
Deslizamientos	Estadístico / Probabilístico	Estadístico bivariado (WofE)	Zonas de inicio y depósito
Caídas	Heurístico / Geomorfológico	Criterios geológicos y geomorfológicos	Zonas de inicio y depósito
Flujos	Heurístico / Geomorfológico	Mapeo geomorfológico	Zonas de depósito
Reptación	Heurístico / Geomorfológico	Identificación en el inventario	Zona de afectación directa

Nota. Adaptado de “(SGC, 2017)”.

5.2.2. Análisis de Amenaza

El análisis de amenaza se genera a partir de la relación entre la probabilidad espacial de la susceptibilidad encontrada y la probabilidad temporal de ocurrencia de los detonantes (Corominas & Moya, 2008). Sobre la probabilidad espacial y temporal, SGC (2017) define la espacial como la probabilidad de que el área localizada dentro de un rango de susceptibilidad sea afectado por un movimiento en masa, mientras que con probabilidad temporal, se refiere a cuantificar los detonantes para cada categoría de susceptibilidad.

Los factores detonantes son aquellos estímulos externos que afectan las fuerzas de cohesión de una ladera, generando como respuesta un movimiento en masa (Wieczorek, 1996). En Colombia, debido a sus condiciones geológicas, hidrológicas y meteorológicas, se ha encontrado que los detonantes más comunes suelen ser las lluvias intensas y la actividad sísmica (SGC, 2017; Gonzalez & Padilla, 2023).

Para realizar el análisis y zonificación de la amenaza, es necesario expresar los resultados en tres categorías (baja, media y alta), según lo expuesto en el Decreto 1807 de 2014 (DAFP, 2014). Por lo tanto, al incorporar las categorías de susceptibilidad en el estudio de amenaza, a partir de una integración de la información disponible entre mapas de susceptibilidad y cuantificación de los factores detonantes, la guía metodológica del SGC recomienda agrupar las categorías de la manera expuesta en la Tabla 2.

Tabla 2

Categorías de amenaza a partir del análisis de susceptibilidad

Categoría de susceptibilidad	Categoría de amenaza
Muy alta	Alta
Alta	
Media	Media
Baja	Baja

Nota. Adaptado de "(SGC, 2017)".

6. Metodología

La metodología planteada para desarrollar el proyecto incorpora lo definido por la guía metodológica del SGC (2017) y cumple con la normativa vigente para los estudios de zonificación de amenaza. Esta se dividió en 6 fases, donde cada actividad se llevó a cabo durante el transcurso de la práctica empresarial.

6.1. Fase 1: Introducción y capacitación

En esta fase, se inicia con la vinculación a la empresa y establecer los objetivos de la práctica entre director del proyecto y tutor asignado por la entidad. También, se realizará la respectiva capacitación del estudiante, con el fin de familiarizar a este con las normas, métodos, funciones y actividades a realizar en la empresa.

6.2. Fase 2: Recopilación de información

Luego de la introducción a la entidad y con las actividades definidas, se hará un diagnóstico general de la zona de estudio, consultando y recopilando la información pertinente a la investigación, la cual debe incluir los insumos necesarios para generar el mapa base del municipio, que posteriormente se utilizará en el trabajo de campo, los datos de caracterización ambiental (geomorfología, UGS y coberturas del suelo), así como los datos correspondientes a estaciones pluviométricas, sismicidad histórica y aceleración pico del suelo, y reportes de ocurrencia/bases de datos de movimientos en masa.

6.3. Fase 3: Caracterización geoambiental

Al contar con los insumos necesarios, se llevará a cabo la definición de las características geoambientales de la zona de estudio. También, en esta fase se realizará trabajo de campo, con el fin de obtener datos más precisos y actualizados de la zona de estudio.

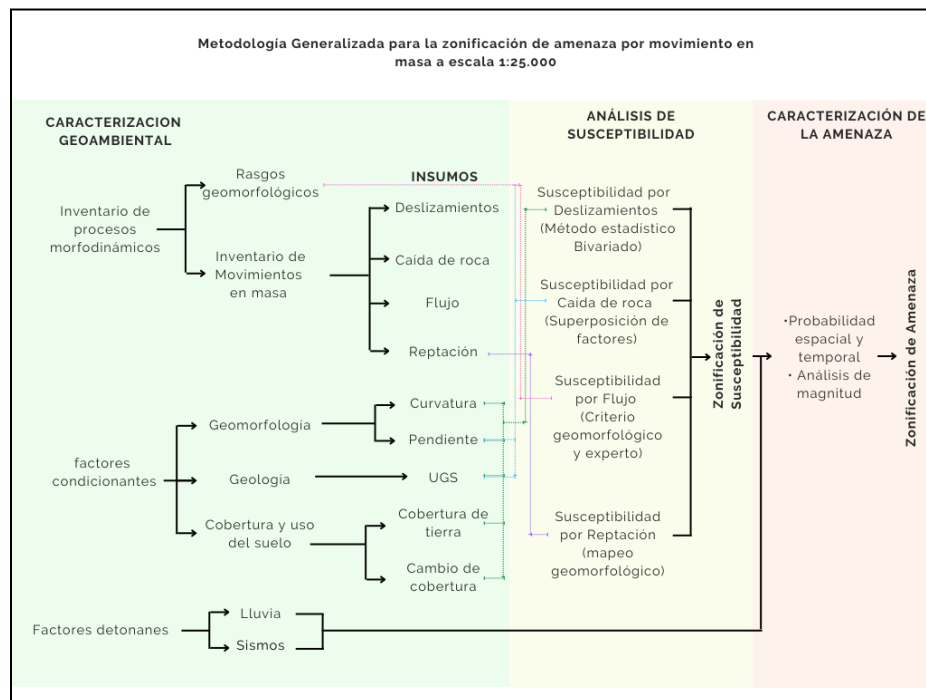
Para hacer la caracterización geoambiental (Figura 3), se seguirá lo estipulado en la guía del SGC (2017), por lo que se elaborará el inventario de procesos morfodinámicos, a partir de la información de bases de datos, como el SIMMA, fotointerpretación y observaciones en campo.

Continuando, se hará el estudio de factores condicionantes, para los cual se generan mapas de curvatura y pendientes para la geomorfología, de unidades geológicas superficiales (UGS) en el apartado de geología, y de coberturas de tierra y cambios de coberturas para la cobertura/usuarios del suelo. Cabe destacar, que el trabajo de campo también incluye la toma de datos y corroboración de la información relacionada a los factores condicionantes.

Si bien, los factores detonantes se incluyen en la caracterización geoambiental, el tratamiento de estos datos y cálculos de probabilidades se harán durante el análisis de amenaza.

Figura 3

Esquema metodológico para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000



Nota. Adaptado de "SGC (2017)".

6.4. Fase 4: Análisis de susceptibilidad

Para el análisis de susceptibilidad, se aplicará la metodología propuesta en la guía del SGC, en la cual se hace el cálculo de la susceptibilidad para cada tipo de movimiento en masa (deslizamiento, caída, flujo y reptación). En la Figura 3, se puede observar el método a utilizar para cada tipo de movimiento, así como la información de caracterización geoambiental que se debe utilizar en cada caso.

De este modo, como resultados de esta fase, se entregarán los mapas de susceptibilidad para cada tipo de movimiento en masa. Además, se incluirá el mapa de susceptibilidad total para la zona de estudio, con el respectivo análisis de los resultados encontrados.

6.5. Fase 5: Caracterización de la amenaza

El estudio de amenaza se realizará utilizando un método cualitativo, el cual consiste en categorizar y ponderar los factores detonantes, considerando el análisis de susceptibilidad que se determinen en la fase previa. Por consiguiente, se usarán los métodos presentados en la guía metodológica del SGC.

Para el caso del detonante precipitación, se tomarán los datos de estaciones pluviométricas disponibles en la zona, para determinar la precipitación promedio anual y generar el mapa de isoyetas, que permita comprender el comportamiento de las lluvias en el municipio. Mientras tanto, el detonante sismo será evaluado a partir de la información de sismicidad histórica y los datos de aceleración sísmica determinados para el área de estudio en el mapa de *Zonas de Amenaza NSR-10* (SGC, 2020).

Finalmente, la relación entre susceptibilidad y detonantes se hará mediante el álgebra de mapas, aplicando la siguiente ecuación:

$$H_{mm} = (S_t) * 80\% + (F_p) * 10\% + (F_s) * 10\% \text{ (eq 1)}$$

Donde:

Hmm: Amenaza por movimientos en masa

St: Susceptibilidad por movimientos en masa

Fp: Factor precipitación como detonante

Fs: Factor sismo como detonante

De esta manera, se podrá obtener el mapa de amenaza por movimientos en masa, bajo las tres categorías establecidas por la norma vigente. También, se hará el respectivo análisis de los resultados obtenidos para cada categoría de amenaza.

6.6. Fase 6: Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en cada una de las fases, se establecerán las conclusiones del proyecto, con las cuales se busca definir las zonas de mayor amenaza por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Coromoro, Santander. El insumo por entregar en esta fase es el documento final del proyecto e informe de prácticas a la empresa.

7. Presentación de resultados

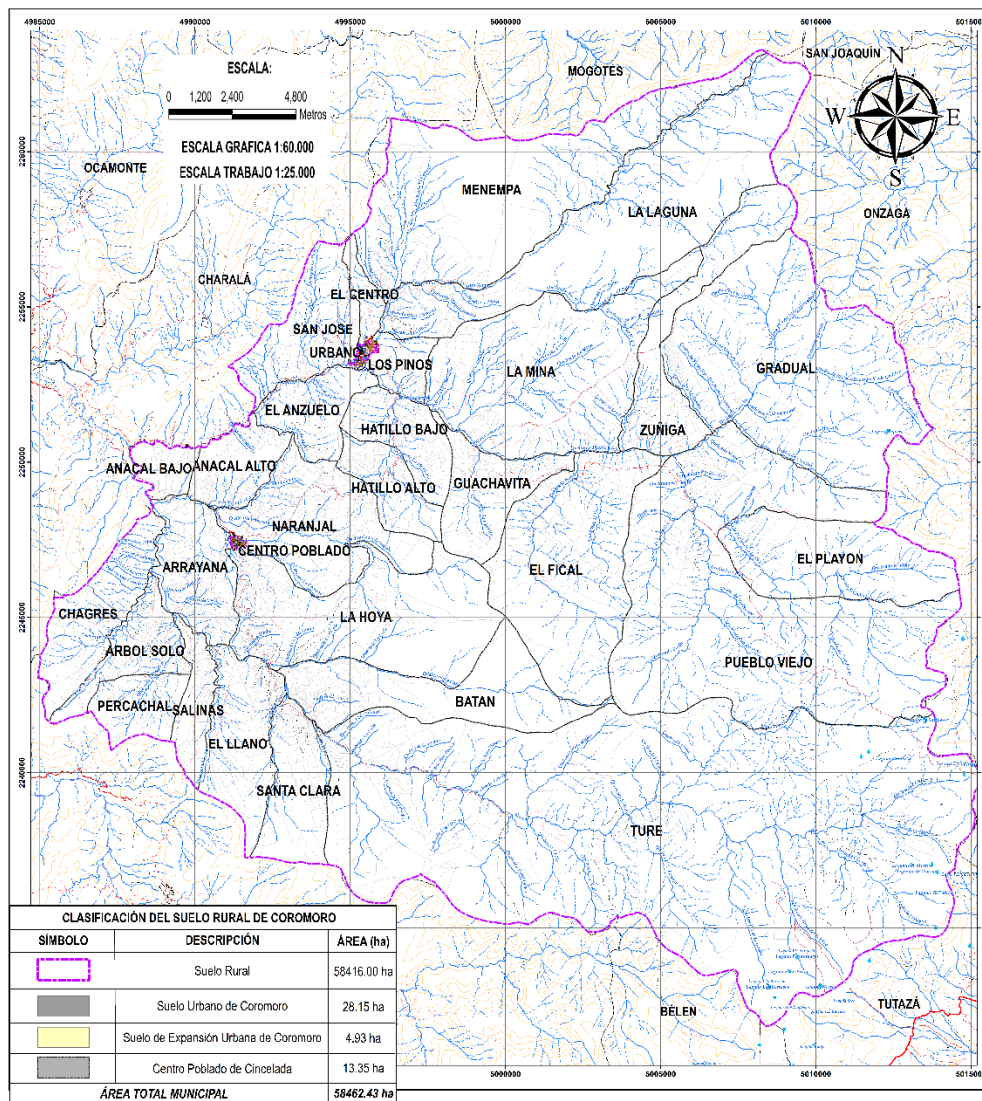
7.1. Recopilación de información

El diagnóstico general de la zona de estudio se realizó a partir de la consulta de los portales de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2024) para los insumos base (topografía, hidrografía, red vial y catastro) y SGC (2024a, 2024b) para la geología, geomorfología y zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000. Complementariamente, se consultó el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Coromoro (Centeno & Gómez, 2001) y Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA)

del Río Fonce (CAS, 2012) para obtener información más detallada de la disposición del municipio, hidrografía, coberturas y usos del suelo, red vial, etc.

Figura 4

Cartografía base de la zona de estudio (Coromoro, Santander).



Nota. Insumos generados a escala 1:25:000 para el municipio de Coromoro, Santander.

De acuerdo con la información consultada, se generó la cartografía base para la zona de estudio (Figura 4), encontrando que el área total del municipio es de 58462.43 hectáreas,

distribuidas de la siguiente manera: suelo rural (58416 ha), suelo urbano (28.15 ha), suelo de expansión urbana (4.93 ha) y centro poblado de Cincelada (13.35 ha). Por otro lado, la zona rural del municipio se divide en 22 veredas, mientras que el suelo urbano corresponde a los centros poblados de Coromoro y Cincelada.

7.2. Caracterización geoambiental

Considerando la cartografía base generada para la zona de estudio (Figura 4), se llevó a cabo la caracterización geoambiental, la cual se dividió en el inventario de procesos morfodinámicos y factores condicionantes, donde este último incluye los mapas de unidades geológicas superficiales (UGS), subunidades geomorfológicas, cobertura de la tierra y usos del suelo.

7.2.1. Inventario de procesos morfodinámicos

El inventario de procesos morfodinámicos (Anexo A: Inventario de Procesos Morfodinámicos) se realizó con la información recopilada de la interpretación de imágenes de sensores remotos, trabajo de campo y revisión de portales de datos abiertos, como el SIMMA y DesInventar, expedientes municipales, siguiendo las directrices mencionadas en SGC (2017) para cartografiar estos elementos.

En la Figura 5 se muestran los movimientos de masa inventariados, incluyendo su respectiva área ocupada con relación al área total del suelo rural del municipio. De esta manera, el tipo de movimiento con mayor ocurrencia en el área de estudio es el deslizamiento, específicamente los de subtipo traslacional (34,05 ha), identificando 73 de estos eventos del total de 153 movimientos cartografiados durante el trabajo de campo (Tabla 3). En cambio, se identificó un solo deslizamiento de subtipo rotacional (0,04 ha). Las veredas que presentaron movimientos

en masa fueron Ture, El Playón, La Mina, Gradual, La Laguna y Menenmpa, así como varios eventos distribuidos en el costado oeste del municipio (Figura 5).

Otro tipo de movimiento inventariado para la zona de estudio consiste en caídas (Tabla 3), predominando las caídas de tierra (39 eventos), y en menor proporción, 24 caídas de detritos y 4 caídas de bloques (Figura 5). Además, se identificaron 2 flujos de tierra y 10 reptaciones en algunos sectores del municipio.

Tabla 3

Movimientos en masa inventariados en el área de estudio (Coromoro, Santander)

Tipo	Subtipo	Cantidad de movimientos	Área (ha)
Deslizamiento	Traslacional	73	34.05
	Rotacional	1	0.04
Caída	Caída de bloques	4	0.06
	Caída de detritos	24	9.83
	Caída de tierra	39	1.38
Flujo	Flujo de tierra	2	1.25
Reptación	Reptación	10	3.64
Total		153	50.25

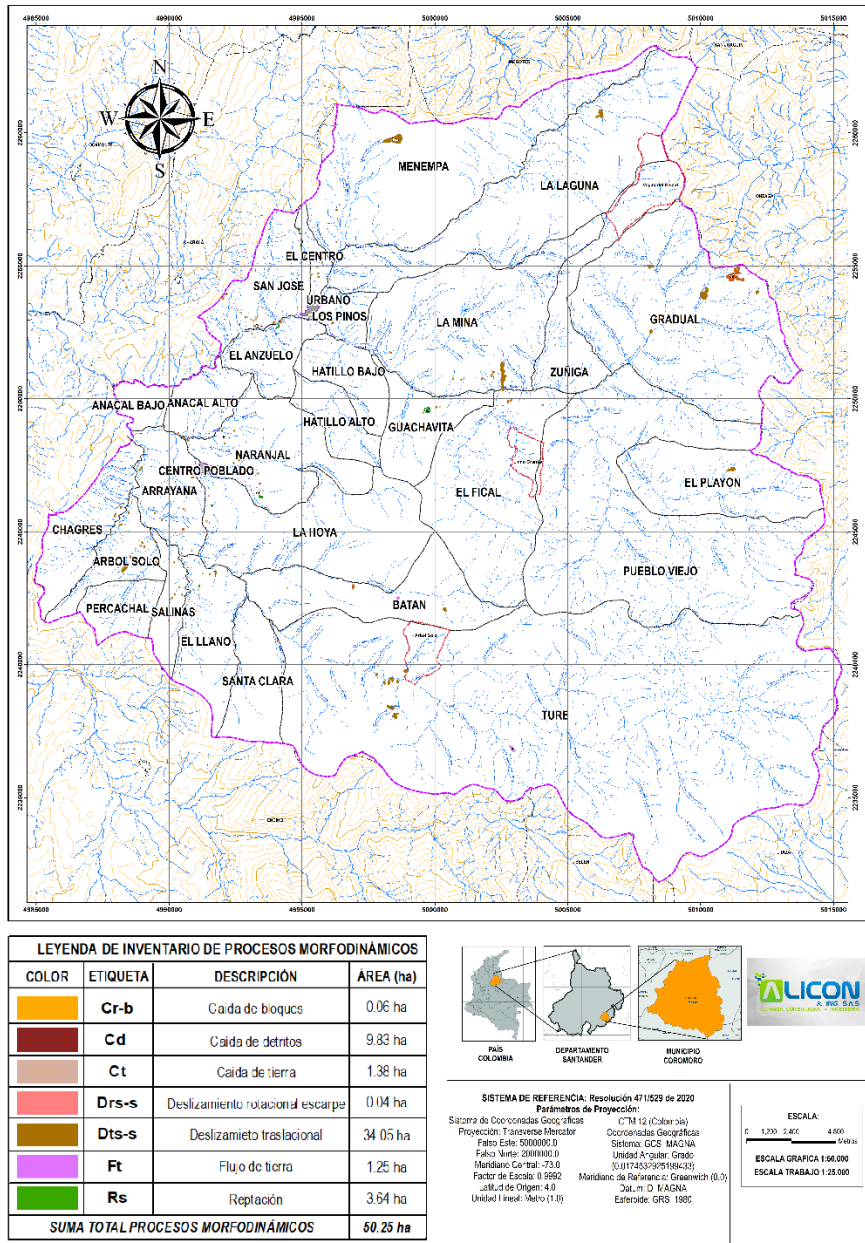
Nota. Tipo, subtipo y cantidad total de movimientos en masa inventariados.

La ocurrencia de movimientos en masa en el área de estudio (principalmente deslizamientos traslacionales), ocurren en el centro y costado oriental del municipio. Estos eventos se pueden asociar a rocas fracturadas y meteorizadas de la Formación Floresta (Figura 2), que favorecen el desprendimiento de material, y por la influencia de la Falla de Coromoro. Por otro lado, se identificó el sector SW (Figura 5) de Coromoro como de alta presencia de movimientos de tipo caídas, deslizamientos y reptaciones, lo cual puede relacionarse a los escarpes de las

unidades sedimentarias, como la Formación Paja y Formación Tablazo, así como a la influencia de las fallas de Riachuelo, Encino y Coromoro.

Figura 5

Mapa de Inventario de procesos morfodinámicos de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos a escala 1:25.000.

7.2.2. Factores condicionantes

Los factores condicionantes constan de la siguiente información: Geomorfología, UGS y coberturas y usos del suelo.

7.2.2.1. Geomorfología. La evaluación de la geomorfología como factor condicionante incluyó el análisis de subunidades geomorfológicas y morfometría (pendientes y curvatura).

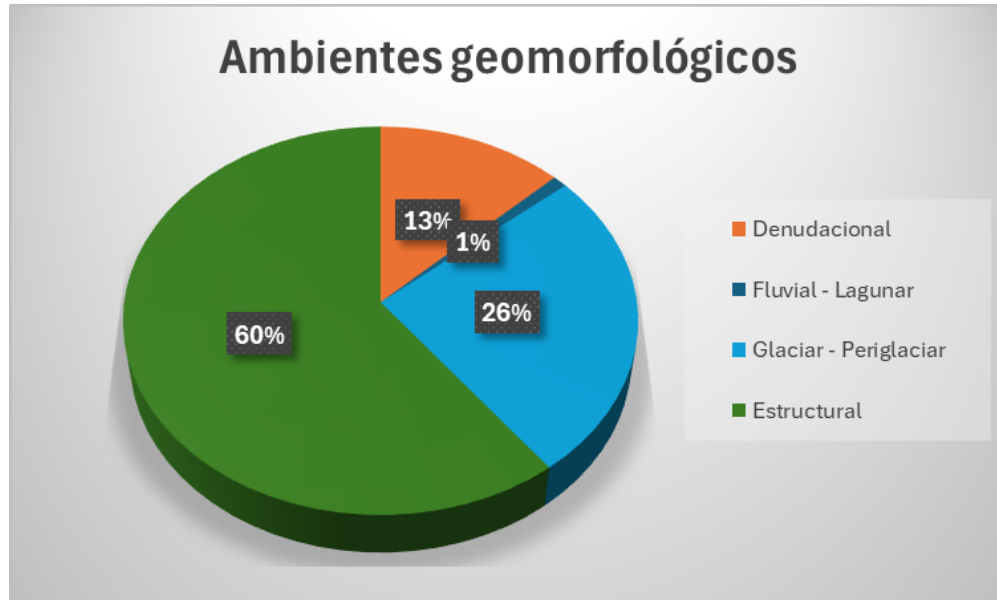
Se identificaron los siguientes ambientes geomorfológicos para el municipio: estructural, glaciar/periglacial, denudacional y fluvial/lagunar. En esta zona, predomina el ambiente estructural, abarcando el 61% del total del área de estudio (Figura 6) y encontrando principalmente las siguientes subunidades: laderas estructurales de sierra homoclinal (Sshle), de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) y estructurales de sierra sinclinal (Ssle). Las subunidades de este ambiente geomorfológico se observan desde el N hasta el sector S-W de la zona de estudio, donde el casco urbano de Coromoro está asentado en la subunidad Ssle (Figura 7).

La predominancia del ambiente geomorfológico estructural en el municipio está dada por el alto fallamiento y plegamiento de la zona, donde destacan la Falla de Riachuelo, la Falla de Ocamonte, el Sinclinal de Cincelada y Anticlinal de Encino (Centeno & Gómez, 2001; Pulido, 1979). Debido a esto, en las subunidades de ladera mencionadas previamente, se ha identificado una alta ocurrencia de deslizamientos traslacionales y reptaciones (SGC, 2015).

Con respecto al ambiente glaciar y periglacial, este corresponde a un 26% (Figura 6) del área de estudio, siendo la subunidad geomorfológica de mayor ocurrencia la sierra glaciada (Gsg), que presenta deslizamientos traslacionales (SGC, 2015), y se encuentra mayoritariamente hacia el S-E del municipio, en la vereda Pueblo Viejo (Figura 7).

Figura 6

Ambientes geomorfológicos de la zona de estudio (Coromoro, Santander)

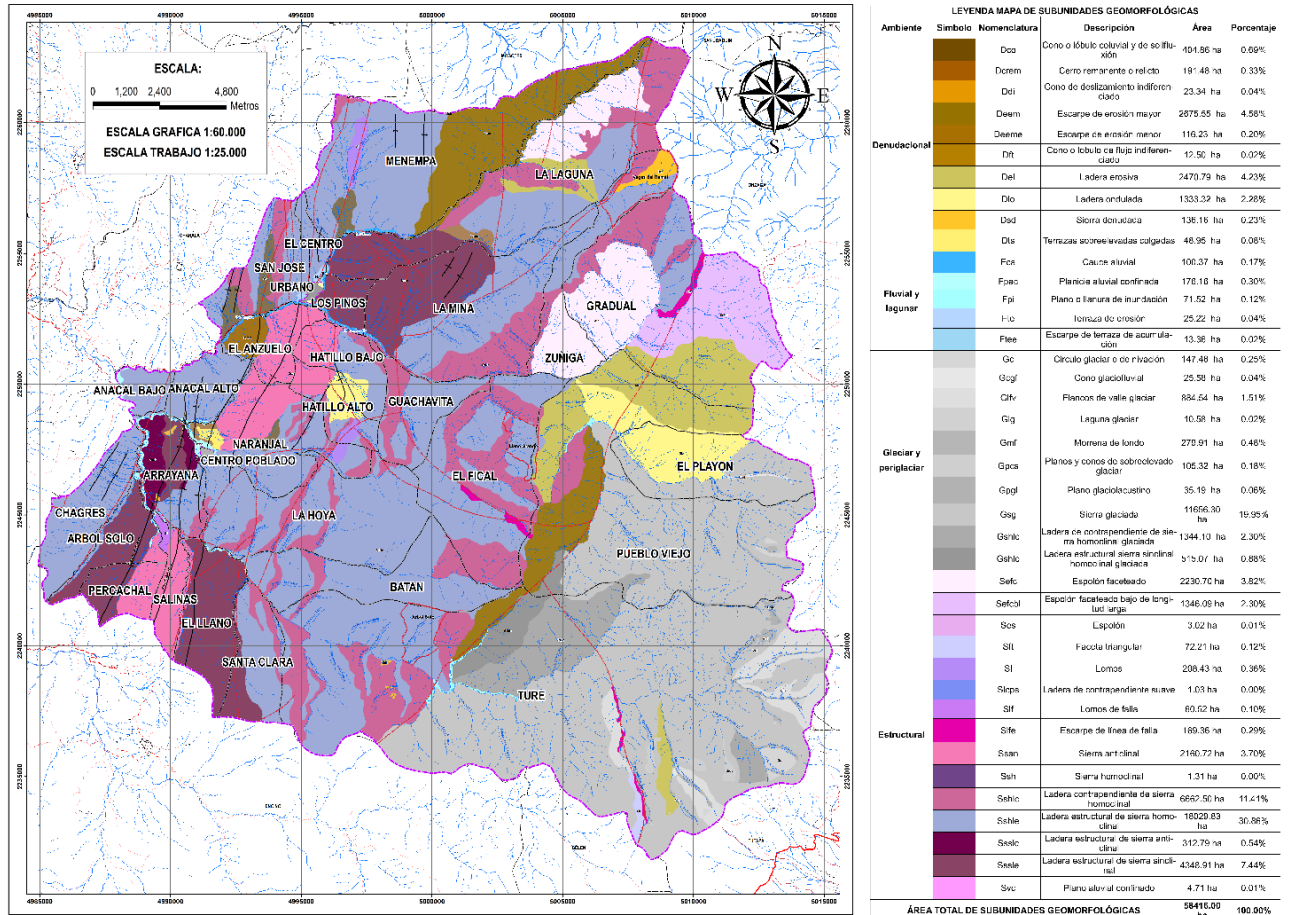


Nota. Gráfico sectorial del área de cobertura de los ambientes geomorfológicos en la zona de estudio.

El ambiente denudacional representa el 13% (Figura 6) de la zona de estudio, destacando las subunidades geomorfológicas de escarpe de erosión mayor (Deem) y ladera erosiva (Del), distribuidas principalmente a lo largo de los sectores N y E del municipio (Figura 7), las cuales se han relacionado con la ocurrencia de caídas de tierra (SGC, 2015). Finalmente, el ambiente geomorfológico con menor presencia en el municipio es el fluvial y lagunar, abarcando el 1% del municipio (Figura 6) y teniendo como subunidad geomorfológica representativa la planicie aluvial confinada (Fpac).

Figura 7

Mapa de subunidades geomorfológicas de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



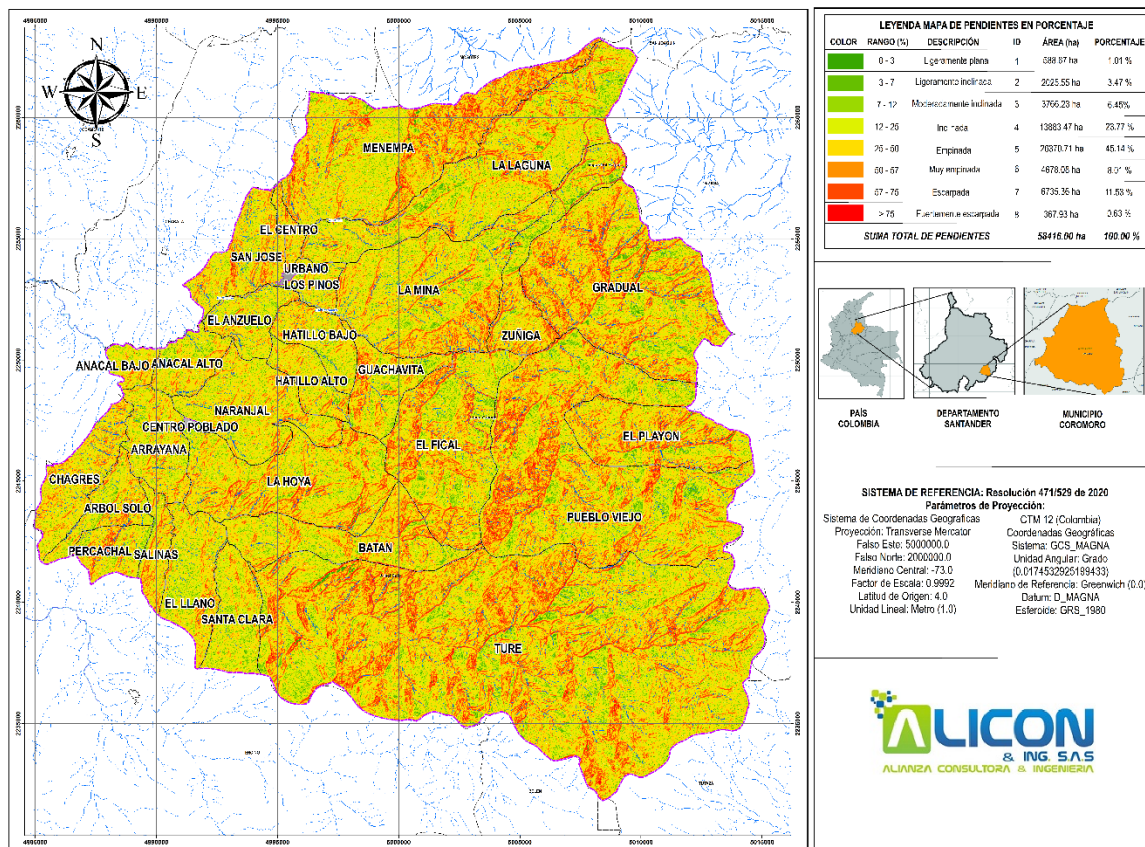
Nota. Generado con insumos 1:25.000.

En relación con la morfometría del municipio, el mapa de pendientes (Figura 8) se elaboró siguiendo la clasificación propuesta por el Igac (2021), encontrando que en el área de estudio predominan las pendientes empinadas (25-50°), cubriendo un área del 45.14% del total de la zona de estudio, seguido de una expresión inclinada (12-25°) que representa el 23.77% del municipio y de pendientes escarpadas (57-75°) en un 11.53%. Estas pendientes pueden asociarse en su mayoría

como resultado del ambiente geomorfológico estructural imperante en el sector de estudio y se espera una mayor ocurrencia de movimientos hacia las zonas de pendiente alta a escarpadas.

Figura 8

Mapa de pendientes de la zona de estudio (Coromoro, Santander)

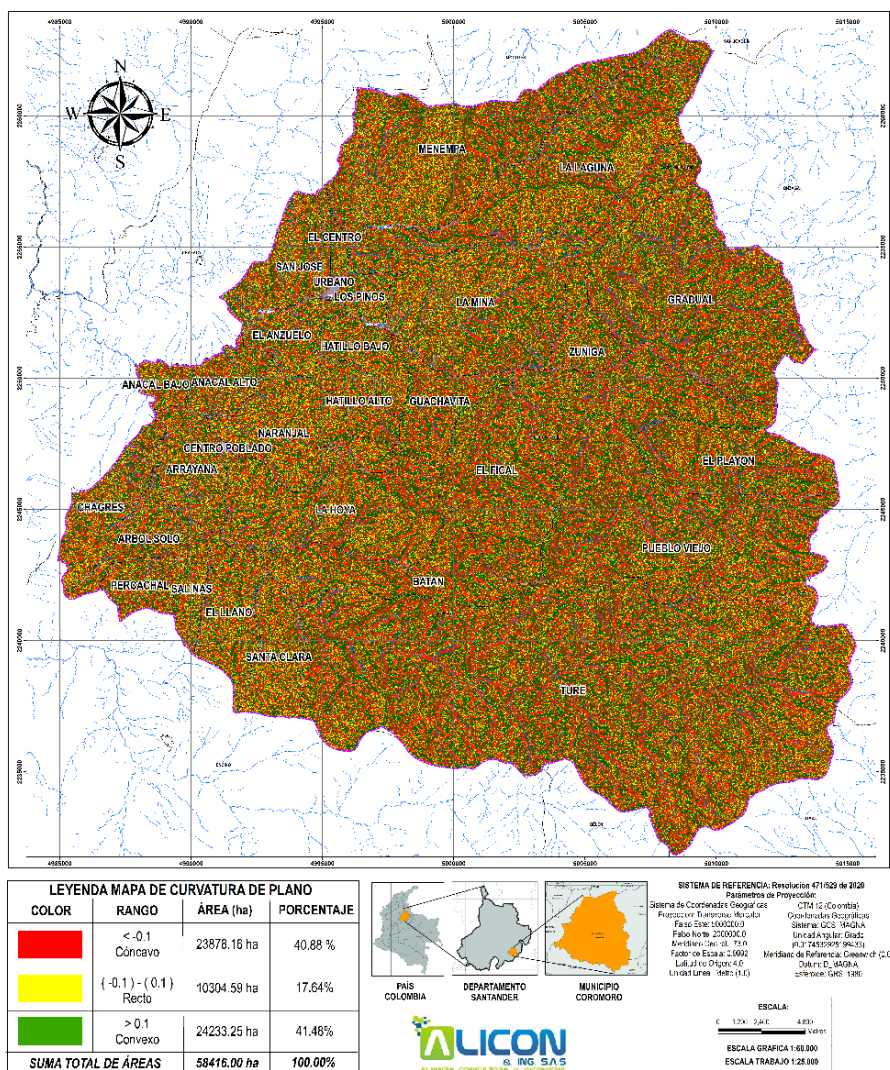


Nota. Generado con insumos 1:25.000.

En el caso del mapa de curvaturas (Figura 9), se puede observar una distribución variada entre zonas cóncavas y convexas, que se extienden a través de la zona de estudio. Debido a que se asocian las zonas cóncavas con una mayor ocurrencia de movimientos en masa, ya que son regiones que facilitan la concentración del flujo y su captación, es importante considerar este condicionante, debido al área que representa a lo largo del municipio (40.88%).

Figura 9

Mapa de curvaturas de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25.000.

8.2.2.2. Unidades Geológicas Superficiales (UGS). Se encontró un total de 42 UGS (Tabla 4) para el municipio de Coromoro, que se clasificaron en 4 categorías según su origen, hallando UGS de suelos transportados (de depósitos aluviales, de depósitos de gravedad o ladera, y de depósitos glaciares) y derivadas de la roca in situ (Figura 10).

Según su origen, las UGS de mayor presencia en la zona de estudio corresponden a las derivadas de rocas in situ, abarcando el 93% de la región. En esta, se identificaron 3 tipos: de suelo residual (6%), de suelo residual saprolito a roca parcialmente meteorizada (3%) y de roca (84%). De este modo, se identificó que la Riolita (JRr) y la Anfibolita de la Fm Silgará (PDs) son las UGS más comunes para el municipio de Coromoro (Tabla 4).

De este tipo de UGS, se evidenció una mayor ocurrencia de movimientos en masa en los suelos residuales arcillo limosos de la Fm Tablazo (Sralft), cerca al trazo de la Falla de Coromoro en la vereda Menempa, identificando un deslizamiento traslacional; mientras que sobre la vereda San José, se aprecia la ocurrencia de 2 flujos de detritos asociados a los suelos residuales arcillo limosos de la Fm Simití (Sralfta) (Figura 10).

En las UGS de origen de suelos transportados de depósitos aluviales, se identificaron dos tipos, de aluviones recientes/de cauce activo y de terrazas aluviales, representando solo el 0.2 % del área de estudio. En el caso de las unidades de suelos transportados de depósitos de gravedad o ladera (5%), se encontraron dos tipos: depósitos de talus y depósitos coluviales.

Entre los depósitos coluviales, se identificó una alta ocurrencia de deslizamientos traslacionales y caídas de tierra en suelos transportados coluviales de la Fm Simití (Stcfs) ubicados en la vereda Árbol Solo, asociado al plegamiento del Sinclinal de Cincelada (Figura 10). Finalmente, las unidades de suelos transportados de depósitos glaciares fueron de tipo morrena y tilitas (1%).

Suelos transportados de depósitos de gravedad o ladera	Depósitos de Talus	Sttff	Suelo transportado de talus de la Fm Floresta	408.84 ha	0.7
	Depósitos coluviales	Stcfs	Suelo transportado coluvial de la Fm Simití	679.11 ha	1.16
		Stcft	Suelo transportado coluvial de la Fm Tablazo	939.28 ha	1.61
		Stcfr	Suelo transportado coluvial de la Fm Rosablanca	672.63 ha	1.15
		Stcfg	Suelo transportado coluvial de la Fm Girón	65.13 ha	0.11
Suelos transportados de depósitos glaciares	Morrenas y Tilitas	Qm	Morrenas	827.12 ha	1.42
	Derivadas de la roca in situ	Suelo residual	Sralft	Suelo residual arcillo limoso de la Fm Tablazo	773.81 ha
Sralfs			Suelo residual limoso de la Fm Simití	852.83 ha	1.46
Sralfr			Suelo residual arcillo limoso de la Fm Rosablanca	369.5 ha	0.63
Sralfp			Suelo residual arcillo limoso de la Fm Paja	302.85 ha	0.52
Sralfta			Suelo residual arcillo limoso de la Fm Tambor	1112.56 ha	1.9
Suelo residual saprolito a roca parcialmente meteorizada	Roca	Srsrft	Suelo residual saprolito a roca de la Fm Tablazo	463.47 ha	0.79
		Srsrfs	Suelo residual saprolito a roca de la Fm Simití	1024.44 ha	1.75
		Srsrfr	Suelo residual saprolito a roca de la Fm Rosablanca	401.01 ha	0.69
		Srsrfp	Suelo residual saprolito a roca de la Fm Paja	44.7 ha	0.08
		Rmblfs	Roca muy blanda lutita de la Fm Simití	657.62 ha	1.13
Rmblfr	Roca muy blanda lutita de la Fm Rosablanca	20.62 ha	0.04		
Rmblfp	Roca muy blanda lutita de la Fm Paja	422.46 ha	0.72		
Rblft	Roca blanda lodolita de la Fm Tablazo	1230.36 ha	2.11		
Rbaft	Roca blanda arenisca de la Fm Tablazo	945.98 ha	1.62		
Rblfs	Roca blanda lodolita de la Fm Simití	114.04 ha	0.2		
Rbafs	Roca blanda arenisca de la Fm Simití	935.82 ha	1.6		
Rbalmbfs	Roca blanda arenisca con lutita muy blanda de la Fm Simití	1055.54 ha	1.81		
Rblfr	Roca blanda lodolita de la Fm Rosablanca	864.81 ha	1.48		
Rblfta	Roca blanda lodolita de la Fm Tambor	4344.37 ha	7.44		
Rbafta	Roca blanda arenisca de la Fm Tambor	2459.54 ha	4.21		
Rbfff	Roca blanda filita de la Fm Floresta	3476.54 ha	5.95		
Rbemff	Roca blanda esquisto micáceo de la Fm Floresta	5980.54 ha	10.24		
Riaft	Roca intermedia arenisca de la Fm Tablazo	443.03 ha	0.76		
Rialbft	Roca intermedia arenisca con lodolita blanda de la Fm Tablazo	662.42 ha	1.13		
Ricft	Roca intermedia calida de la Fm Tablazo	181.76 ha	0.31		
Ricfr	Roca intermedia caliza de la Fm Rosablanca	1590.78 ha	2.27		
Rieff	Roca intermedia esquisto de la Fm Floresta	2831.48 ha	4.85		
Riebff	Roca intermedia esquisto con filita blanda de la Fm Floresta	1827.79 ha	3.13		
Riafg	Roca intermedia arenisca de la Fm Girón	1613.85 ha	2.76		
Rdcff	Roca dura cuarcita de la Fm Floresta	48.68 ha	0.08		

JRr	Riolita	7315.4 ha	12.52
JRem	Cuarzomonzonita	3440.4 ha	5.89
PDs	Anfibolitas de la Fm Silgará	6886.38 ha	11.79
SUMA TOTAL UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES		58416 ha	100%

Nota. Descripciones, área y porcentajes del mapa de UGS del área de estudio (Figura 10).

8.2.2.3. Cobertura de la tierra y usos del suelo. En el municipio de Coromoro la cobertura de tierra predominante es de tipo “Bosque denso bajo” cubriendo el 35.69% del área de estudio (Tabla 5), evidenciándose en las veredas La Laguna, El Fical, Batan y Pueblo Viejo (Figura 11). Esta presenta una baja ocurrencia de movimientos en masa, encontrando solo deslizamientos traslacionales individuales en las veredas El Playón y La Laguna; en cambio, en la vereda Gradual se inventariaron 2 de este mismo subtipo, y un evento de caída de detritos.

El mosaico de pastos con espacios naturales es la segunda cobertura de tierra con mayor prevalencia en el municipio (24.06%) (Tabla 5), encontrándose principalmente en las veredas Menempa, Zuñiga, Ture y en el flanco oeste de Coromoro (Figura 11), donde las parcelas de pastos en esta cobertura suelen usarse para actividades agrícolas y de ganadería, lo que puede favorecer la incidencia de movimientos en masa.

Debido a esto, se determinó a esta cobertura como la de mayor relación con la ocurrencia de los eventos registrados, como se evidencia en los deslizamientos traslacionales inventariados en las veredas Ture, El llano, Árbol Solo, Chagres, Naranjal, Zúñiga, Menempa y El Centro, así como de 4 caídas de detritos en la vereda San José y dos eventos de reptación en las veredas Guachavita y Naranjal, respectivamente.

Por otro lado, la cobertura de tipo “arbustal denso”, cubre un 20.12% del municipio (Tabla 5), extendiéndose de manera conjunta en los mismos sectores, donde se identificó el bosque denso bajo, el cual es de gran importancia para preservar la estabilidad de los taludes. Esto se refleja en

la baja ocurrencia de movimientos en masa del inventario de procesos morfodinámicos en esta cobertura, encontrando dos caídas de tierra en la vereda Árbol Solo, dos en La Hoya y un evento en El Poblado (Figura 11).

Tabla 5

Descripción de las coberturas de la tierra del área de estudio (Coromoro, Santander)

ID	Descripción	Área	Porcentaje
1.1.2	Tejido urbano discontinuo	0.50 ha	0.00%
1.3.1.5	Explotación de materiales de construcción	4.39 ha	0.01%
2.2.1.2	Caña	31.60 ha	0.05%
2.2.2.2	Café	1589.71 ha	2.72%
2.4.1	Mosaico de cultivos	123.59 ha	0.21%
2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	7.91 ha	0.01%
2.4.4	Mosaico de pastos con espacios naturales	14057.61 ha	24.06%
3.1.1.2	Bosque denso bajo	20846.60 ha	35.69%
3.1.3.2	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	2893.62 ha	4.95%
3.2.2.1	Arbustal denso	11753.48 ha	20.12%
3.3.2	Afloramientos rocosos	765.91 ha	1.31%
3.3.3	Tierras desnudas y degradadas	6314.19 ha	10.81%
5.1.1	Ríos (50 m)	22.65 ha	0.04%
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.25 ha	0.01%
ÁREA TOTAL COBERTURA DEL SUELO		58416.00 ha	100.00%

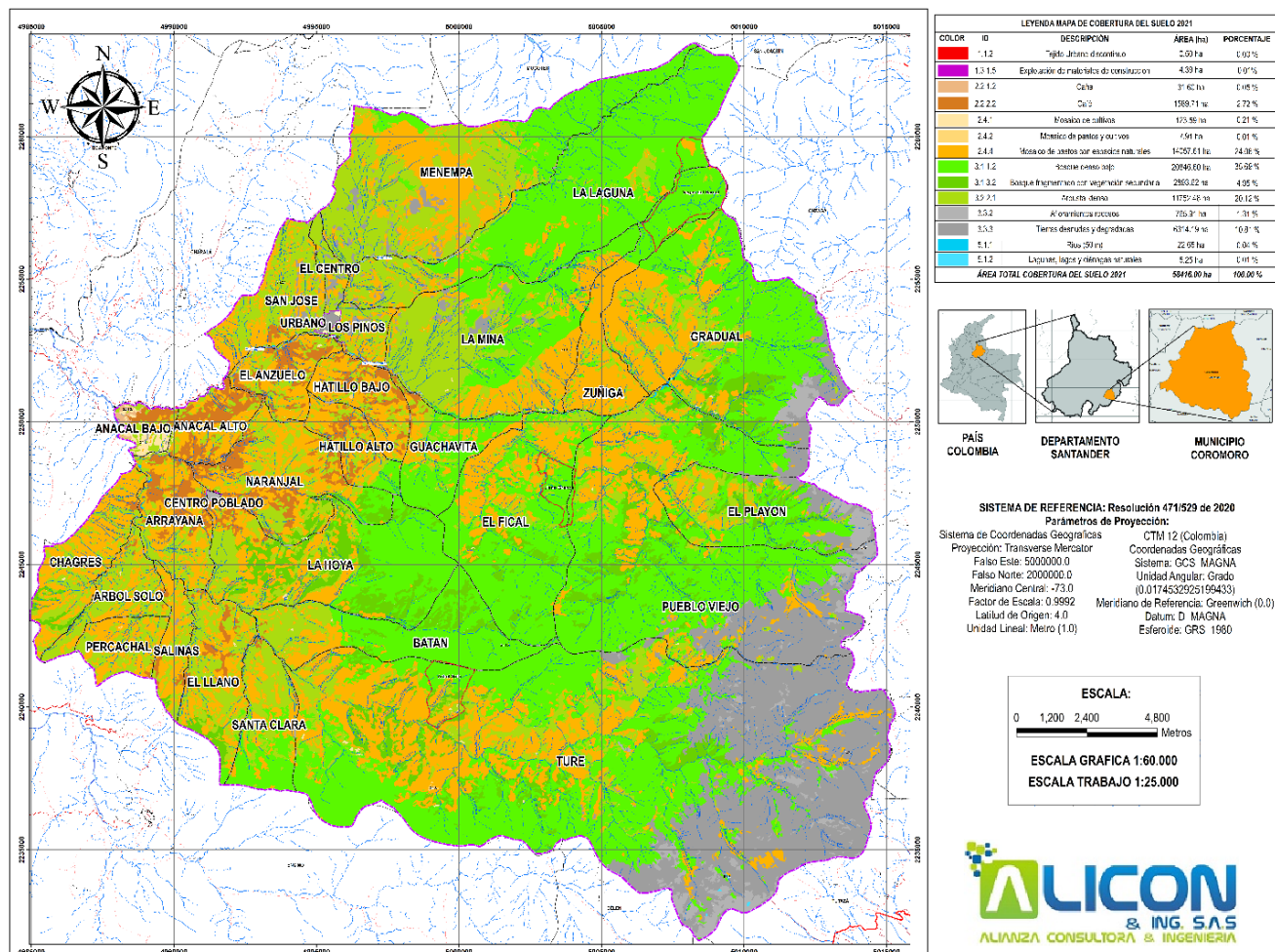
Nota. Descripciones, área y porcentaje de las coberturas del suelo del área de estudio

(Figura 11).

Las coberturas de tierra desnudas y degradadas (10.81%) y afloramientos rocosos (1.31%) (Tabla 5) suelen considerarse desencadenantes de movimientos en masa. Por lo que, aún si no se tienen movimientos registrados en estas coberturas, se espera que el sector SW de la zona de estudio, hacia las veredas Ture, Pueblo y El Playón, tengan una mayor presencia de movimientos en masa por este condicionante, en especial de tipo deslizamiento y reptación (Figura 11).

Figura 11

Mapa de coberturas de la tierra de la zona de estudio (Coromoro, Santander)

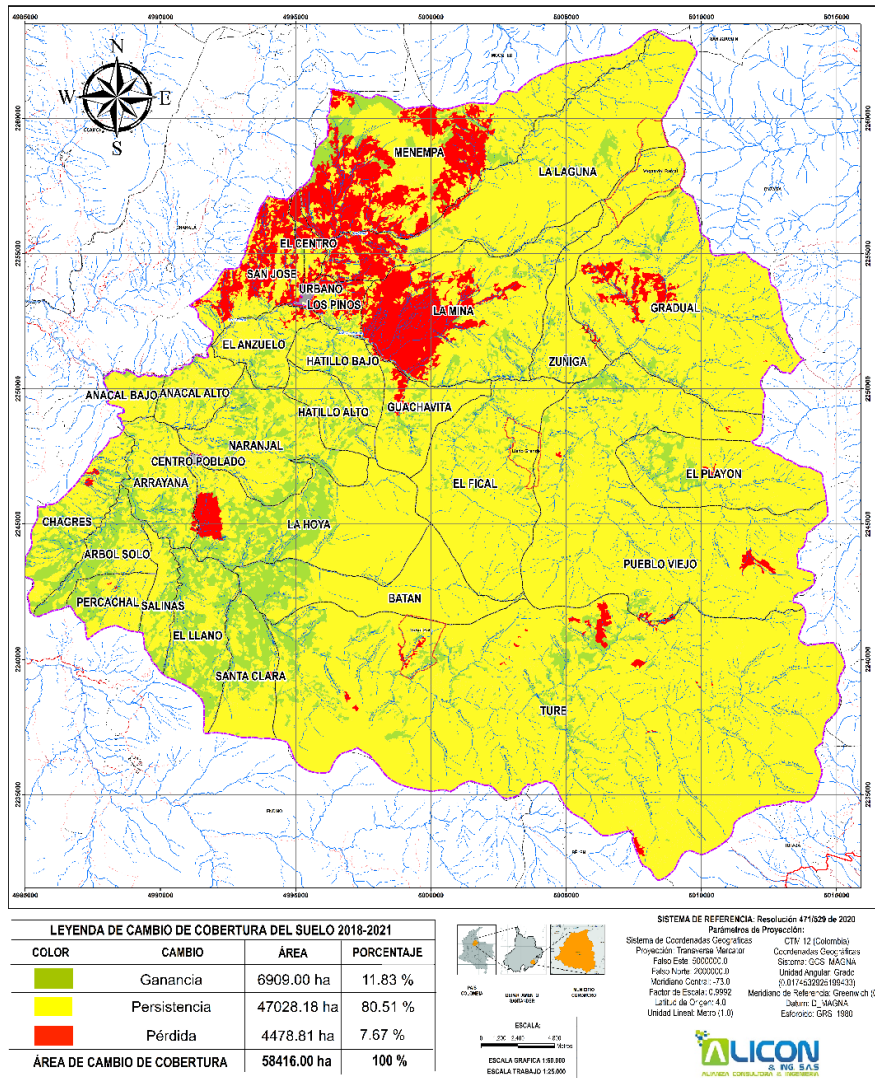


Nota. Generado con insumos 1:25:000.

A partir de las coberturas de tierra definidas para la zona de estudio, se realizó el mapa de los cambios en la cobertura del suelo para el período 2018-2021 (Figura 12), con el fin de evaluar las ganancias o pérdidas de cobertura vegetal en el municipio de Coromoro.

Figura 12

Mapa de cambios de cobertura del suelo (2018-2021) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

Analizando el mapa de la Figura 12, se observa una persistencia de las capas de cobertura vegetal en un 80.51% y una ligera ganancia del 11.83%, que corresponde a la recuperación de este tipo de cobertura de la tierra. Sin embargo, se identificaron algunos focos de pérdida de cobertura

vegetal (7.67%), la cual pudo haberse dado por efectos de intervención antrópica, como lo es el cambio en la razón de uso del suelo, de coberturas naturales a artificiales con fines productivos, o por la ocurrencia de fenómenos naturales, entre ellos incendios forestales e inundaciones. Por tal motivo, las veredas La Mina, El Centro, San José y Los Pinos (Figura 12), que fueron los sectores con pérdida de cobertura vegetal, pueden verse condicionados a la ocurrencia de movimientos en masa, ya que la falta de vegetación propicia la inestabilidad en los suelos.

8.3. Análisis de susceptibilidad

El análisis de susceptibilidad se llevó a cabo para cada tipo de movimiento en masa (deslizamiento, caída, flujo y reptación) según la metodología definida en la Tabla 2. El mapa de susceptibilidad total (Figura 17) se obtuvo a partir de la integración de la susceptibilidad generada para cada movimiento (Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16).

8.3.1. Análisis de susceptibilidad por deslizamientos

Se aplicó el método estadístico bivariado, denominado pesos de evidencia (Weight of evidence -WofE), como lo estipula el SGC (2017), para generar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa tipo deslizamiento (Figura 13). En este caso, se utilizó la información del inventario de procesos morfodinámicos y los siguientes factores condicionantes, los cuales fueron reclasificados: subunidades geomorfológicas, UGS, pendientes, curvatura, coberturas de tierra y cambios del suelo.

Las capas reclasificadas se integraron mediante algebra de mapas con el software QGIS, y de esta forma, se generó la susceptibilidad por deslizamientos en el área de estudio. Este resultado se categorizó en susceptibilidad baja, media y alta, las cuales fueron delimitadas a partir de cuantiles definidos por el SGC (2017) y que consideran la densidad de movimientos presentes en una zona.

El mapa de susceptibilidad por movimientos de tipo deslizamiento para el municipio de Coromoro se observa en la Figura 13. Al analizar los resultados, la susceptibilidad baja cuenta con una extensión del 10.64% del municipio, distribuida principalmente en las veredas Zuñiga, Batan y Menempa (Figura 13). Esta categoría abarca las zonas con una baja densidad de ocurrencia de deslizamientos, la cual está determinada por ser zonas con coberturas de alta vegetación no intervenida (bosque denso bajo y arbustal denso), pendientes bajas (ligeramente planas a moderadamente inclinadas) y UGS de rocas blandas de areniscas y rocas blandas de lodolitas de la Fm Tambor.

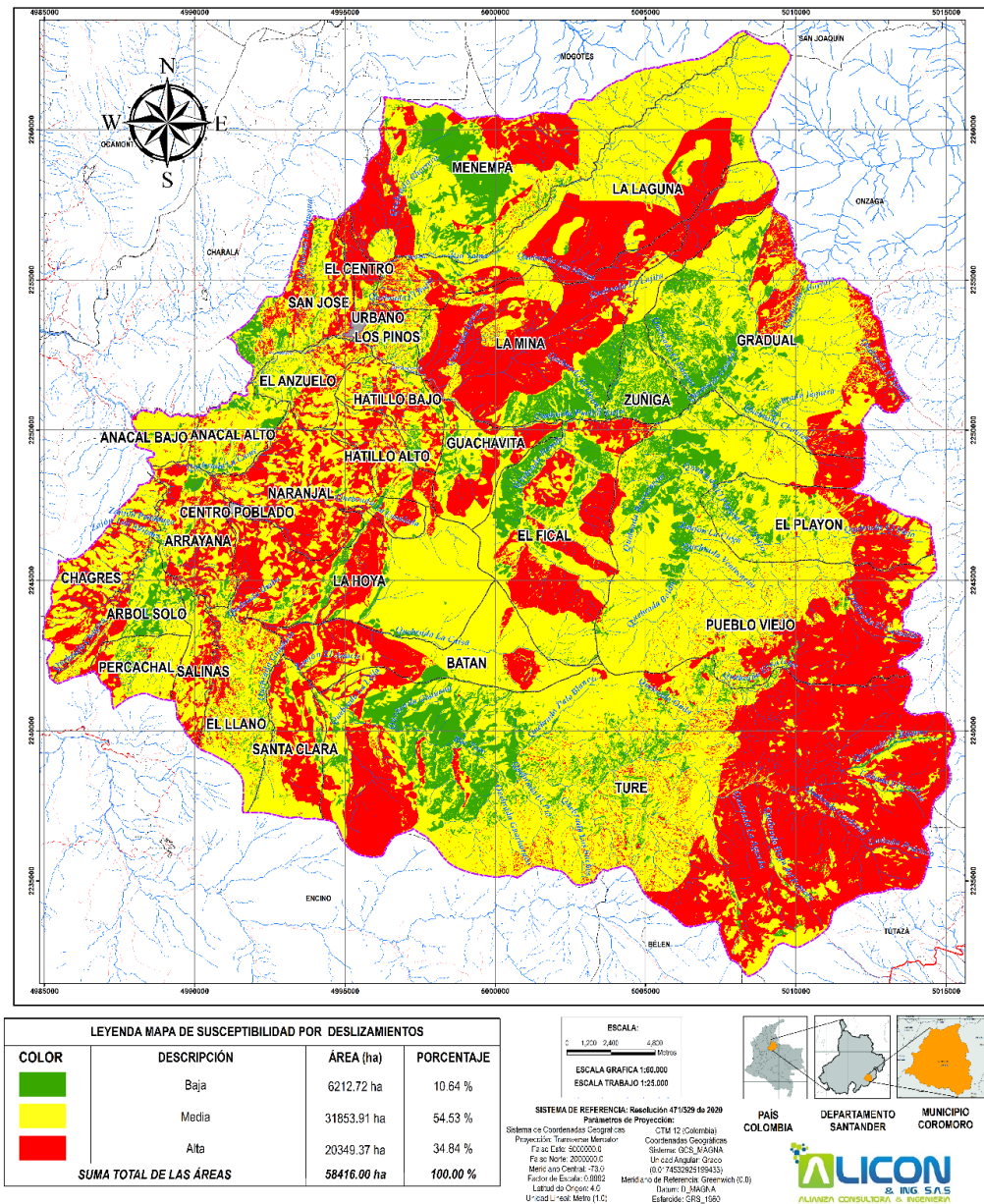
Con respecto a la susceptibilidad media, se encontró que el 54.53% del área de estudio corresponde a esta categoría, extendiéndose de manera uniforme por la región. Esta representa las regiones con una densidad de ocurrencia moderada de deslizamientos, pero debido a los condicionantes presentes, como coberturas de mosaicos de pastos con espacios naturales, pendientes inclinadas a empinadas, UGS de suelos derivados de rocas in situ (Roca intermedia y Roca blanda esquistos de la Fm Floresta) y suelos transportados de depósitos coluviales, podrían llegar a presentarse eventos de este tipo.

Finalmente, la susceptibilidad alta representa el 34.83% del suelo rural, concentrándose en las veredas Chagres, Santa Clara, Arrayana, Naranjal, La Hoya, Ture, Pueblo Viejo, El Playón, La Mina, La Laguna, El Centro y El Fical (Figura 13). Esta categoría es indicadora de aquellas regiones con mayor densidad de deslizamientos y con una probabilidad elevada de presentar eventos de este tipo, debido a condicionantes como pendientes empinadas a fuertemente escarpadas, subunidades geomorfológicas, como sierras glaciadas, laderas estructurales y de contrapendiente, y UGS derivadas de rocas in situ, entre ellas Riolitas y rocas intermedias calizas de la Fm Rosablanca, donde es importante destacar las zonas escarpadas afectadas por procesos

de erosión hídrica en los drenajes principales (Río Ture), como los de mayor ocurrencia de deslizamientos traslacionales.

Figura 13

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo deslizamiento de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

8.3.2. Análisis de susceptibilidad por caídas

El análisis de susceptibilidad por movimientos en masa de tipo caída se realizó por medio de un método empírico, en el cual se siguieron las directrices establecidas en SGC (2017). Por lo tanto, se consideraron las pendientes mayores a 45° como las de mayor probabilidad de presentar caídas. También, se evaluaron las UGS, con el objetivo de diferenciar unidades de suelo y roca, ya que hay una mayor relación de ocurrencia entre este tipo de movimiento y unidades rocosas. Por último, se analizaron las subunidades geomorfológicas indicativas de procesos tipo caída presentes en el área de estudio.

El mapa de susceptibilidad por caídas (Figura 14) muestra los resultados de la categorización efectuada, según lo establecido en SGC (2017). De este modo, la categoría de susceptibilidad baja corresponde a las zonas donde la probabilidad de ocurrencia de un evento de este tipo es mínima, siendo aquellas que no cumplen con el requisito de una pendiente mayor a 45°, encontrando que el 79.81% del municipio está zonificado en esta categoría.

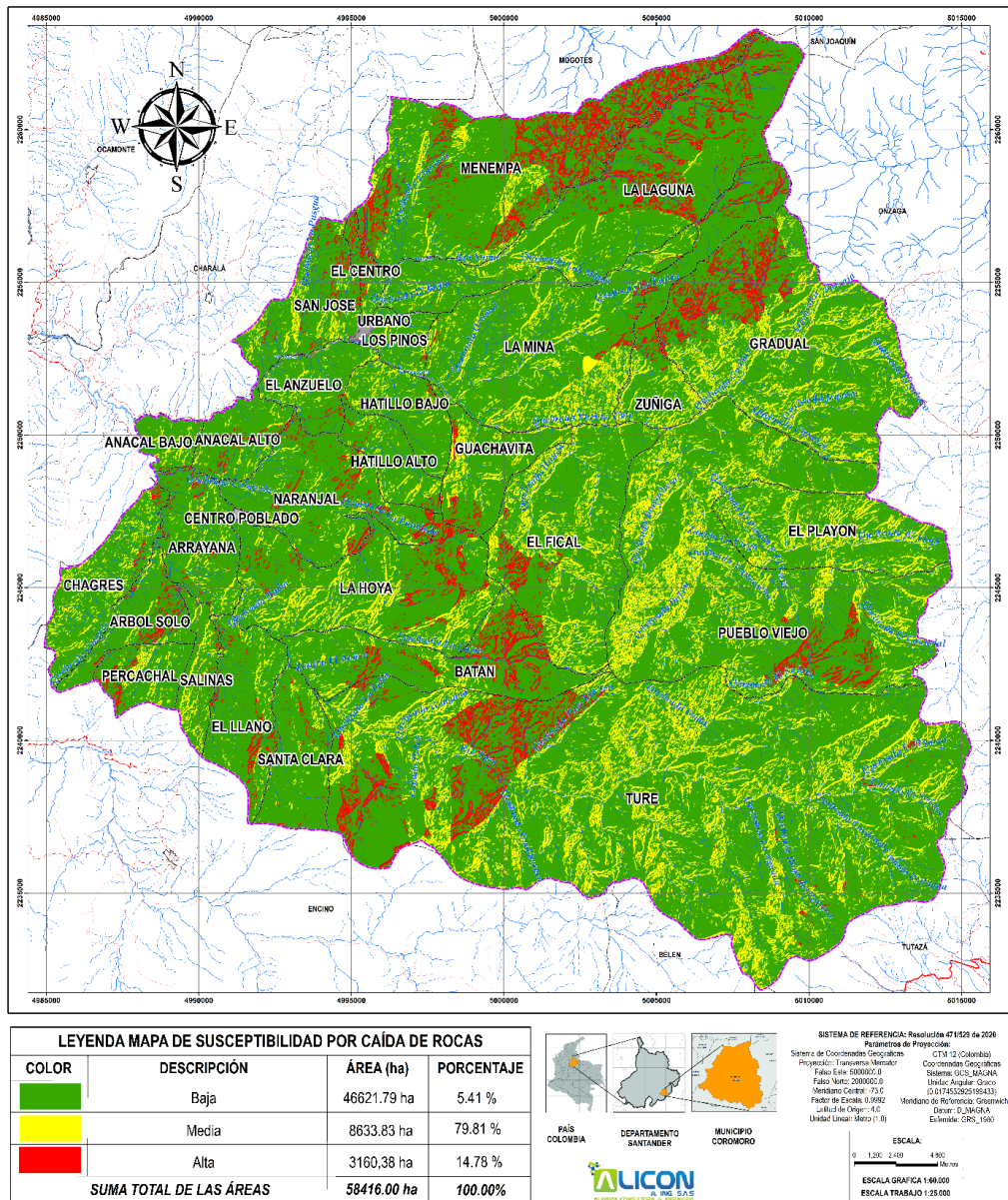
La categoría media corresponde al 14.78% y se presenta en las veredas Zúñiga, Ture, El Playón y Pueblo Viejo (Figura 14). Esta categoría incluye aquellas zonas con pendientes mayores a 45° y que presentan al menos uno de los condicionantes (subunidades geomorfológicas indicativas y/o UGS).

Por último, la susceptibilidad alta hace referencia a aquellas zonas donde se combinan los condicionantes evaluados, cubriendo tan solo el 5.41% del área total del municipio. En este caso, corresponde a las regiones con pendientes muy empinadas a escarpadas, como la vereda Menempa (Figura 14), donde también se encuentra la subunidad geomorfológica indicativa de escarpe de erosión mayor (Deem) y la UGS de roca blanda de esquisto micáceo de la Fm Floresta (Rbemff); en las veredas Batán, Ture y Gradual (Figura 14), se identificaron las laderas de contrapendiente

de sierra homoclinal (Sshlc) y las rocas blandas de filitas de la Fm Floresta (Rbfff), como condicionantes para esta categoría.

Figura 14

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo caída de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

8.3.3. Análisis de susceptibilidad por flujos

Los movimientos en masa de tipo flujo utilizaron un método empírico, en el cual se analizaron las subunidades geomorfológicas, con el propósito de identificar aquellas que fueran indicativas de flujos, según lo establecido por la guía del SGC (2017). Además, se evaluó el insumo de pendientes, donde se consideraron pendientes longitudinales mayores a 12° y pendientes de cuenca entre 27° y 38°, con el fin de establecer una relación con la geomorfología, y así encontrar aquellas zonas con mayor posibilidad de ocurrencia.

Con este método de cartografiado, se categorizó la susceptibilidad por flujos en el suelo rural de Coromoro, como se muestra en la Figura 15. El análisis del mapa demuestra que en la zona de estudio hay una susceptibilidad baja para este tipo de movimiento, siendo el 97.87% del área total del municipio y describe aquellas zonas que no cumplen con los parámetros de pendientes establecidas y no presentan unidades geomorfológicas indicativas para este movimiento.

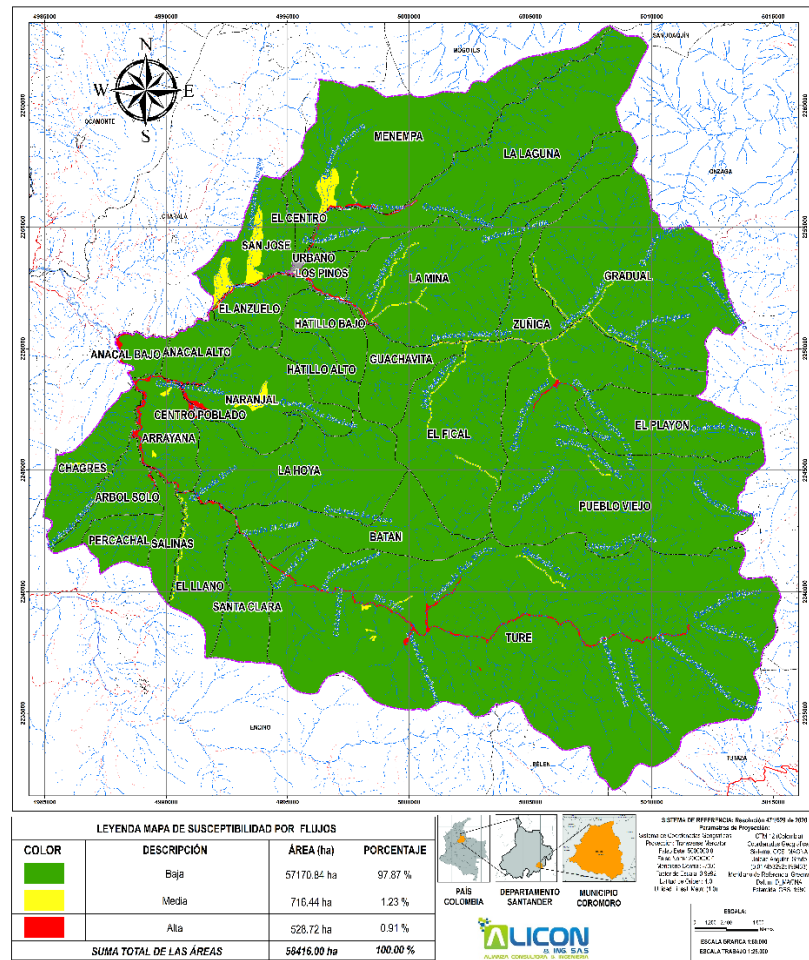
La susceptibilidad media representa el 1.23% del suelo rural del municipio y abarca las zonas que cumplen con los parámetros de pendientes definidos y tiene como subunidades geomorfológicas indicativas pedimentos y terrazas de acumulación, encontrando como focos principales las veredas Naranjal, El Centro y San José (Figura 15).

Por último, la categoría de susceptibilidad alta es tan solo el 0.91% de la zona de estudio, que representa las zonas con las pendientes indicativas y las subunidades geomorfológicas de cono de flujo de detritos y depósitos coluviales, así como de UGS de aluviones recientes y de cauce activo y de depósitos de talus y coluviales; observando esta zonificación sobre los cauces de los drenajes del Río Ture, el cual se extiende desde la vereda Arrayana hasta el sector de Ture; en la

quebrada La Ensalada (veredas Naranjal y Anacal Alto y Bajo); y del Rio Yama, hacia el centro urbano del municipio y en las veredas Los Pinos, El Centro y San José (Figura 15).

Figura 15

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo flujo de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

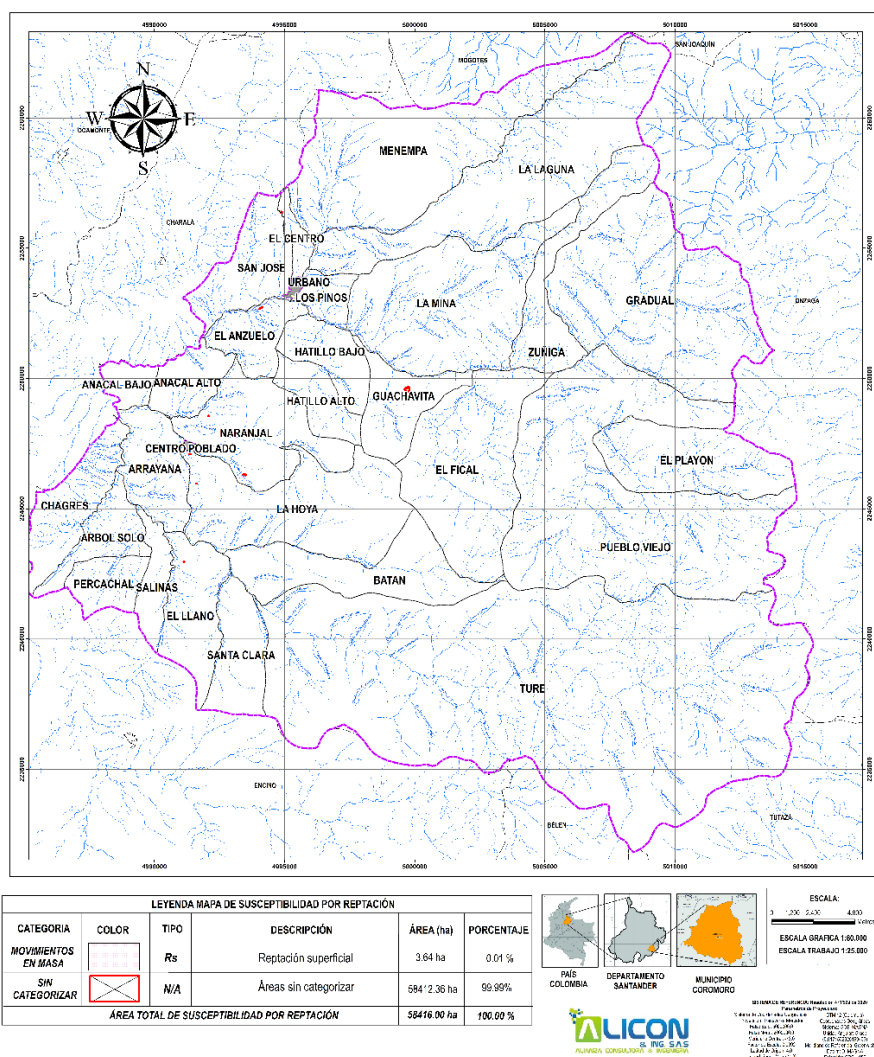
8.3.4. Análisis de susceptibilidad por reptación

Las reptaciones se delinearón a partir de las zonas afectadas del inventario de procesos morfodinámicos, en conjunto con un análisis geomorfológico, con el fin de lograr identificar

aquellos sectores donde se puedan presentar estos movimientos y encontrar eventos activos. En este caso, el SGC (2017) indica que no se hace una categorización de la susceptibilidad y solo se delimitan las zonas con procesos de reptación activos, donde la Figura 16 muestra una ocurrencia menor al 1% en el municipio.

Figura 16

Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa tipo reptación de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

Al considerar los 10 movimientos de reptación inventariados para el área de estudio, se asocia su presencia en las veredas Guachavita, El Centro, La Hoya, Naranjal y El Llano (Figura 16), a zonas empinadas que correspondan a coberturas de mosaicos de cultivos, principalmente de caña y café, y mosaicos de pastos y cultivos, ya que las actividades agrícolas suelen favorecer la ocurrencia de este tipo de movimientos en masa.

8.3.4. Análisis de susceptibilidad total

La susceptibilidad total consistió en la integración de la zonificación generada para cada uno de los cuatro movimientos en masa considerados. Para generar este producto, se hizo una superposición de los mapas generados para deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones, donde se tomó como base el mapa de susceptibilidad por deslizamientos, debido a que es el movimiento de mayor ocurrencia en la región.

La categorización de susceptibilidad total se realizó con base al modelo propuesto por el SGC (2017), en el que se definieron cuatro categorías (baja, media, alta, muy alta), y se pueden observar en la Tabla 2. De este modo, se generó el mapa de susceptibilidad total para el suelo rural del municipio de Coromoro, Santander (Figura 17).

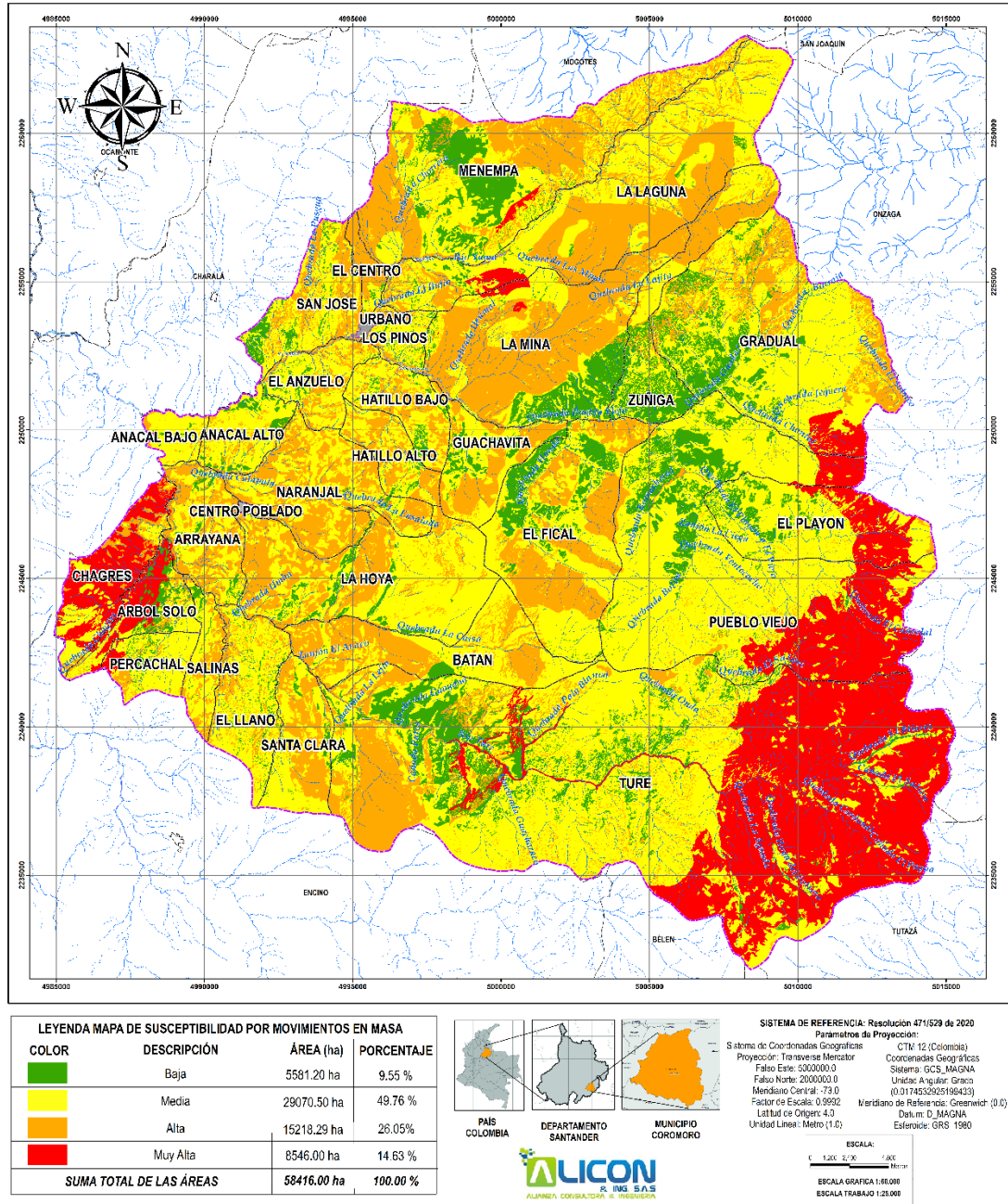
El análisis de los resultados de susceptibilidad total por movimientos en masa indica que la categoría de susceptibilidad baja corresponde al 9,55% del área del municipio, en algunos sectores de las veredas Menempa, Gradual, Zuñiga, El Playon, El Fical, Zuñiga y Ture (Figura 17). Las pendientes en esta categoría van de ligeramente planas a inclinadas y se asocian a rocas blandas de areniscas y rocas blandas de lodolitas de la Fm Tambor, así como a rocas blandas de esquistos micáceos de la Fm Floresta. Con respecto a coberturas, predominan el bosque denso bajo y arbustal denso.

En el caso de la susceptibilidad media, esta ocupa el 49,76%, siendo la de mayor ocurrencia y ocupando el costado oeste de las veredas El Playón, Pueblo Viejo y Ture, el norte de la vereda La Laguna y extendiéndose el costado oeste del municipio, principalmente en las veredas Batan, La Hoya, El Llano, Percachal, Salinas, Anacal Bajo y Anacal Alto (Figura 17). Se asocia con pendientes que van de inclinadas a empinadas, a mosaicos de pastos con espacios naturales, a suelos derivados de rocas in situ, como Anfibolitas de la Fm Silgará, Cuarzomonzonitas, rocas blandas de esquistos micáceos de la Fm Floresta, rocas intermedias de areniscas de la Fm Girón, rocas blandas de areniscas de la Fm Simití, suelos residuales de saprolito de rocas de la Fm Tablazo, y también, a suelos transportados coluviales de la Fm Tablazo. Geomorfológicamente, se presentan espolones faceteados, sierras denudadas, cerros remanentes o relictos, laderas de contrapendientes de sierra homoclinal y conos coluviales o de soliflucción.

La categoría de susceptibilidad alta ocupa el 26.05% del área del municipio, evidenciándose en su mayoría en las veredas La Mina, La Laguna, Batan, Santa Clara, Naranjal y Arrayana, también, en algunos sectores de las veredas Ture, La Hoya, Menempa y el Fical (Figura 17). En el caso de las UGS, se encuentran rocas blandas de lodolitas de la Fm Tambor, Fm Rosablanca y Fm Simití, rocas intermedias de calizas de la Fm Rosablanca, rocas blandas de areniscas de la Fm Tambor y suelos residuales de saprolito de rocas de la Fm Tablazo. Por otro lado, la geomorfología indicativa corresponde a laderas estructurales de sierra homoclinal y de sierra sinclinal, sierras anticlinales, terrazas elevadas colgadas y pendientes de empinadas a superiores, las cuales están fuertemente influenciadas por el plegamiento del Anticlinal de Encino, Sinclinal de Cincelada, y trazos de la Falla de Coromoro hacia el norte de la zona estudio. Finalmente, las coberturas representativas corresponden a mosaicos de pastos con espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, mosaicos de cultivos y cultivos de café.

Figura 17

Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

Finalmente, la susceptibilidad de categoría muy alta corresponde al 14.63% del área de estudio y comprende el área de ocurrencia del total de movimientos inventariados, encontrando deslizamientos traslacionales y caídas de detritos como los eventos más comunes en el municipio, principalmente, en zonas con pendientes empinada a fuertemente escarpadas contiguas a los drenajes principales. Hacia el costado este de las veredas El Playón, Pueblo Viejo y Ture (Figura 17), se establecieron como condicionantes las unidades geológicas derivadas de rocas in situ (riolitas), las subunidades geomorfológicas de sierras glaciadas y flancos de valle glaciario, juntos con la cobertura de tierras desnudas y degradadas. En las veredas Chagres y Árbol Solo, las coberturas de mosaico de pastos con espacios naturales y arbustal denso, las UGS de rocas blandas de areniscas con lutita muy blanda de la Fm Simití, rocas blandas de areniscas de la Fm Tablazo y en geomorfología, laderas estructurales de sierra homoclinal, con influencia estructural del Sinclinal de Cincelada.

Para cada movimiento en masa considerado, se identificaron ciertas condiciones indicadoras de inestabilidad de taludes dentro de esta categoría. En los deslizamientos, las subunidades de sierras glaciadas y laderas estructurales y de contrapendientes, y UGS derivadas de rocas in situ, con calidad intermedia. Para las caídas, se estableció como subunidad geomorfológica indicativa el escarpe de erosión mayor y laderas de contrapendiente de sierra homoclinal, mientras que las UGS son rocas blandas en su mayoría. En el caso de los flujos, la geomorfología indicativa son los conos de flujos de detritos y depósitos coluviales, teniendo como principales zonas con densidad de ocurrencia los cauces de los ríos Ture, Yama y quebrada La Ensalada (Figura 17).

Al comparar los resultados obtenidos en el presente proyecto (Figura 17), con la zonificación realizada para el EOT de Coromoro (Cortes *et al.*, 2002) y las planchas de

susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000, de la zona de estudio (SGC, 2015, 2016), fue posible tener una categorización más clara y precisa para el suelo rural.

La susceptibilidad de categoría muy alta estimada en el proyecto corresponde al 14.63% (8546 ha) del área de estudio, teniendo como puntos críticos las veredas Chagres, Ture, Pueblo Viejo y El Playón, mientras que en el EOT del municipio (Cortes *et al.*, 2002), esta correspondía al 52.73% (30503.34 ha) del suelo rural, extendiéndose uniformemente por todos los sectores del municipio.

Esta diferencia en la zonificación se mantiene para las categorías media y alta, siendo del 49,76% (29070.51 ha) y 26.95% (15218.29 ha), respectivamente, que, comparadas con las definidas en el EOT del 2002, son 16.67% (9645.15 ha) para la susceptibilidad media y 39.59% (17697.16 ha) para la categoría alta. Cabe destacar, que en el EOT (Cortes *et al.*, 2002) no se hace mención de una categoría de susceptibilidad baja para el municipio, y esta es brevemente mencionada en la plancha 152-Soatá del SGC (2015).

8.4. Caracterización de la amenaza

La amenaza por movimientos en masa se determinó mediante un método cualitativo, donde se categorizaron y ponderaron los factores detonantes (lluvias y sismos), y se relacionaron con la susceptibilidad total establecida para la zona de estudio, según lo definido por la guía metodológica del SGC (2017).

8.4.1. Factores detonantes

El análisis de la precipitación como factor detonante de movimientos en masa parte de los datos pluviométricos registrados por estaciones meteorológicas en la zona de estudio. En el caso

de Coromoro, se encontraron 7 estaciones pluviométricas en el área de influencia del municipio, las cuales se pueden observar en la Tabla 6, donde se incluye su periodo de registro.

Tabla 6

Estaciones pluviométricas de la zona de estudio (Coromoro, Santander).

Estación	Código	Localización		Periodo registro
		Longitud	Latitud	
La Capilla	240030860	7.286.666.667	61.007.222.220	1980-2021
Coromoro	24020120	7.304.472.222	62.994.444.440	1974-2021
Oiba	24010240	7.330.333.333	62.625	1980-2021
Las Pavas	24020220	7.296.458.333	61.527.222.220	1980-2021
Pueblo Viejo	24020230	7.294.672.222	62.487.777.780	1980-2021
San Joaquín	24030200	7.287.383.333	64.264.166.670	1980-2021
Susa	24030370	7.283.483.333	61.885	1980-2021

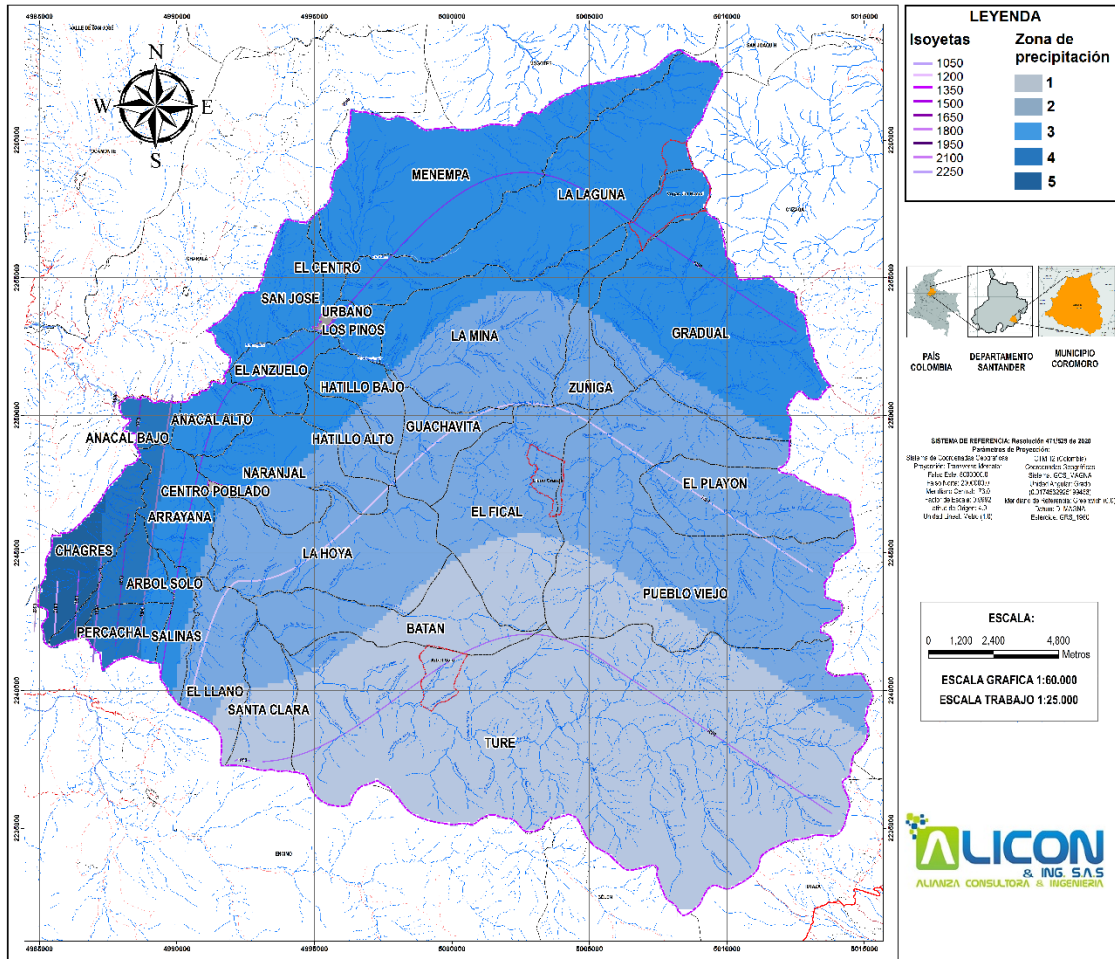
Nota. Información descargada del portal de datos abiertos Ideam (2023).

Con los datos de precipitación total mensual, se calculó la precipitación promedio anual (Montealegre, 1990) para cada una de las estaciones, abarcando la serie de tiempo de 1980-2021, definida a partir de la disponibilidad de información de la zona. Con esta información, se hizo una interpolación en el software QGIS, con el fin de generar el mapa de isoyetas para la zona de estudio.

Los resultados del mapa de isoyetas (Figura 18) muestran el comportamiento de la precipitación en el municipio de Coromoro, donde la zona de precipitación 1 representa los valores más bajos, mientras que la zona 5 los más altos. De acuerdo con el mapa, en el sector norte del municipio se registran las mayores precipitaciones, disminuyendo hacia el sur.

Figura 18

Mapa de Isoyetas de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25:000.

Los sismos como detonantes de movimientos en masa fueron evaluados a partir del valor de aceleración sísmica de la zona de estudio. Por este motivo, se consultó el mapa de *Zonas de Amenaza NSR-10* (SGC, 2020), donde se asignó un valor de aceleración sísmica de 0,20 g para Coromoro, Santander, lo cual se ha categorizado como zona sísmica intermedia.

El valor de aceleración sísmica fue reclasificado en valores de 1 a 5, siendo 5 el más crítico, con el fin de estandarizar el detonante sismo y poder incorporarlo al modelo de amenaza por movimientos en masa. Los resultados de esta reclasificación se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Clasificación de aceleración sísmica de la zona de estudio (Coromoro, Santander).

CATEGORIZACIÓN	ACELERACIÓN SÍSMICA (g)	CALIFICACIÓN
Baja	< 0.10	1
Intermedia	0.10 – 0.20	3
Alta	> 0.20	5

Nota. Adaptado de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010); SGC (2020).

8.4.2. Categorías de amenaza por movimientos en masa

Con la categorización y ponderación de los factores detonantes lluvia y sismo, se hizo el cálculo de la amenaza por movimientos en masa, mediante la herramienta de álgebra de mapas en QGIS. El resultado obtenido de este procesamiento fue de valores entre 1 a 5, que se reclasificaron en las categorías de amenaza baja, media y alta, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Categorías de amenaza de la zona de estudio (Coromoro, Santander).

Índice	Categoría de amenaza
1 – 2.29	Baja
2.30 – 3.49	Media
3.50 - 5	Alta

Nota. Adaptado de SGC (2017).

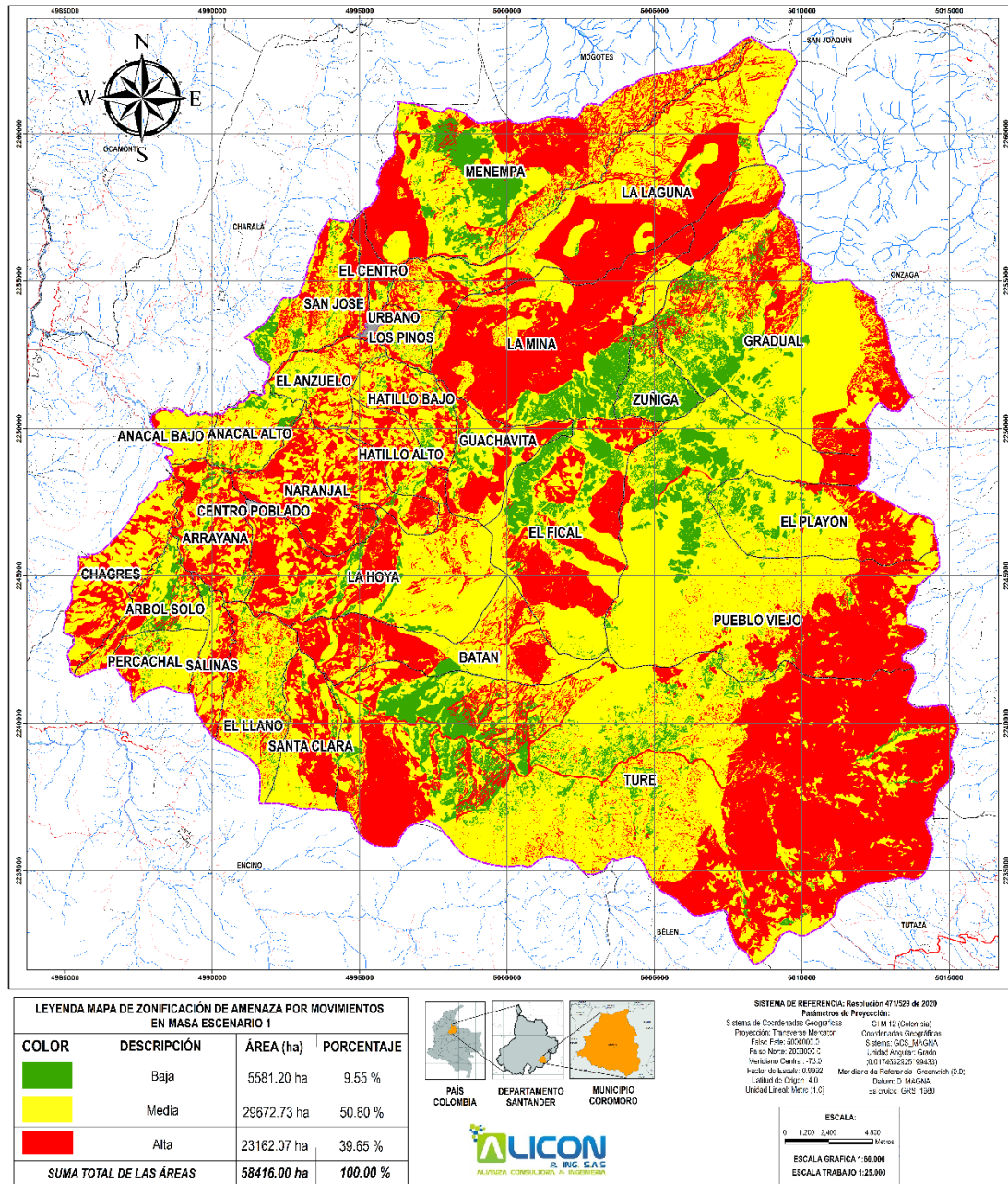
8.4.3. Mapa de amenaza por movimientos en masa

El mapa de amenaza se realizó considerando dos escenarios; el primero corresponde al resultado ponderado directo de los valores de susceptibilidad y detonantes estimados, mientras que, el segundo escenario, fue modelado para representar eventos extremos asociados a la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio.

La Figura 19 muestra el mapa de amenaza por movimientos en masa para el escenario 1. En este, la categoría de amenaza baja es equivalente a las zonas de susceptibilidad baja (Figura 17), cubriendo el 9.55% (5581.20 ha) del área total del suelo rural de Coromoro, encontrándose principalmente al sur de las veredas La Mina, Zúñiga, oeste de la vereda Gradual, al norte de la vereda Pueblo Viejo y El Fical, y en el centro y oeste de la vereda Ture (Figura 19). Las lluvias asociadas a esta zonificación tienen un promedio anual de 1050 mm a 1200mm, siendo el más bajo de la zona de estudio y concentrándose hacia el sur del municipio (veredas Ture, Batan, Santa Clara y Pueblo Viejo); del mismo modo, la amenaza sísmica es de categoría baja en estos sectores. La topografía va de ligeramente plana a inclinada, encontrando como cobertura representativa el bosque denso bajo, así como UGS asociadas a rocas blandas, lo cual influye en la baja probabilidad temporal y espacial de ocurrencia de movimientos en masa.

Figura 19

Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 1) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25.000.

La categoría de amenaza media abarca el 50.80% (29672.73 ha) del suelo rural de Coromoro, siendo la de mayor cobertura en el municipio y extendiéndose de N-S en el área de estudio. Esta corresponde a las zonas definidas con susceptibilidad media (Figura 17) a movimientos en masa, que abarcan pendientes de inclinadas a empinadas, suelos derivados de rocas in situ y suelos transportados coluviales, así como aquellas regiones de ambiente denudacional y estructural y en cobertura de mosaicos de pastos con espacios naturales. En cuanto a las lluvias, los sectores zonificados dentro de esta categoría tienen precipitaciones promedio anuales de 1200 mm a 1800 mm, mientras que la amenaza sísmica es de categoría media. De esta manera, los procesos morfodinámicos predominantes son las reptaciones (veredas Guachavita, Naranjal, La Hoya, El Centro y El Anzuelo), flujos de tierra (vereda Batán) y deslizamientos rotacionales (vereda Naranjal) (Figura 19), lo cual representa una amenaza para la infraestructura rural y actividades agrícolas.

La amenaza alta ocupa el 39.65% del área de estudio (29672.73 ha) y corresponde a los sectores zonificados en las categorías de susceptibilidad alta y muy alta (Figura 17). Con respecto a los factores detonantes, la zona de mayor precipitación se encuentra al occidente del municipio (vereda Chagres) con una precipitación media anual máxima de 2250 mm y observando una disminución en el promedio de lluvias en sentido N-S. Al considerar esto, se identificó una gran influencia del detonante precipitación en favorecer la saturación de los escarpes contiguos a los drenajes principales y en generar procesos erosivos hídricos, como se demuestra en los deslizamientos traslacionales alrededor del Río Ture y sus tributarios, como la Quebrada Aguablanca (vereda Ture), Quebradas La Palma y El Piñal (vereda Chagres) y Quebradas La Potrera y Ensalada (vereda Naranjal); también, se evidenciaron caídas de detritos y tierra en los escarpes colindantes al Río Taquiza en la Vereda San José, donde no se descarta la influencia del

detonante sismo (categoría alta) en generar condiciones de inestabilidad en estas zonas de mayor pendiente (escarpada a muy escarpada), en macizos rocosos y en sectores donde predominan las tierras degradadas por intervención antrópica. En esta área se espera que los movimientos afecten las vías intermunicipales, principalmente los sectores donde se presenten cortes viales e intervenciones urbanísticas, así como posibles afectaciones en las zonas próximas a las cabeceras municipales.

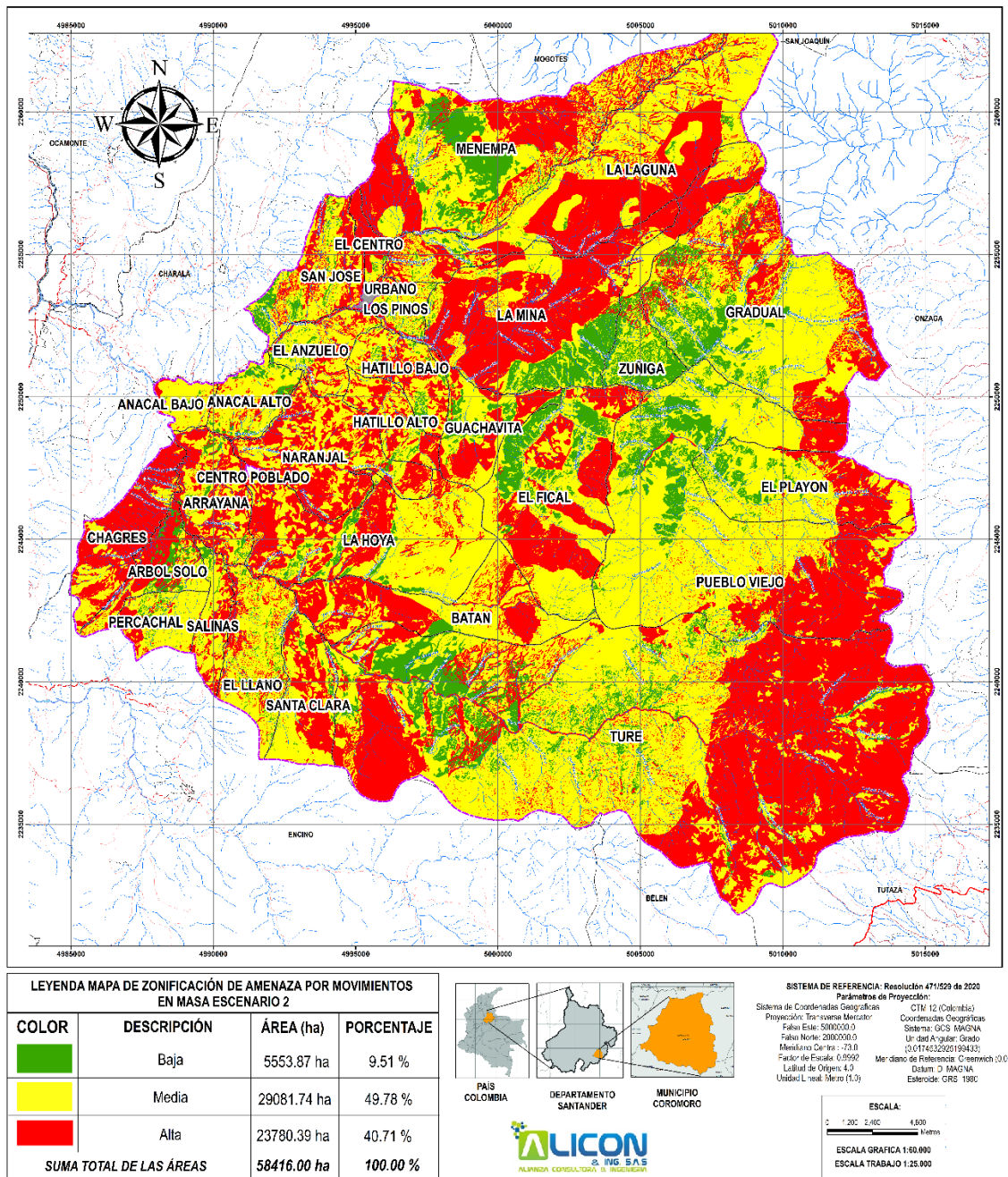
El mapa para el escenario 2 de amenaza por movimientos en masa se encuentra en la Figura 20. En este caso, la categoría de amenaza baja equivale al 9.51% (5553.87 ha) del municipio, encontrando una ligera disminución con respecto al escenario 1 (Figura 19), pero manteniéndose en las mismas zonas, como las veredas Zúñiga, Menempa, Ture y Pueblo Viejo (Figura 20).

Continuando con la categoría media, esta abarca el 49.78% (29081,74 ha) de la zona de estudio, siendo de nuevo la de mayor predominancia, pero encontrando una disminución con relación al escenario 1 de amenaza (Figura 19). Semejante a la categoría de amenaza baja, la zonificación se mantiene para las mismas veredas establecidas en el primer escenario, destacando la zona central de las veredas Ture, Pueblo Viejo, El Playón, Gradual y Batán (Figura 20).

La categoría de amenaza alta equivale al 40.71% (23780.39 ha) del suelo rural de Coromoro, lo cual indica un aumento en el área afectada en comparación con la zonificación del primer escenario (Figura 19). Este aumento es esperado al haberse modelado a partir de eventos extremos en las ocurrencia temporal y espacial de ambos detonantes, en especial de las lluvias, como se evidencia hacia las veredas Chagres y Árbol Solo, las cuales se habían definido previamente como el sector con promedio de precipitación anual más alto para el municipio. Por lo tanto, eventos de lluvias intensas aumentarían las condiciones de amenaza para estas comunidades, en especial por eventos de tipo deslizamiento (Figura 20).

Figura 20

Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 2) de la zona de estudio (Coromoro, Santander)



Nota. Generado con insumos 1:25.000.

Complementariamente, al evaluar los resultados obtenidos para ambos escenarios de amenaza del suelo rural de Coromoro, se puede decir que la precipitación tiene una mayor influencia como detonante de movimientos en masa en la zona de estudio. Sin embargo, la información sísmica utilizada en el presente estudio es limitada, por lo que no se descarta el aporte de la actividad sísmica, aún más al considerar la geología estructural del área de estudio, en la ocurrencia de procesos morfodinámicos en el municipio de Coromoro.

A partir de los resultados de amenaza encontrados para ambos escenarios, se hizo una comparación con estudios previos de la zona de estudio. De este modo, analizando las planchas de amenaza relativa del SGC (2015, 2016), el municipio se había zonificado entre las categorías de amenaza media a muy alta, donde la amenaza alta se extiende uniformemente de norte a sur en el municipio, y la categoría media tiene una mayor ocurrencia hacia las veredas Ture, Pueblo Viejo y El Playón. Mientras que, los modelos de amenaza planteados a partir del desarrollo de esta práctica definieron las categorías de baja, media y alta, donde la de amenaza baja se concentra en las veredas Zúñiga y Menempa, la categoría media, es la de mayor ocurrencia y se presenta uniformemente por toda la zona de estudio y la amenaza alta identifica como zonas críticas el costado sureste y norte del municipio el norte y en las veredas localizadas hacia el centro y suroeste de Coromoro.

Las diferencias encontradas entre la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa de estudios previos con lo encontrado en esta investigación, pueden atribuirse a la escala de trabajo, que en este caso es más detallada, los insumos utilizados, el mayor acceso a fuentes de información, y los eventuales cambios en la topografía, usos del suelo y disposición del territorio por el paso del tiempo. Sin embargo, se debe aclarar que los resultados encontrados en esta investigación pueden verse limitados por la calidad de los insumos, las

interpretaciones del autor y la metodología utilizada, recordando la importancia de continuar ahondado en el conocimiento geológico y de amenaza detallado en el municipio.

Finalmente, con las propuestas de modelos de amenaza de este proyecto, se tiene una zonificación más detallada y actualizada, que cumple con las tres categorías propuestas por el SGC (2017) y acordes con las escalas de trabajo para suelo rural del decreto 1807 de 2014 (DAFP, 2014).

9. Conclusiones

A partir de la recopilación de información y cartografía base se definió un área total para el municipio de 58462.43 ha, de las cuales el suelo rural corresponde a 58416 ha y dividiéndose en 22 veredas, mientras que el suelo urbano consta de 28.15 ha, el suelo de expansión urbana de 4.93 ha y el centro poblado de Cincelada tiene una extensión de 135.35 ha.

Al realizar la caracterización geoambiental del área de estudio, se encontró un total de 153 procesos morfodinámicos, donde el movimiento en masa de mayor ocurrencia son los deslizamientos traslacionales (73 eventos). En el caso de los factores condicionantes, las subunidades geomorfológicas de mayor presencia son las asociadas al ambiente estructural, mientras que las principales UGS son las derivadas de rocas in situ, y la cobertura de tierra predominante es de tipo bosque denso bajo, aunque se espera una mayor ocurrencia de movimientos en masa en las coberturas de tierras desnudas y degradadas y afloramientos rocosos.

El mapa de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25.000 de la zona de estudio estableció cuatro categorías de susceptibilidad. La categoría baja corresponde a las zonas de menor pendiente y coberturas vegetales menos intervenidas. La susceptibilidad media es la de mayor extensión y se da principalmente en zonas de mosaicos de pastos y en ambientes

denudacionales y estructurales; la categoría de susceptibilidad alta se relaciona a rocas blandas y suelos residuales, geoformas estructurales asociadas al plegamiento del Anticlinal de Encino y Sinclinal de Cincelada y coberturas de cultivos. Finalmente, la susceptibilidad muy alta se concentra en las veredas Chagres, Ture, Pueblo Viejo, El Playón, Gradual y La Laguna, encontrando como zonas de mayor susceptibilidad a movimientos en masa en el área de estudio los sectores con pendientes empinadas a fuertemente escarpadas contiguas a los drenajes principales.

La caracterización de la amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 del área de estudio definió dos escenarios de amenaza, encontrando en ambos casos que la amenaza baja abarca las zonas con menor precipitación y actividad sísmica; la amenaza media es la de mayor presencia en el suelo rural de Coromoro y los procesos morfodinámicos indicativos son las reptaciones, flujos de tierra y deslizamientos rotacionales, los cuales suponen una amenaza para la infraestructura rural y desarrollo de actividades agrícolas; mientras que, la amenaza alta equivale a los sectores de mayor precipitación y actividad sísmica, los cuales favorecen procesos de erosión hídrica y detonan los movimientos de mayor ocurrencia en la zona de estudio (Deslizamientos traslacionales y caídas de detritos y tierra), representando una amenaza para las vías intermunicipales y posibles afectaciones en zonas próximas a las cabeceras municipales de las veredas Chagres, Ture y Naranjal.

A partir de la comparación de ambos escenarios de amenaza definidos, se encontró que en la zona de estudio hay una mayor influencia de la lluvia en detonar movimientos en masa, y en eventos de precipitaciones críticas, se espera una mayor afectación por esta amenaza en las veredas Chagres y Árbol Solo.

10. Recomendaciones

Se recomienda complementar el presente proyecto con la elaboración de la zonificación de amenaza para el suelo urbano del municipio, considerando lo estipulado en el decreto 1807 de 2014. Del mismo modo, se sugiere actualizar el inventario de procesos morfodinámicos de la zona, dada su importancia en los estudios técnicos de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. También, se sugiere el mantenimiento y mejora de cobertura de las estaciones pluviométricas presentes dentro de la jurisdicción de Coromoro. Finalmente, se recomienda la elaboración de estudios detallados sobre geología, geotecnia y procesos erosivos en las zonas identificadas como categoría alta ante amenaza por movimientos en masa.

Referencias Bibliográficas

Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21-44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>

Ardila, V. J. (2018, septiembre 15). *Incomunicación de dos veredas en Coromoro sería superada*. www.vanguardia.com. <https://www.vanguardia.com/santander/guanenta/incomunicacion-de-dos-veredas-en-coromoro-seria-superada-JBVL444951>

Aristizábal, E., Vasquez Guarín, M., & Ruíz, D. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas*, 22(46), 39-60. <https://doi.org/10.22430/22565337.1247>

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente NSR-10*. <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

Bluradio. (2022, febrero 9). *Deslizamiento de tierra provocó daños en tres viviendas de Coromoro, Santander* (world) [Text]. Blu Radio; Blu Radio. <https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/deslizamiento-de-tierra-provoco-danos-en-tres-viviendas-de-coromoro-santander>

Centeno, L. A. V., & Gómez, H. L. (2001). *Expediente Municipal: Municipio de Coromoro, Santander*. Gobernación de Santander. <https://smi-geoportal.santander.gov.co/smi/docs/EM.Coromoro.pdf>

Corominas, J., & Moya, J. (2008). A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology*, 102(3), 193-213. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.018>

Corporación Autónoma de Santander [CAS]. (2012). Hidrología. En *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Fonce* (pp. 97-133). <https://smi-geoportal.santander.gov.co/smi/docs/fonce/3.Hidrologia%202012.pdf>

Cortes, D., Pérez, J., Gomez, C., Barrera, M., Rincón, R., Castañeda, E., & Pérez, D. (2002). *Esquema de Ordenamiento Territorial—Volumen 1: Diagnóstico* (Técnico 1). Alcaldía Municipal de Coromoro. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/11789/7766-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. *Special Report - National Research Council, Transportation Research Board*, 247, 36-57.

Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia [DAFP]. (2014). *Decreto 1807 de 2014—Gestor Normativo—Función Pública*. Función pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>

Diaz, E., & Mejia, V. (2014). *Estudios para el prediseño de la estabilización de la ladera en la vía que comunica los municipios de Charala y Coromoro, ubicado sobre la abscisa K4+700* [Tesis de especialización]. Universidad de Santander.

DiCCOL. (s.f). COROMORO [Diccionario de Colombia]. *DiCCOL*. <https://www.diccionariodecolombia.expert/diccionario-enciclopedico/coromoro/>

El Tiempo, C. E. E. (2010, febrero 24). *Invertirán 1.526 millones de pesos la cuenca del río Fonce, en Santander*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-7299279>

Fonseca, H. A., Gutierrez, E., Corredor, J. A., Penagos, D. A., Fonseca, D. D., & Barrera, M. J. (2018). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 151 Charalá. Documento* [Memoria Explicativa]. https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/618_19GmfMM151Charala/Documento/Pdf/MemoGmf151.pdf

Gonzalez, A. G., & Padilla, A. F. (2023). *Cálculo de la probabilidad temporal de las precipitaciones y relación temporal-espacial de la actividad sísmica como detonantes de movimientos en masa en el municipio de Herveo, Tolima*. [Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/15387>

Ideam -Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies. (2023). *Geoportal—IDEAM* [Portal de datos]. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC. (2021). *Clasificación de tierras por su capacidad de uso. Versión 1*. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/in-gag-pc05-02_clasificacion_de_las_tierras_por_su_capacidad_de_uso.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC. (2024). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:25.000. Año 2018—Colombia en mapas*. <http://www.colombiaenmapas.gov.co/?u=0&t=23&servicio=206>

Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (Ingeominas). (1999). *Informe técnico sobre deslizamientos que afectan el río Yama (Sectores el Punteral y Gordural), río*

Guchavita o Guadual (Sectores Vereda Zuñiga y Loma de La Mula) municipio de Coromoro, departamento de Santander (Informe técnico 1-2371). Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS).

Montealegre, J. E. (1990). *Técnicas estadísticas y aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos.* Ideam. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009198/009198.pdf>

Olarte, J. M. (2017). Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. En *Libros del Servicio Geológico Colombiano*. Libros del Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978218>

Periódico UNAL. (2022). *Medidas preventivas y no reactivas, el reto de la gestión del riesgo.* Periódico UNAL. <https://www.periodico.unal.edu.co/articulos/medidas-preventivas-y-no-reactivas-el-reto-de-la-gestion-del-riesgo>

Pulido, O. (1979). *Geología de las Planchas 135 San Gil, y 151 Charala; Departamento de Santander (Memoria Explicativa) (Memoria Explicativa 1802).* Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS). <https://revistas.sgc.gov.co/index.php/boletingeo/article/download/377/322/400>

Pulido, O. (1985). *Reseña Explicativa del Mapa Geológico Preliminar Plancha 151 Charalá—Escala 1:100.000 [Reseña explicativa].* Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS). <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024367/documento/pdf/0101243671103000.pdf>

Rodríguez Valdivia, A., Tapia, A., & Albornoz, C. (2014). SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE SOCOROMA, PRECORDILLERA ANDINA

DE ARICA Y PARINACOTA. *Diálogo andino*, 44, 25-39. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812014000200004>

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Plancha 152, Soatá. Escala 1:100.000* (Memoria Explicativa Version 2). Servicio Geológico Colombiano. https://recordcenter.sgc.gov.co/B22/AmeMM152_Soata/Documento/Pdf/MemoAme152.pdf

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). *Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 151-Charalá*. https://recordcenter.sgc.gov.co/B22/AmeMM151_Charala/Documento/Pdf/MemoAme151.pdf

Servicio Geológico Colombiano [SGC]. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000. En *Libros del Servicio Geológico Colombiano*. Libros del Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978225>

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2020). *Mapa de Zonas de Amenaza NSR-10* [Map]. <https://datos.sgc.gov.co/datasets/56414abc854c4575882e0c7fc8c745b4/about>

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2024a). *Estado de la Cartografía Geológica*. Estado de la Cartografía Geológica 1:100.000. https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2024b). *Sistema de Información de Movimientos en Masa*. SIMMA. <http://simma.sgc.gov.co/>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [Ungrd]. (2015). *Guía de integración de la Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial Municipal*.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2020, agosto 19). *Riesgo por movimientos en masa en Colombia*. Portal Gestión del Riesgo. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>

Universidad Industrial de Santander [UIS]. (2008). *Acuerdo N° 240 de 2008*. https://uis.edu.co/wp-content/uploads/2022/05/AC_ACAD_240_2008.pdf

Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37), Article 37.

Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Tellez, N. (1981). *Geología de las Planchas 136 Málaga y 152 Soatá Cuadrángulo I-13 (Memoria Explicativa)* (Memoria Explicativa 1712). Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS). <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024239/documento/pdf/0101242391101000.pdf>

Wieczorek, G. F. (1996). Landslides: Investigation and mitigation. Chapter 4- Landslide triggering mechanisms. *Transportation Research Board Special Report*, 247. <https://trid.trb.org/view/462502>