

Apoyo técnico en el estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala
1:25.000 del municipio de Villanueva, Santander. Práctica empresarial en la empresa ALICON
& ING S.A.S.

Karol Julieht González Estupiñan

Trabajo de grado para optar al título de Geóloga

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

Geología

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios, porque en su infinita bondad puso en mi camino a personas maravillosas. Porque sin él, nada de esto habría sido posible.

A mi padre, Yesid González y mi madre, Luz Dary Estupiñan, mis héroes de carne y hueso. A esos dos jóvenes de 16 y 19 años que me enseñaron el verdadero significado del amor y el sacrificio. Gracias por ser mi apoyo incondicional, mi guía constante, por dejarme soñar en grande y nunca cortar mis alas. Gracias por permitirme enfocarme en mis estudios y por motivarme a seguir, incluso cuando quise rendirme.

A mi hermano, Steven González, mi motor, mi ancla. Cada vez que te veía, recordaba por qué debía seguir adelante. Gracias por ser el corazón que me empujó, aun sin saberlo, a dar lo mejor de mí.

A Poseidón, mi compañero fiel de cuatro patas. Fuiste mi calma en las noches de insomnio, mi consuelo cuando el estrés y la impotencia me invadían.

A mi madrina, mi segunda madre. Gracias por acogerme con tanto amor, por cuidarme como si fuera tuya. Tu presencia en mi vida fue paz, fue cobijo, fue impulso. En cada etapa de este proceso, estuviste ahí siempre dándome aliento.

A los profesores que marcaron mi camino universitario. A cada uno que dejó en mí una huella de conocimiento, vocación y compromiso. En especial al profesor Luis Mantilla, por enseñarme desde el primer semestre que esta carrera va más allá de estudiar rocas; es ciencia con alma. Y al profesor Leonardo Palmera, por demostrarme que cuando se trabaja con amor, ese amor se siente, se transmite y se multiplica.

A mis compañeros y amigos de universidad, quienes compartieron conmigo este viaje lleno de retos, aprendizajes y momentos inolvidables. Gracias por las noches de desvelo, las carcajadas, los abrazos y los silencios compartidos. En especial a Eduardo, Dana, Daniela, Ana, Inti, Andrés, Ronald, Diego, Karen y Kevin: gracias por caminar conmigo, por sostenerme, por ser parte esencial de esta historia.

Y finalmente, gracias a todas las personas que conocí en el trayecto. A las que se fueron, por las lecciones que dejaron; y a las que se quedaron, por su amor y compañía. Cada una ha sido una página importante en este capítulo de mi vida.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a ALICON & INGENIERÍA S.A.S., por brindarme la oportunidad de desarrollar mi práctica empresarial. Esta experiencia fue fundamental para mi formación profesional y me permitió aplicar y fortalecer los conocimientos adquiridos durante mi carrera.

Agradezco especialmente a Martha Liliana Blanco y Rosadilia Carrillo por su valioso apoyo en la gestión de los trámites administrativos requeridos.

Mi gratitud también está dirigida al profesor Leonardo Palmera, quien, en calidad de director de tesis, me acompañó con su guía académica, sus observaciones oportunas y su disposición constante para mejorar el trabajo presentado.

Finalmente, extendiendo un profundo agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una formación de calidad, por su compromiso con la excelencia académica y por ser el pilar fundamental en mi proceso de crecimiento personal y profesional.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Planteamiento del problema y justificación	14
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo General	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. Localización	17
4. Marco Geológico	18
5. Marco teórico	20
5.1. Movimientos en masa	20
5.1.1. Factores condicionantes	20
5.1.2. Factores detonantes	21
5.2. Zonificación de movimientos en masa	21
5.2.1 Zonificación de susceptibilidad	21
5.2.2. Zonificación de amenaza	23
6. Metodología	25
6.1. Fase 1. Aprestamiento.....	25

6.2. Fase 2. Diagnóstico de la zona de estudio	25
6.3. Fase 3. Caracterización geoambiental.....	26
6.4. Fase 4. Análisis de Susceptibilidad por Movimientos en Masa.....	26
6.5. Fase 5. Análisis de amenaza por movimientos en masa.	26
6.6. Fase 6. Revisión resultados y finalización práctica	27
7. Resultados.....	28
7.1. Área de estudio	28
7.2. Mapas de la caracterización geoambiental del área de estudio.....	30
7.2.1. Mapa de Unidades Geológicas superficiales	30
7.2.2. Mapa de subunidades geomorfológicas	34
7.2.3. Coberturas y usos del suelo.....	42
7.2.4. Mapa de inventario de procesos morfodinámicos	49
7.3. Susceptibilidad por movimientos en masa.....	53
7.3.1. Susceptibilidad por deslizamientos.....	53
7.3.2. Susceptibilidad por caídas.....	56
7.3.3. Susceptibilidad por flujos	58
7.3.4. Susceptibilidad por reptaciones	60
7.3.5. Susceptibilidad total.....	62
7.4. Amenaza por movimientos en masa	64

7.4.1. Factores detonantes (precipitaciones y sismos)	64
7.4.2. Mapa de amenaza por movimientos en masa	67
8. Conclusiones	74
9. Recomendaciones	76
Referencias Bibliográficas	77

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1. Mapa de localización de Villanueva, Santander.....	17
Figura 2. Mapa geológico del municipio de Villanueva, Santander.....	19
Figura 3. Esquema metodológico para el análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa.	22
Figura 4. Esquema base para la leyenda del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa.	24
Figura 5. Mapa de cartografía base del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander.....	29
Figura 6. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del suelo rural de Villanueva, Santander	34
Figura 7. Mapa de subunidades geomorfológicas del suelo rural de Villanueva, Santander.....	37
Figura 8. Mapa de pendientes del suelo rural de Villanueva, Santander	39
Figura 9. Mapa de curvaturas del suelo rural de Villanueva, Santander	41
Figura 10. Mapa de coberturas de la tierra de Villanueva, Santander	43
Figura 11. Mapa de cambio de coberturas de la tierra de Villanueva, Santander.....	45
Figura 12. Mapa de uso actual del suelo rural de Villanueva, Santander	48

Figura 13. <u>Movimientos en masa representativos del suelo rural de Villanueva, Santander</u>	51
Figura 14. Mapa del inventario de procesos morfodinámicos del suelo rural de Villanueva, Santander.....	52
Figura 15. Mapa de susceptibilidad por deslizamientos del suelo rural de Villanueva, Santander	55
Figura 16. Mapa de susceptibilidad por caídas del suelo rural de Villanueva, Santander	57
Figura 17. Mapa de susceptibilidad por flujos del suelo rural de Villanueva, Santander.....	59
Figura 18. Mapa de susceptibilidad por reptaciones del suelo rural de Villanueva, Santander....	61
Figura 19. Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa del suelo rural de Villanueva, Santander.....	63
Figura 20. Precipitaciones anuales históricas de las estaciones pluviométricas de Villanueva, Santander.....	65
Figura 21. Mapa de isoyetas del suelo rural de Villanueva Santander.	66
Figura 22. <u>Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 1) del suelo rural de Villanueva, Santander.....</u>	71
Figura 23. <u>Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 2) del suelo rural de Villanueva, Santander.....</u>	73

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Categorías y descripción de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa.	23
Tabla 2. Clasificación de UGS del municipio de Villanueva, Santander.	30
Tabla 3. Clasificación de subunidades geomorfológicas de Villanueva, Santander.....	36
Tabla 4. Clasificación de coberturas de la tierra y usos del suelo de Villanueva, Santander.	46
Tabla 5. Movimientos en masa del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander.	49
Tabla 6. Estaciones meteorológicas del área de estudio.	65
Tabla 7. Zonificación de amenaza sísmica NSR-10 de Villanueva, Santander.....	67
Tabla 8. Categorización del detonante sismo para la amenaza por movimientos en masa.....	67
Tabla 9. Categorías de amenaza por movimientos en masa.	68

Lista de apéndices

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

Anexo A: Formatos de Inventario de Procesos Morfodinámicos.

Resumen

Título: Apoyo técnico en el estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:25.000 del municipio de Villanueva, Santander. Práctica empresarial en la empresa ALICON & ING S.A.S.^{1*}

Autor: Karol Julieht González Estupiñan^{2*}

Palabras Clave: Movimientos en masa, susceptibilidad, amenaza, Villanueva

Descripción:

El presente proyecto de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 en el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, fue elaborado como parte de la práctica empresarial en ALICON & ING S.A.S siguiendo la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017), partiendo de la necesidad de actualizar y profundizar la información de la amenaza por movimientos en masa en la región, debido a la frecuencia y antecedentes de este tipo de eventos en la región.

A partir de la metodología mencionada, se generaron los respectivos mapas, que permitieron identificar 27 unidades geológicas superficiales, 22 subunidades geomorfológicas y 14 coberturas de la tierra, destacándose las rocas blandas, las laderas onduladas suaves y los mosaicos de cultivos y pastos como elementos predominantes. Por otro lado, se registraron 58 movimientos en masa, principalmente caídas y deslizamientos rotacionales, asociados a pendientes empinadas, suelos residuales y coberturas agrícolas intervenidas. La zonificación de amenaza consideró dos escenarios: condiciones base y eventos extremos, identificando categorías de baja, media y alta amenaza. Con base a esto, se identificaron los sectores agrícolas, infraestructuras y centro poblados rurales de las veredas Hato Viejo, Butaregua y La Lajita como las zonas de mayor amenaza.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**} Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Geología. Director: Leonardo Palmera Sánchez. M.Sc en Geociencias. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. M.Sc en Geotecnia.

Abstract

Title: Technical support in the study of Hazard Zoning due to Mass Movements at a 1:25.000 scale, of the Municipality of Villanueva, Santander. Internship in the company ALICON & ING S.A.S. ^{3*}

Author(s): Karol Julieht González Estupiñan ^{4*}

Key Words: Mass movements, susceptibility, hazard, Villanueva.

Description:

The present project on mass movement hazard zoning at a scale of 1:25.000 in the rural area of the municipality of Villanueva, Santander, was developed as part of the internship at ALICON & ING S.A.S., following the Methodological Guide of the Colombian Geological Survey (SGC, 2017). This initiative arose from the need to update and deepen the information on mass movement hazards in the region, given the frequency and history of such events in the area.

Using the aforementioned methodology, the respective maps were generated, identifying 27 surface geological units, 22 geomorphological subunits, and 14 land cover types, with soft rocks, gently undulating slopes, and mosaics of crops and pastures standing out as predominant elements. Additionally, 58 mass movements were recorded, primarily falls and rotational landslides, associated with steep slopes, residual soils, and intervened agricultural areas. The hazard zoning considered two scenarios: baseline conditions and extreme events, identifying low, medium, and high hazard categories. Based on this, the agricultural sectors, infrastructure, and rural settlements in the villages of Hato Viejo, Butaregua, and La Lajita were identified as the highest hazard areas.

^{3*} Degree Work

^{4*}School of Physicochemical Engineering. School of Geology. Geology. Director: Leonardo Palmera Sánchez. M.Sc in Geosciences. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. M.Sc in Geotechnics.

Introducción

Las condiciones geológicas de Colombia se ven reflejadas en un relieve topográfico abrupto, producto de una actividad tectónica reciente, que sumado a las lluvias intensas y prolongadas presentes a lo largo del territorio, hacen de esta región un foco de ocurrencia de movimientos en masa (Becerra, 2021). Por tal motivo, en una recopilación realizada por (Sánchez & Aristizábal, 2017) se encontró que durante el periodo de 1900 a 2016 se registraron 32.022 movimientos, de los cuales el 33% se dio en la región Andina. Es por esto que se ha impulsado la creación de una normativa enfocada a la tecnificación de los estudios de amenaza por movimientos en masa en el ordenamiento territorial (Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia [DAFP], 2014).

El municipio de Villanueva, Santander presenta antecedentes de afectaciones por causa de movimientos en masa (Alcaldía de Villanueva, 2017), lo cual se ve reflejado en su zonificación de amenaza media a alta a escala 1:100.000 (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016). Por tal motivo, el presente proyecto de práctica empresarial con la empresa ALICON & ING S.A.S busca aportar al conocimiento técnico mediante un estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 del suelo rural de este municipio, siguiendo la guía metodológica del (SGC, 2017). De esta manera, se espera que los resultados de esta práctica puedan ser aplicados en la actualización del esquema de ordenamiento territorial e implementación de planes preventivos ante la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Villanueva, Santander.

1. Planteamiento del problema y justificación

Los estudios de zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa son incorporados en el componente de gestión del riesgo de los planes de ordenamiento territorial a escala nacional, regional y municipal (SGC, 2024). En Colombia, el decreto 1807 de 2014 establece la escala de trabajo y especificaciones de los estudios básicos de amenaza. En el caso del suelo rural, se debe desarrollar a escala 1:25.000 y generar como resultado el mapa de zonificación, junto con la descripción de las condiciones de amenaza identificadas para cada categoría (DAFP, 2014).

El municipio de Villanueva, Santander presenta un historial de ocurrencia de movimientos en masa, principalmente de tipo deslizamiento y caídas de rocas. Varios de estos eventos se han asociado a procesos de deforestación, degradación y erosión de los suelos, lo cual ha generado afectaciones en las veredas La Lajita, El Espinal y Las Juntas, así como en las vías que comunican al municipio con Jordán, Aratoca y Curití (Alcaldía de Villanueva, 2017).

El desarrollo de movimientos en masa en el municipio se ha relacionado a ciertos factores condicionantes, tales como, pendientes superiores al 50% y laderas desestabilizadas por actividades pecuarias, agrícolas y mineras. Suelos degradados que en condiciones de altas precipitaciones tienden sufrir los efectos de la erosión por escorrentía superficial directa, procesos que conllevan al desarrollo de movimientos en masa. Por tal motivo, el municipio de Villanueva se ha zonificado dentro de las categorías media a alta de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa en los estudios a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2016).

Debido a las condiciones de amenaza identificadas en el área de estudio y atendiendo a la necesidad de revisión periódica de los estudios de zonificación aplicados a los esquemas de ordenamiento territorial (EOT), según lo expuesto en el decreto 1807 de 2014, se reconoce la importancia de desarrollar un estudio a escala 1:25.000 del suelo rural de este municipio, con el fin de tener categorías y una delimitación actualizada, que puedan facilitar la implementación de obras de prevención y mitigación ante esta amenaza.

La empresa ALICON & ING S.A.S presta servicios profesionales en áreas de consultoría ambiental, geológica, geotécnica y gestión del riesgo (ALICON & ING. S.A.S, 2024), contando con una amplia experiencia en el apoyo y desarrollo de estudios de amenaza aplicados en el ordenamiento territorial. De esta manera, durante mi práctica empresarial como geóloga en dicha entidad, llevaré a cabo el estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1:25.000, del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, donde cumplí con las actividades de recopilación de insumos base, caracterización geoambiental de unidades geológicas superficiales, geomorfología, coberturas y usos del suelo, para así generar el análisis de susceptibilidad y la posterior zonificación de amenaza por movimientos en masa del municipio, a partir de los parámetros establecidos en la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar la zonificación y el análisis de la amenaza por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, a escala 1:25.000, siguiendo la metodología establecida por el Servicio Geológico Colombiano (2017).

2.2 Objetivos Específicos

Delimitar el área de estudio del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, a partir de la recopilación de información de cartografía base oficial a escala 1:25.000 del IGAC, y los lineamientos del decreto 1077 de 2015.

Generar los mapas correspondientes de la caracterización geoambiental del área de estudio, entre los cuales se contempla el mapa de geología a nivel de Unidades Geológicas Superficiales, geomorfología a nivel de subunidades geomorfológicas, e inventario de procesos morfodinámicos.

Describir el proceso de elaboración de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa, escala 1:25.000.

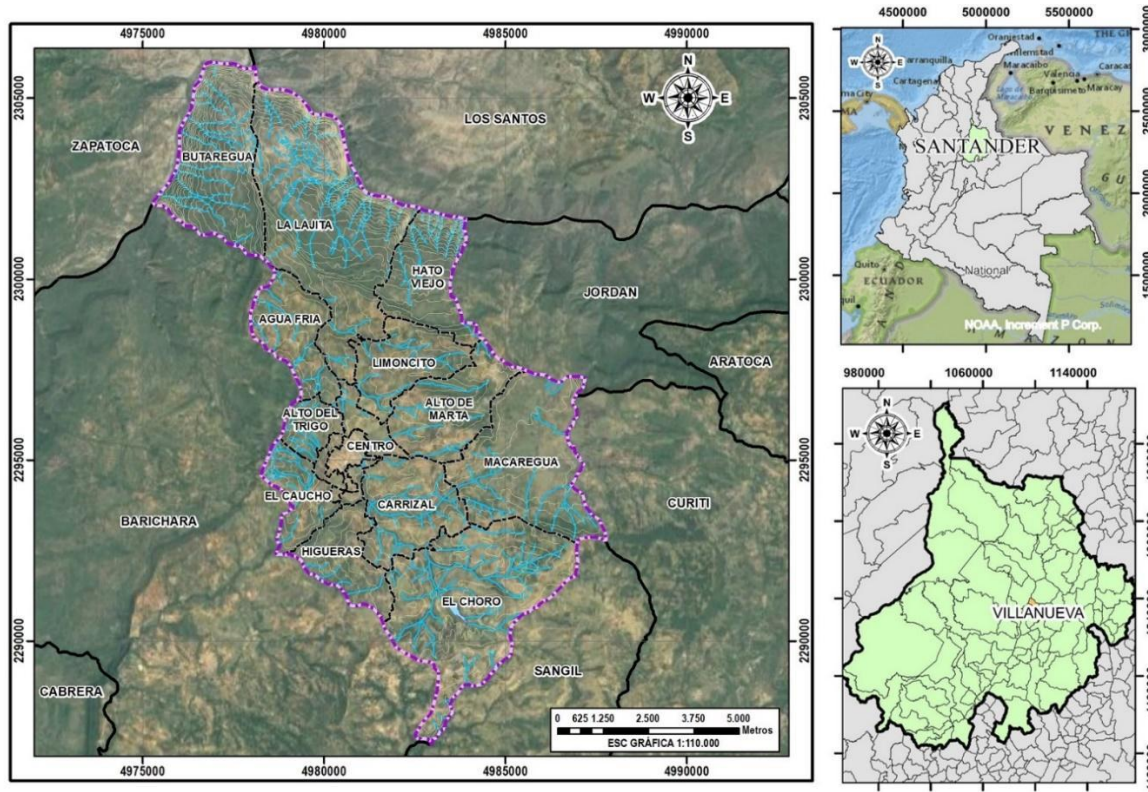
Realizar la zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1:25.000, del área de estudio estableciendo las áreas en Condición de Amenaza.

3. Localización

El municipio de Villanueva se ubica en la Cordillera Oriental de Colombia, siendo parte de la provincia de Guanentá, en el departamento de Santander (Figura 1) y limita al norte con los municipios de Zapatoca y Los Santos, al sur con el municipio de San Gil, al oriente con Jordán y Curití, y al occidente con el municipio de Barichara (Luna & Delgado, 2012). Está delimitado por las coordenadas $6^{\circ} 38' 38''$ latitud norte y $73^{\circ} 11'$ longitud oeste, con altitud de 1450 msnm en la cabecera municipal y una extensión estimada de 9.978,17 hectáreas distribuidas en 13 veredas y 12 sectores (Alcaldía de Villanueva, 2017; Luna & Delgado, 2012).

Figura 1

Mapa de localización de Villanueva, Santander.



Nota. Localización nacional y departamental del municipio de Villanueva, Santander.

El clima en este municipio es templado a cálido, donde las precipitaciones presentan un comportamiento bimodal, registrando mayores lluvias en los periodos de abril-mayo y septiembre-octubre, y un promedio anual de precipitación de 1.090,13 mm (Alcaldía de Villanueva, 2017). Con respecto a la hidrología, Villanueva se encuentra en la jurisdicción de la cuenca Media y Baja del Río Suarez, encontrando como drenajes principales el río Chicamocha, el río Suarez, la quebrada El Junco, la Quebrada Hedionda y el cerro Agua Fría (Alcaldía de Villanueva, 2017; Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

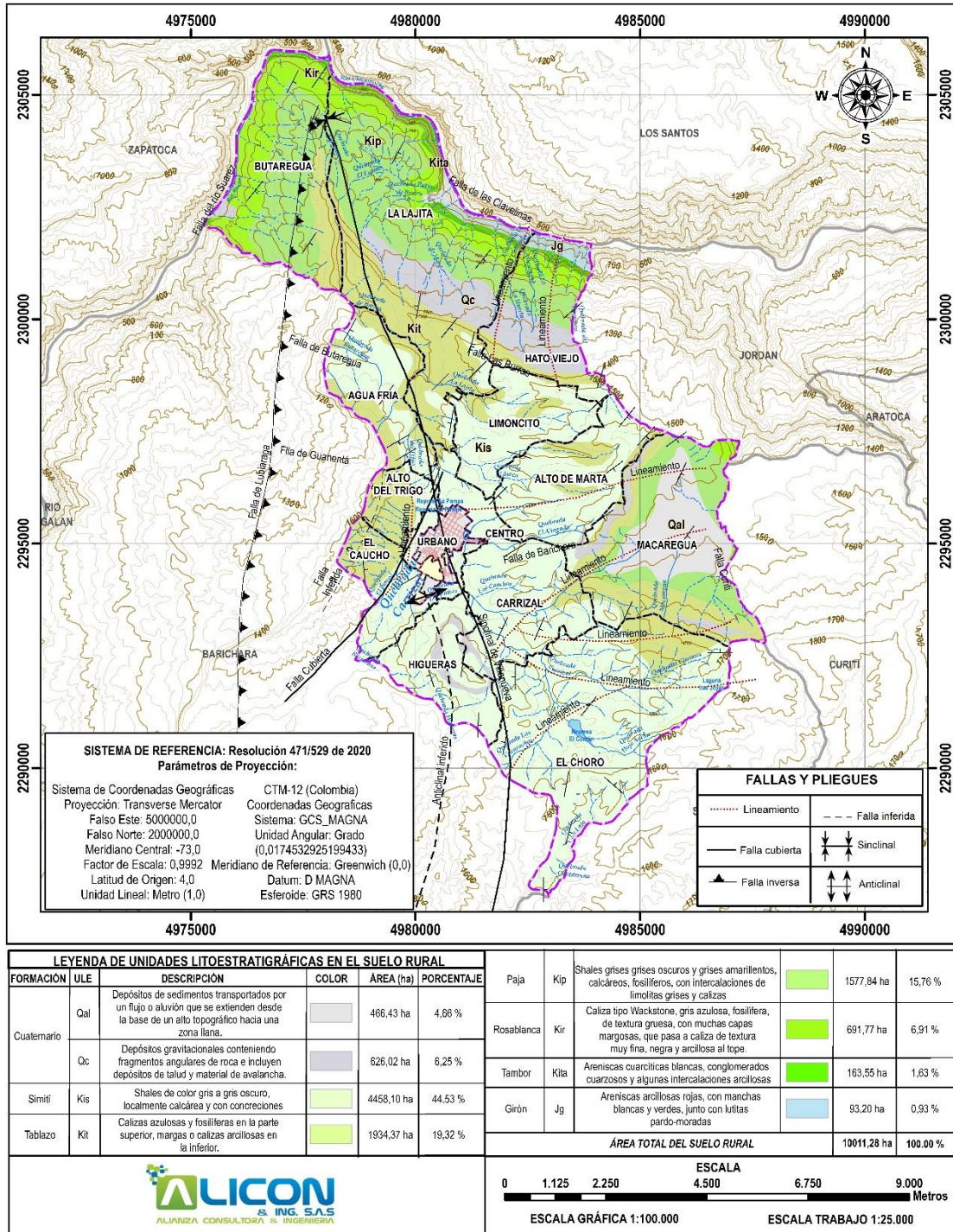
4. Marco Geológico

Las características geológicas regionales de Villanueva están relacionadas con el contexto tectónico de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, específicamente, en la región estructural central del departamento, la cual está definida por fallas de tipo normal e inversas y plegamientos, resultado de esfuerzos tensionales y compresionales característicos del Macizo de Santander (Alcaldía de Villanueva, 2017; Pulido, 1979).

A nivel estructural, el municipio se ubica entre dos sistemas de fallas, la Falla de Bucaramanga-Santa Marta y la Falla La Salina (Figura 2), lo cual ha generado fracturamiento y diaclasamiento en las formaciones geológicas de la zona, así como una expresión topográfica de mesas y cuevas (Luna & Delgado, 2012). Por otro lado, la Falla de Suárez divide al terreno en dos áreas: el Complejo Montañoso de los Yariguíes al occidente y al oriente el área de Mesa de Barichara (Alcaldía de Villanueva, 2017).

Figura 2

Mapa geológico del municipio de Villanueva, Santander.



Nota. Unidades litoestratigráficas y estructuras, Villanueva, Santander (escala 1:25.000).

En la zona de estudio afloran unidades litoestratigráficas sedimentarias del cretácico (Figura 2), encontrando como unidad más antigua a la Formación Girón, compuesta de un conjunto de areniscas, arcillas y lutitas, seguida de las areniscas de la Formación Tambor (ahora Formación Los Santos) y la sucesión de calizas de la Formación Rosablanca (Luna & Delgado, 2012). Luego, se encuentra la Formación Paja, constituida de lutitas intercaladas de areniscas, y la Formación Tablazo, de shales intercalados con areniscas y calizas. Finalmente, el registro del cretácico inferior es sucedido por depósitos coluviales cuaternarios del Holoceno (Alcaldía de Villanueva, 2017; Luna & Delgado, 2012).

5. Marco teórico

5.1. Movimientos en masa

Los movimientos en masa son el desplazamiento de material de suelo y/o roca sobre una pendiente, que pueden presentarse de manera súbita o lenta, y su ocurrencia está dada por causas naturales o influenciada por acciones antrópicas (Corporación Autónoma Regional de Boyacá, 2020). Dependiendo de su morfología, plano de falla, tipo de material desplazado y velocidad, se han establecido los siguientes tipos de movimientos básicos: deslizamientos, caídas, flujos, reptaciones, propagaciones laterales y volcamientos (Cruden & Varnes, 1996; Cuervo, 2000).

5.1.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes abarcan aquellas características intrínsecas del terreno, como condiciones topográficas o uso del suelo, que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (Ministerio de Defensa Nacional de Ecuador, 2012). Al considerar esto, se pueden representar los condicionantes como una colección de datos espaciales, que de acuerdo a hipótesis planteadas, son

aplicados para la explicación de eventos existentes y futuros, así como en la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa en una determinada región (SGC, 2017).

Para la elaboración de estudios básicos de amenaza por movimientos en masa en Colombia, el decreto 1077 de 2015 estipula los siguientes factores condicionantes: Inventario de procesos morfodinámicos, geomorfología aplicada a movimientos en masa a nivel de subunidades geomorfológicas y coberturas y uso del suelo (DAFP, 2015).

5.1.2. Factores detonantes

Los factores detonantes son estímulos externos sobre el terreno que modifican las condiciones de estabilidad y provocan los movimientos en masa como resultado (Wieczorek, 1996). Según su origen, existen diversos agentes detonantes, entre ellos los de origen sismotectónico, hidrológicos, meteorológicos y antrópicos (Cuervo, 2000), donde se ha encontrado una mayor influencia de lluvias y sismos en la generación de eventos en Colombia, principalmente de tipo deslizamiento (Gonzalez & Padilla, 2023; SGC, 2017).

5.2. Zonificación de movimientos en masa

El concepto de zonificación hace referencia a la división del territorio en áreas o dominios homogéneos, que permitan establecer categorías de acuerdo al nivel de susceptibilidad y/o amenaza (DAFP, 2014; SGC, 2017). Según la normativa vigente en Colombia, los estudios básicos de zonificación para amenaza por movimientos en masa en suelos rurales deberán utilizar, como mínimo, alguno de los siguientes métodos: heurístico, estadístico o de inventarios (DAFP, 2015).

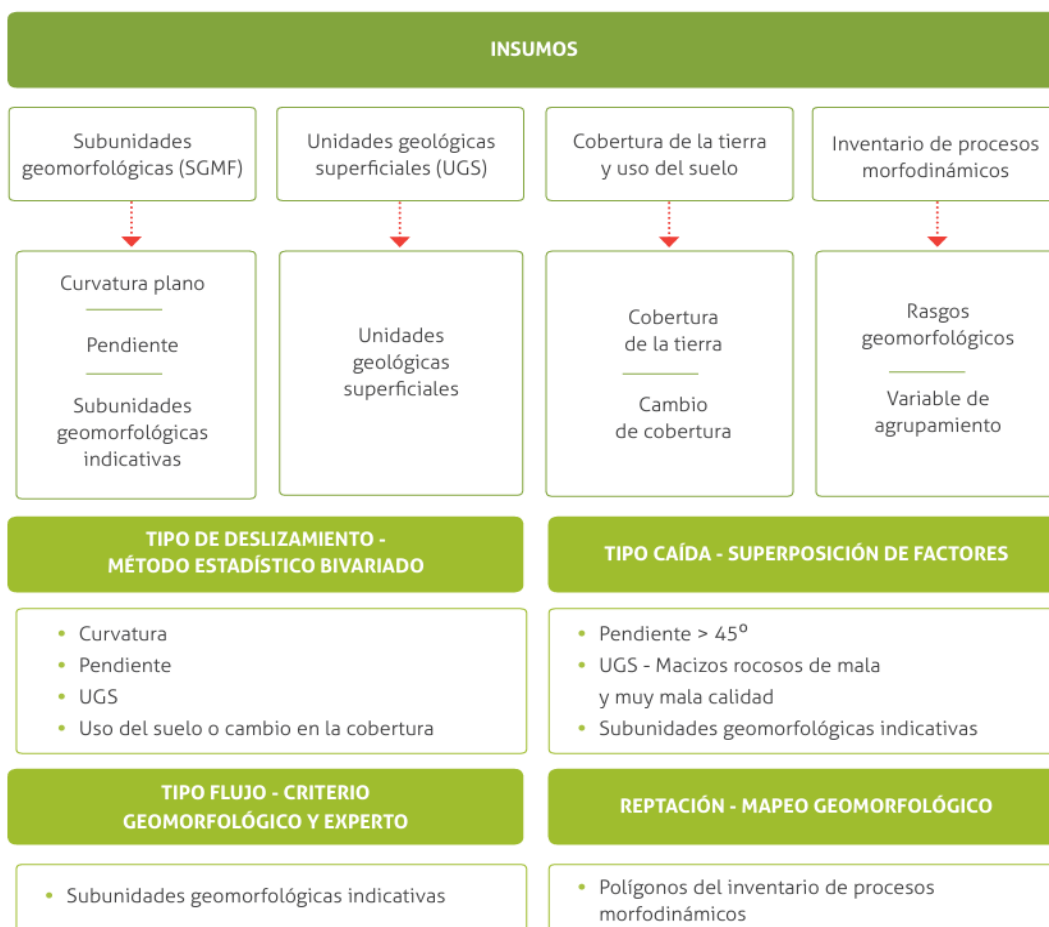
5.2.1 Zonificación de susceptibilidad

La susceptibilidad es la medida cualitativa y/o cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de los movimientos en masa existentes, o que pueden llegar a existir, en una región y está determinada por los factores intrínsecos del terreno (SGC, 2017).

Los insumos y métodos necesarios para la estimación de la susceptibilidad dependen del tipo de movimiento en masa, donde la Guía metodológica del SGC (2017) y el decreto 1077 de 2015 (DAFP, 2015), recomiendan evaluar la susceptibilidad por deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones, para así generar el mapa de susceptibilidad total de la zona de interés. En la Figura 3 se muestran los métodos sugeridos para el cálculo de la susceptibilidad de cada tipo de movimiento en masa.

Figura 3

Esquema metodológico para el análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa.



Nota. Tomado de: (SGC, 2017).

Las categorías de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa son las siguientes: baja, media, alta y muy alta. En la [Tabla 1](#) se indican las descripciones de cada una de estas categorías, donde se debe incluir información de los factores condicionantes, tipo de movimiento y localización geográfica con respecto al área de estudio.

Tabla 1

Categorías y descripción de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa.

Categoría	Descripción
Muy Alta	Corresponde a los movimientos en masa obtenidos en el inventario de procesos morfodinámicos. En estas áreas se incluyen los movimientos tipo deslizamiento y caída. Los polígonos de flujos clasificados como avenida torrencial o reptación no hacen parte de esta categoría.
Alta	En estas categorías debe incluirse la descripción de los tipos de movimiento que pueden ocurrir y una descripción breve de los factores geoambientales que condicionan esta posibilidad, haciendo énfasis en la importancia relativa de cada factor de acuerdo con las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos en el análisis de cada tipo de movimiento. Cada tipo de movimiento está condicionado por un factor o una combinación de factores específica, que debe describirse de manera precisa en la leyenda
Media	Descripción de las características geoambientales que condicionan la ausencia o muy baja posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa. Esta descripción también debe estar basada en la importancia relativa de cada factor de acuerdo con las hipótesis planteadas y los resultados de los análisis por tipo de movimiento que se hayan realizado.
Baja	

Nota. Adaptado de: (SGC, 2017).

5.2.2. Zonificación de amenaza

La amenaza se define como un evento físico, de origen natural o inducido, que puede generar un impacto en los elementos de una zona, como pérdidas de vida, lesiones, daños y

afectaciones a infraestructura y recursos ambientales (SGC, 2017). De este modo, los estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa deben plantear una relación entre el tipo de movimiento en masa, la probabilidad espacial expresada en la susceptibilidad y la probabilidad temporal calculada con los factores detonantes (lluvia y sismos) (Corominas & Moya, 2008).

Las categorías de amenaza para los estudios de zonificación por movimientos en masa en suelos rurales de Colombia son las siguientes: baja, media y alta; donde la leyenda del mapa deberá incluir los tipos de procesos predominantes, el porcentaje de eventos, la frecuencia de ocurrencia, características físicas de las unidades y localización geográfica de cada categoría. En la Figura 4 se muestra el esquema base para la elaboración de la leyenda.

Figura 4

Esquema base para la leyenda del mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA DE AMENAZA (Estadísticas y localización geográfica)	TIPOS Y SUBTIPOS DE MOVIMIENTO	PROBABILIDAD ESPACIAL/ PORCENTAJE DE MOVIMIENTOS EN MASA	PROBABILIDAD TEMPORAL/ FRECUENCIA DE OCURRENCIA	MAGNITUD	RECOMENDACIONES
ALTA		Deslizamientos Caídas Flujos				
MEDIA		Deslizamientos Caídas Flujos				
BAJA	Descripción de las características asociadas con la baja probabilidad espacial y temporal a la ocurrencia de movimientos en masa					

Nota. Tomado de: (SGC, 2017).

6. Metodología

El cumplimiento de las funciones planteadas para la práctica empresarial con ALICON & ING S.A.S se organizó en las siguientes 6 fases, donde se describen las actividades y resultados de cada etapa del proyecto.

6.1. Fase 1. Aprestamiento

En esta fase se realizan la inducción a la empresa y se explican las funciones y alcances de la práctica. Entre las actividades desarrolladas durante esta etapa se incluyen la capacitación con los equipos de cómputo y sistemas de información geográfica utilizados por la entidad, junto con el estudio de la normativa legal vigente relacionada a los estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa en Colombia y la asignación de la zona de estudio del proyecto.

6.2. Fase 2. Diagnóstico de la zona de estudio

Al tener la zona de estudio designada (suelo rural del municipio de Villanueva, Santander), se hizo un reconocimiento y diagnóstico a partir del estudio de antecedentes bibliográficos, como planchas geológicas, estudios de amenaza, esquemas de ordenamiento territorial y planes de manejo de cuencas hidrográficas. Además, se recopilaron insumos cartográficos de sitios web libres, entre ellos el SGC, IGAC, IDEAM, para contar con la información para la caracterización geoambiental, donde fue necesaria la geología, geomorfología, UGS, coberturas, estaciones pluviométricas, datos de aceleración pico del suelo y reportes de movimientos en masa. De esta manera, se generó el mapa de cartografía base del suelo rural del municipio de Villanueva, el cual es el entregable de esta fase del proyecto.

6.3. Fase 3. Caracterización geoambiental

A partir de la cartografía base e insumos recopilados, se realizó la caracterización geoambiental del suelo rural, siguiendo la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano escala 1:25.000 (SGC, 2017). Durante esta fase, se llevaron a cabo actividades de campo que complementaron la información consultada durante la fase diagnóstico, seguido de la elaboración del inventario de procesos morfodinámicos del área de estudio y el análisis de factores condicionantes (geomorfología, UGS y coberturas y usos del suelo). Los entregables de esta fase corresponden a los mapas del inventario de procesos morfodinámicos, subunidades geomorfológicas, pendientes, curvaturas, UGS, coberturas de la tierra y usos del suelo y cambios de coberturas del suelo.

6.4. Fase 4. Análisis de Susceptibilidad por Movimientos en Masa

Tomando la información de la fase de caracterización geoambiental, se procedió a realizar el cálculo de la susceptibilidad total para el suelo rural del municipio de Villanueva, siguiendo la metodología presentada por el SGC (2017). Para lograr esto, se obtuvo la susceptibilidad por deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones aplicando los métodos expuestos en la Figura 3, y luego mediante la integración por álgebra de mapas, se produjo la susceptibilidad total por movimientos en masa a escala 1:25.000 de la zona de estudio, con sus respectivas descripciones de cada categoría de zonificación.

6.5. Fase 5. Análisis de amenaza por movimientos en masa.

Para el cálculo de la amenaza en la zona de estudio, se partió del análisis de factores detonantes, que siguiendo los establecido por la guía del SGC (2017), debe incluir lluvias y sismos. La detonante lluvia incluyó la estimación de la probabilidad temporal con los datos de precipitación media anual, tomados de las estaciones pluviométricas del área de influencia del

municipio y que permitieron adquirir el mapa de isoyetas de las lluvias de la región. En cambio, el detonante sismo se ponderó a partir del valor establecido en la zonificación del mapa de aceleración sísmica de Colombia (SGC, 2020).

Luego, tomando los resultados del análisis de factores detonantes y la susceptibilidad total del municipio, se hizo el cálculo de la amenaza aplicando la siguiente ecuación:

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

Donde:

H_{mm} es amenaza por movimientos en masa

S es susceptibilidad por movimientos en masa

F_p es factor detonante lluvia

F_s es factor detonante sismo

El resultado de esta fase fue el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, el cual incluye el análisis y descripción de cada categoría de amenaza propuesta.

6 .6. Fase 6. Revisión resultados y finalización práctica

La revisión de los resultados consiste en la última actividad a realizar en la práctica empresarial, donde se evaluó la zonificación de amenaza propuesta para el área de estudio y se procedió a la redacción del libro de trabajo de grado, en el cual se incluyen las salidas cartográficas obtenidas en cada fase del proyecto.

7. Resultados

7.1. Área de estudio

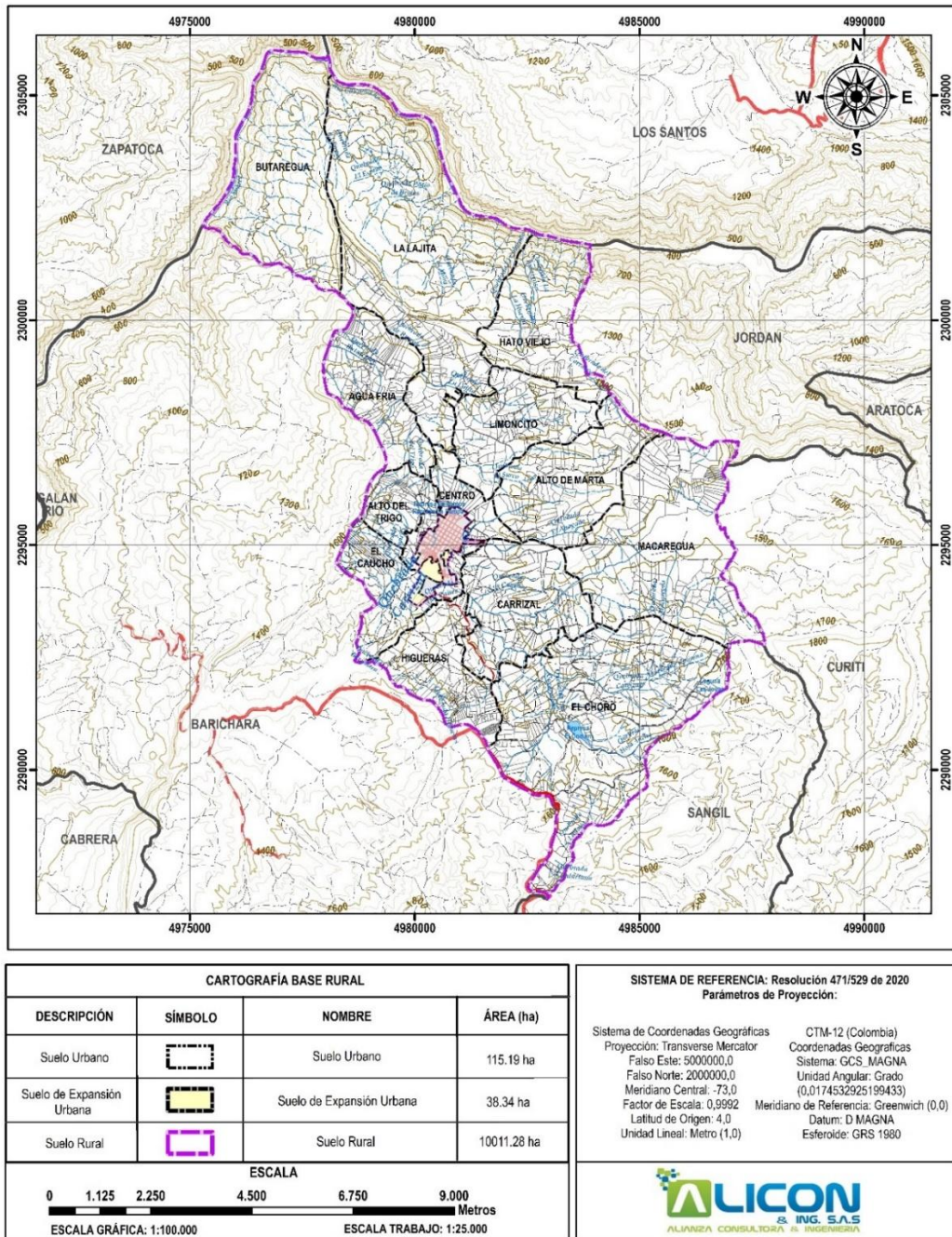
La delimitación y caracterización del suelo rural de Villanueva, Santander partió de los insumos cartográficos disponibles en el portal de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2024), a escala de trabajo 1:25.000, empleando las planchas 120IVC, 135IIA, 135IIB, 135IIC, 135IID para la elaboración de la cartografía base, donde la información fue complementada con los datos presentes en el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres Municipal (Alcaldía de Villanueva, 2017).

El mapa de cartografía base (Figura 5) delimita el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander con un área de 10.011,28 ha, para el suelo urbano se marcó una extensión de 115,19 ha y el suelo de expansión urbana cuenta con un área de 38,34 ha. También, se encontró que el municipio se compone de un centro urbano y 13 veredas (Agua Fría, Alto de Marta, Alto del Trigo, Butaregua, Carrizal, Centro, El Caucho, El Choro, Hato Viejo, Higueras, La Lajita, Limoncito y Macaregua), teniendo como drenajes principales las quebradas Macaregua, Los Países, Carrizal, El Ahogado, La Cucarachas, Hoja Ancha, El Trigo, El Junco, La Huerta, La Amargosa y El Colorado.

La malla vial del municipio se compone de una vía pavimentada que conecta el casco urbano con las vías principales hacia los municipios de San Gil y Barichara, mientras que el transporte entre veredas se realiza a través de vías no pavimentadas, carretables y senderos. Por otro lado, las zonas de mayor elevación se encuentran al sur del municipio, alcanzando cotas de 1600 a 1700 msnm en las veredas El Choro, Macaregua, Higueras, Alto de Marta, Alto del Trigo y El Caucho.

Figura 5

Mapa de cartografía base del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestran centros urbanos, zonas rurales, vías principales, etc.

7.2. Mapas de la caracterización geoambiental del área de estudio

Siguiendo lo estipulado por la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017), la caracterización geoambiental del área de estudio abarcó los siguientes ítems: geología a nivel de Unidades Geológicas Superficiales (UGS), geomorfología a nivel subunidades geomorfológicas, coberturas y usos del suelo e inventario de procesos morfodinámicos.

7.2.1. Mapa de Unidades Geológicas superficiales

Se identificaron 27 UGS en el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander, las cuales se clasificaron según su origen en 3 categorías: roca inalterada, derivadas de rocas in situ y de suelo transportado (Tabla 2). En el caso de unidades de roca, se encontraron 16 unidades, de las cuales 8 corresponden a roca blanda, 5 a roca intermedia y 3 a roca muy blanda; para las derivadas de rocas in situ, estas se clasificaron como suelos residuales, encontrando 9 unidades de este tipo. Finalmente, las unidades de suelo transportado se componen de 1 depósito de gravedad y ladeo y una unidad de depósitos aluviales.

Tabla 2

Clasificación de UGS del municipio de Villanueva, Santander.

Origen	Tipo	Descripción	Etiqueta
		Roca blanda arenisca de la Formación Simití	Rbafs
		Roca blanda arenisca de la Formación Tablazo	Rbaft
		Roca blanda arenisca de la Formación Tambor	Rbafta
Roca	Roca	Roca blanda arenisca con lutita muy blanda de la Formación Simití	Rbalmbfs
inalterada	blanda	Roca blanda lodolita de la Formación Rosablanca	Rblfr
		Roca blanda lodolita de la Formación Simití	Rblfs
		Roca blanda lodolita de la Formación Tablazo	Rblft
		Roca blanda lodolita de la Formación Tambor	Rblfta

Origen	Tipo	Descripción	Etiqueta
		Roca intermedia arenisca de la Formación Girón	Riafg
		Roca intermedia arenisca de la Formación Tablazo	Riaft
Roca intermedia		Roca intermedia arenisca con lodolita blanda de la Formación Tablazo	Rialbft
		Roca intermedia caliza de la formación Rosablanca	Ricfr
		Roca intermedia caliza de la formación Tablazo	Ricft
Roca muy blanda		Roca muy blanda lutita de la Formación Paja	Rmbfp
		Roca muy blanca lutita de la Formación Rosablanca	Rmbfr
		Roca muy blanda lutita de la Formación Simití	Rmbfs
Derivadas de la roca in situ	Suelo residual	Suelo residual arenoso de la Formación Girón	Sralfg
		Suelo residual arcilloso de la Formación Paja	Sralfp
		Suelo residual arcilloso de la Formación Rosablanca	Sralfr
		Suelo residual arcilloso de la Formación Simití	Sralfs
		Suelo residual saprolito a roca de la Formación Tablazo	Sralft
		Suelo residual arcillo limoso de la Formación Tambor	Sralfta
		Suelo residual arcillo limoso de la Formación Paja	Srsrfp
		Suelo residual arcillo limoso de la Formación Rosablanca	Srsrfr
		Suelo residual arcillo limoso de la Formación Tablazo	Srsrft
Suelo transportado	Depósitos de gravedad y ladeo	Suelo transportado coluvial	Stco
	Depósitos aluviales	Suelo transportado aluvial	Stal

Nota. Clasificación según su origen y tipo de las UGS.

Con base a la información presentada en el mapa de UGS del suelo rural de Villanueva, Santander (Figura 6), las UGS de origen de roca inalterada abarcan el 61,65% de la zona de estudio, siendo las más comunes las unidades de roca muy blanda lutita de la Formación Simití (15,77%) y roca blanda arenisca de la Formación Simití (11,07 %). La primera unidad mencionada aflora superficialmente sobre las veredas El Caucho, Higueras, Alto de Marta, El Choro, Macaregua y Carrizal, estando compuesta de estratos de shales o lutitas negras y grises fósiles, con un grado de meteorización medio alto y evidencias de disgregación del material hacia el centro del municipio. Mientras que, la segunda unidad consiste en areniscas de grano media a fino, que afloran en las veredas El Choro, Macaregua y Carrizal, compuestas de minerales félsicos, micas y siendo característica su blandura.

Las unidades derivadas de rocas in situ representan el 27,43 % del área de estudio (Figura 6), encontrando principalmente la unidad de suelo residual saprolito a roca de la Formación Tablazo (7,22%), que aflora en la Vereda La Lajita y es el resultado de la descomposición y meteorización de rocas de la Formación Tablazo. También, destaca la unidad de suelo residual arcillo limoso de la Formación Paja (6,48%), la cual se encuentra principalmente hacia al noroeste del municipio, hacia la vereda Butaregua, consistiendo en material originado por la descomposición de rocas de la Formación Rosablanca, dejando expuesta una matriz de textura arcillosa y limosa.

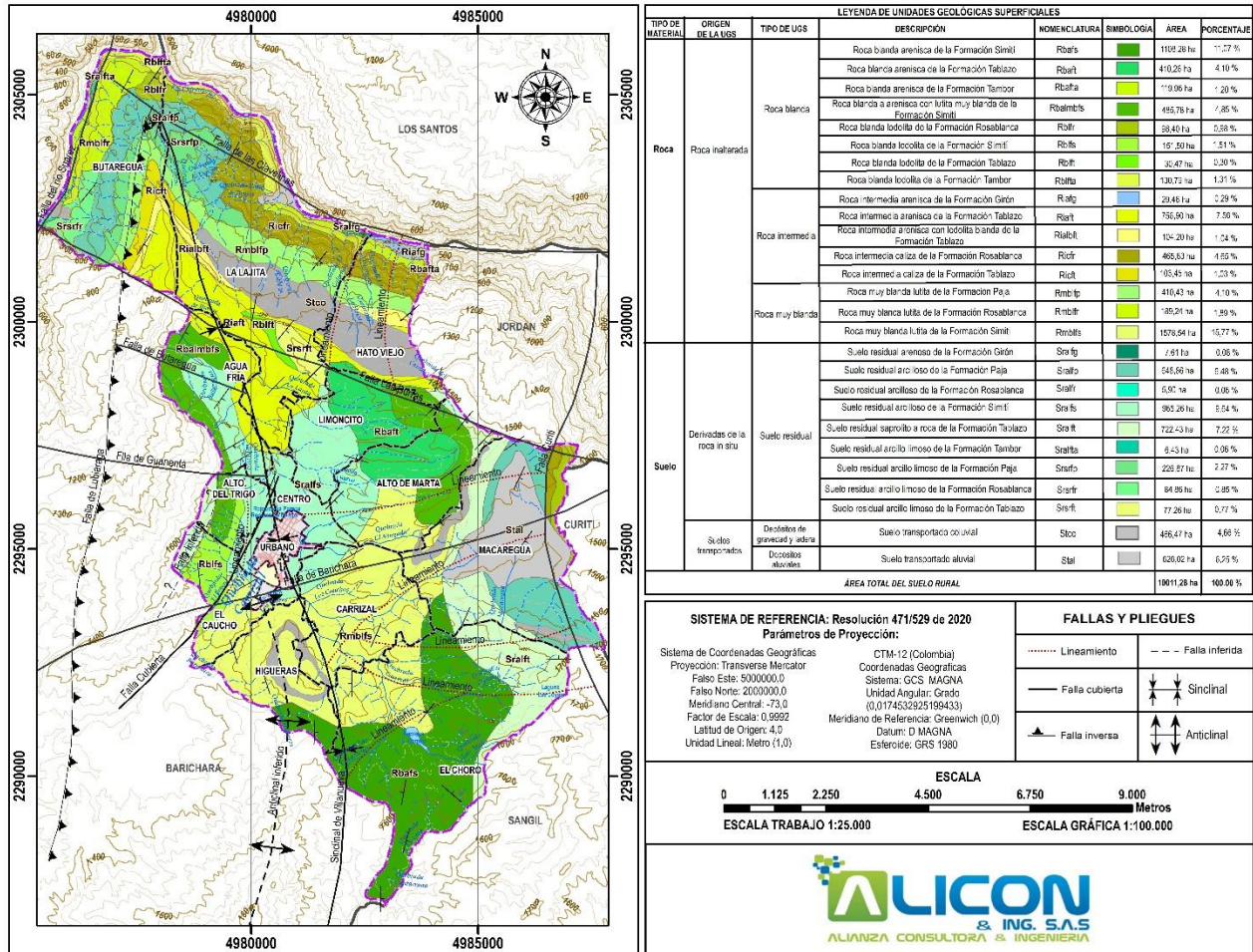
Las unidades de suelo transportado cubren un área del 10,91% del total del municipio (Figura 6), donde los depósitos de gravedad y ladeo consta de una unidad de suelo transportado coluvial (4,66%), que aflora al sureste del municipio, en la vereda Macaregua y al norte en la vereda La Lajita, cuyo depósito se asocia a la acción de agentes hidrogravitacionales y posiblemente a movimientos en masa. Por otro lado, la unidad de suelos transportados aluviales

(6,25%) aflora sobre la vereda Macaregua, siendo una zona afectada por los trazos de la Falla Las Burras y la Falla de Barichara.

Con respecto a la geología estructural, se encuentra el Sinclinal de Villanueva (Figura 6), que atraviesa el municipio en sentido S- N, pasando por el casco urbano y generando plegamientos en las siguientes unidades: rbafs, rmbllfs, sralfs, riaft, rialbft, ricft, rmbllfp, srsrffp y rblfr (Tabla 2). También, se identificó un anticlinal inferido hacia la vereda Higuera en dirección N-S, afectando unidades de suelo residual y de roca muy blanda. Por otro lado, la falla Las Burras, que atraviesa el municipio en dirección NW-SE, por las veredas Butaregua, La Lajita, Limoncito, Hato Viejo y Macaregua y la falla de Las Clavelinas, al norte del municipio, en las veredas Butaregua y La Lajita, también demuestran cierta influencia en los procesos que afectan las unidades de suelos residuales, rocas blandas a muy blandas y depósitos. Finalmente, en el sector sur, hacia las veredas El Caucho, Higuera, Carrizal y Macaregua, se muestran lineamientos (Figura 6).

Figura 6

Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestran las UGS y fallas identificadas en el área de estudio.

7.2.2. Mapa de subunidades geomorfológicas

En el área de estudio se identificaron 3 ambientes morfogenéticos: denudacional, fluvial y estructural, registrando un total de 22 subunidades (Tabla 3). El ambiente de mayor cobertura en la región es el denudacional, el cual se divide en 12 subunidades geomorfológicas que abarcan el

50,13% del municipio (Figura 7). Para este ambiente, la subunidad de mayor predominancia es la ladera ondulada suave (25,92%), mientras que, asociadas a procesos erosivos se incluyen laderas, escarpes de erosión mayor y laderas erosivas hacia las veredas La Lajita y Hato Viejo. Finalmente, en este ambiente se relacionó la presencia de movimientos en masa, específicamente deslizamientos, con los escarpes de erosión menor en las veredas Hato Viejo, La Lajita y al noreste del municipio (Figura 7).

El ambiente estructural representa el 47,46% del municipio (Figura 7), encontrando 7 subunidades geomorfológicas (Tabla 3), siendo la ladera estructural la de mayor presencia en la zona (16,35%), seguido por las superficies de terraza (9,62%). Las subunidades asociadas a plegamientos, como la sierra sinclinal y sierra anticlinal, presentan una estrecha relación con el Sinclinal de Villanueva y los anticlinales de la zona de estudio. Por otro lado, la zona está controlada estructuralmente por la Falla de Las Burras, Falla de Las Clavelinas, Falla de Guanentá, Falla de Curití y Falla de Barichara, que explican la ocurrencia de subunidades en este ambiente, como dolinas estructurales y laderas de contrapendiente suave.

El ambiente fluvial representa el 2,42% (Figura 7) del municipio, encontrando 3 subunidades geomorfológicas (Tabla 3): escarpes de terraza de acumulación (1,42%) hacia las veredas Butaregua y La Lajita; cauces aluviales (0,50%), que se extienden al norte del municipio y se relacionan al control estructural de fallas; y planos/lanuras de inundación (0,50%), los cuales están limitados por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa.

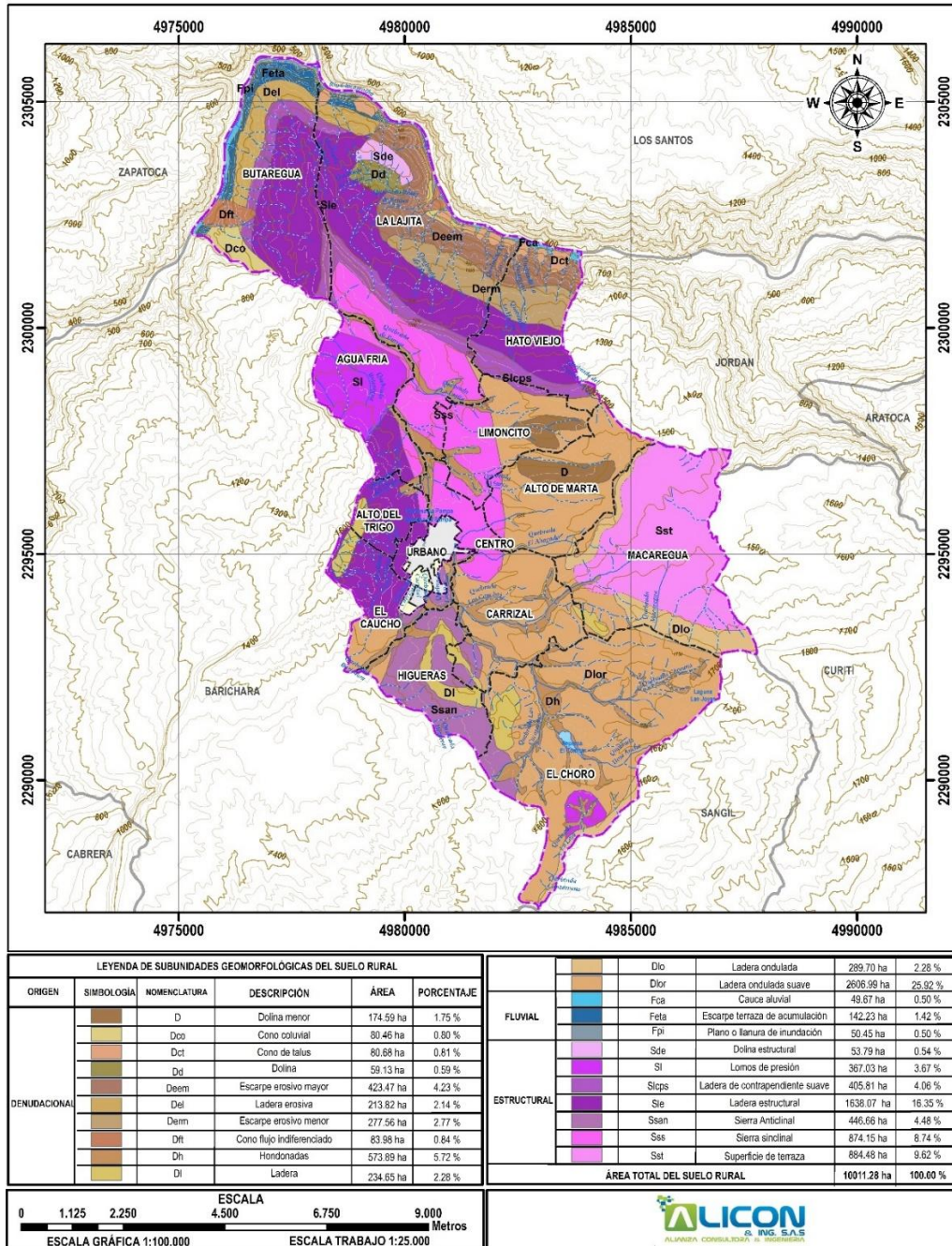
Tabla 3*Clasificación de subunidades geomorfológicas de Villanueva, Santander.*

Ambiente	Descripción	símbolo
Denudacional	Dolina menor	D
	Cono coluvial	Dco
	Cono de talus	Dct
	Dolina	Dd
	Escarpe de erosión mayor	Deem
	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Dft
	Ladera erosiva	Del
	Escarpe de erosión menor	Derm
	Cono flujo indiferenciado	Dft
	Hondonada	Dh
	Ladera	DI
	Ladera ondulada	Dlo
	Ladera ondulada suave	Dlor
	Fluvial	Cauce aluvial
Plano o llanura de inundación		Fpi
Escarpe de terraza de acumulación		Feta
Estructural	Dolina estructural	Sde
	Lomos de presión	SI
	Ladera de contrapendiente suave	Slcps
	Ladera estructural	Sle
	Sierra anticlinal	Ssan
	Sierra sinclinal	Sss
	Superficie de terraza	Sst

Nota. Ambientes morfogenéticos y respectivas subunidades geomorfológicas.

Figura 7

Mapa de subunidades geomorfológicas del suelo rural de Villanueva, Santander



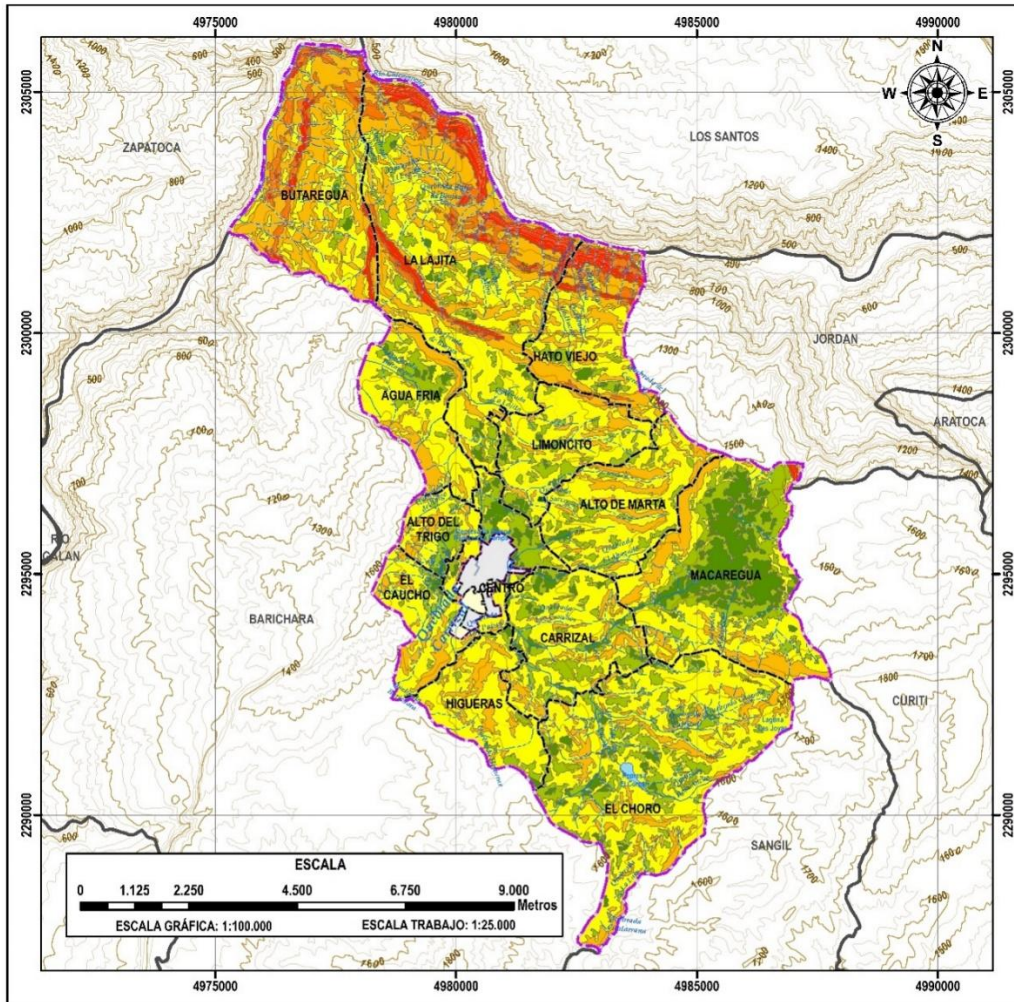
Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestran las subunidades geomorfológicas de cada ambiente de la zona de estudio.

De manera complementaria a los resultados obtenidos del mapa de subunidades geomorfológicas, se realizaron los mapas de morfometría, que incluyen pendientes y curvaturas, los cuales fueron necesarios para el cálculo de la susceptibilidad por movimientos en masa.

El mapa de pendientes del municipio de Villanueva, Santander ([Figura 8](#)) muestra 7 categorías de pendientes, que van de plana a fuertemente empinada, y se clasificaron según lo expuesto en la guía metodológica de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ([ANLA, 2018](#)). A partir de esto, se definieron las áreas dentro de los rangos de ligeramente escarpada a fuertemente empinada (25% a >75%), como las áreas con mayor relación a la ocurrencia de movimientos en masa, presentando generalmente formas convexas y rectas, asociadas al escarpe principal del movimiento en masa identificado en la ladera.

Figura 8

Mapa de pendientes del suelo rural de Villanueva, Santander



LEYENDA DE PENDIENTES DEL SUELO RURAL				
SIMBOLOGÍA	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
	0 - 3	Plana	1.19 ha	0.01 %
	3 - 7	Ligeramente plana	545.03 ha	5.44 %
	7 - 12	Moderadamente inclinada o moderadamente ondulada	1468.62 ha	14.67 %
	12 - 25	Fuertemente inclinada o fuertemente ondulada	4911.45 ha	49.06 %
	25 - 50	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	2414.03 ha	24.11 %
	50 - 75	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	284.11 ha	2.84 %
	> 75	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	386.84 ha	3.86 %
ÁREA TOTAL DEL SUELO RURAL			10011.28 ha	100.00 %

SISTEMA DE REFERENCIA: Resolución 471/529 de 2020	
Parámetros de Proyección:	
Sistema de Coordenadas Geográficas	CTM-12 (Colombia)
Proyección: Transverse Mercator	Coordenadas Geográficas
Falso Este: 5000000,0	Sistema: GCS MAGNA
Falso Norte: 2000000,0	Unidad Angular: Grado
Meridiano Central: -73,0	(0,0174532925199433)
Factor de Escala: 0,9992	Meridiano de Referencia: Greenwich (0,0)
Latitud de Origen: 4,0	Datum: D MAGNA
Unidad Lineal: Metro (1,0)	Esférico: GRS 1980



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestra la distribución de las 7 categorías de pendientes en la zona de estudio.

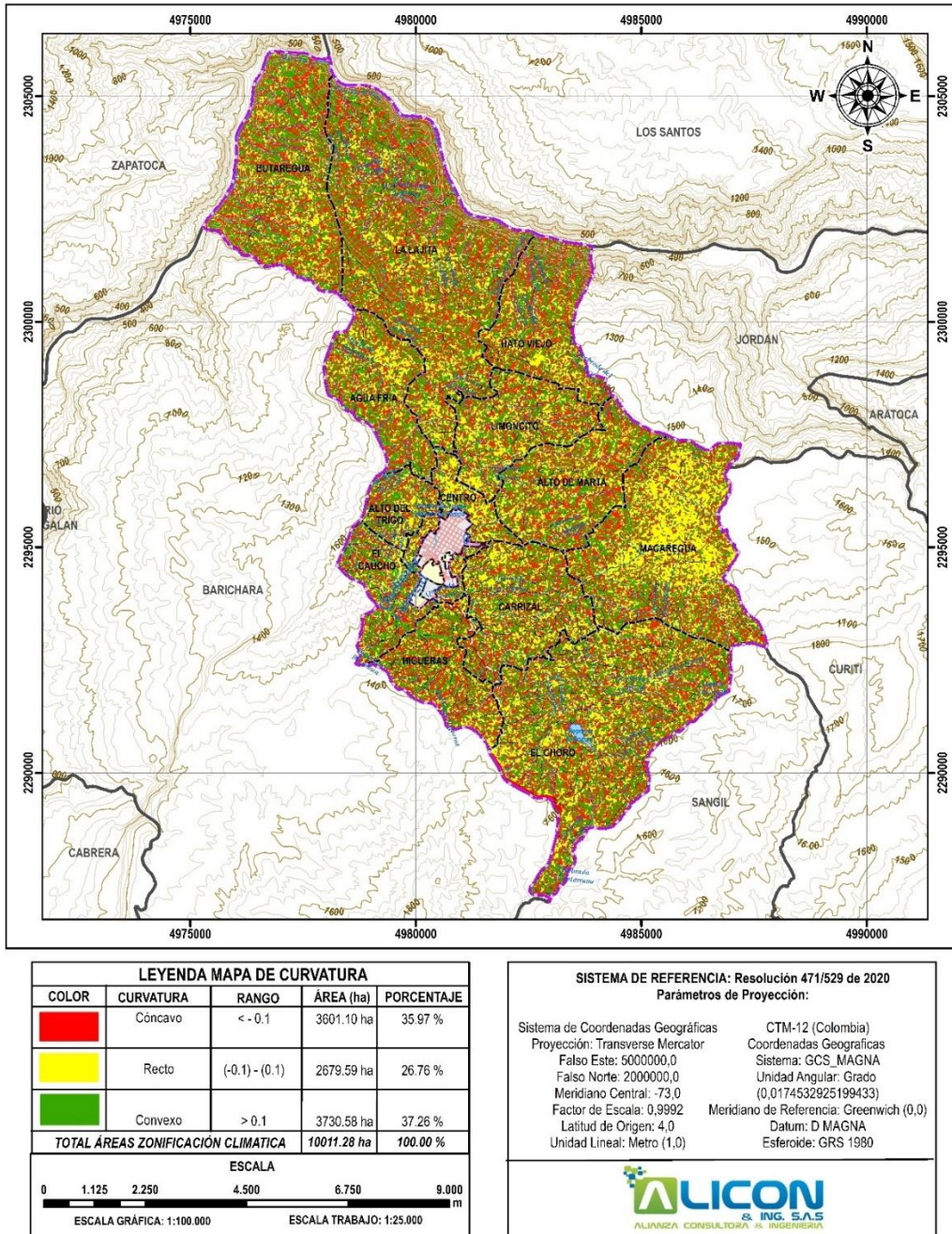
El rango de pendientes de mayor prevalencia en el municipio corresponde a pendientes fuertemente onduladas (12-25%), ocupando un área total del 49,06% (Figura 8), seguido de las pendientes ligeramente empinadas (25-50%) que se extienden por el 24,11% del municipio. En menor medida, se encuentran pendientes entre los rangos de planas a moderadamente ondulada a lo largo de todo el municipio. Por otro lado, las pendientes moderadamente empinadas (50-75%), representan un 2,84% del área de estudio, relacionándose con divisorias de aguas, geoformas del ambiente estructural, como escarpes de erosión y lineamientos tectónicos hacia el norte del municipio. Finalmente, las pendientes en el rango de fuertemente empinadas (>75%) se encuentran hacia el norte del municipio y se relacionan a geoformas de origen estructural, cubriendo un área del 3,86% del suelo rural del municipio.

El mapa de curvaturas fue elaborado a partir de lo estipulado en la guía metodológica del SGC (2017), donde se menciona la curvatura de plano del terreno como un insumo necesario para el cálculo de la susceptibilidad por movimientos en masa. De tal modo, se clasificaron las curvaturas en 3 rangos: cóncavas, rectas y convexas, las cuales se pueden observar en la Figura 9, donde se encontró que el 37,36% del municipio presenta una curvatura convexa, mientras que el 35,97% es cóncavo y el 27,76% restante de la zona consiste en zonas rectas.

Las zonas cóncavas suelen tener una mayor relación con la ocurrencia de movimientos en masa, debido a que el flujo de agua se dirige al centro de la celda, concentrando el líquido, mientras que las formas convexas dispersan el flujo de agua. También, es importante destacar que las zonas rectas mantienen una distribución uniforme de agua en toda la ladera, que, dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo, podría favorecer la ocurrencia de movimientos en masa.

Figura 9

Mapa de curvaturas del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestra la distribución de las 3 categorías de curvaturas en la zona de estudio.

7.2.3. Coberturas y usos del suelo

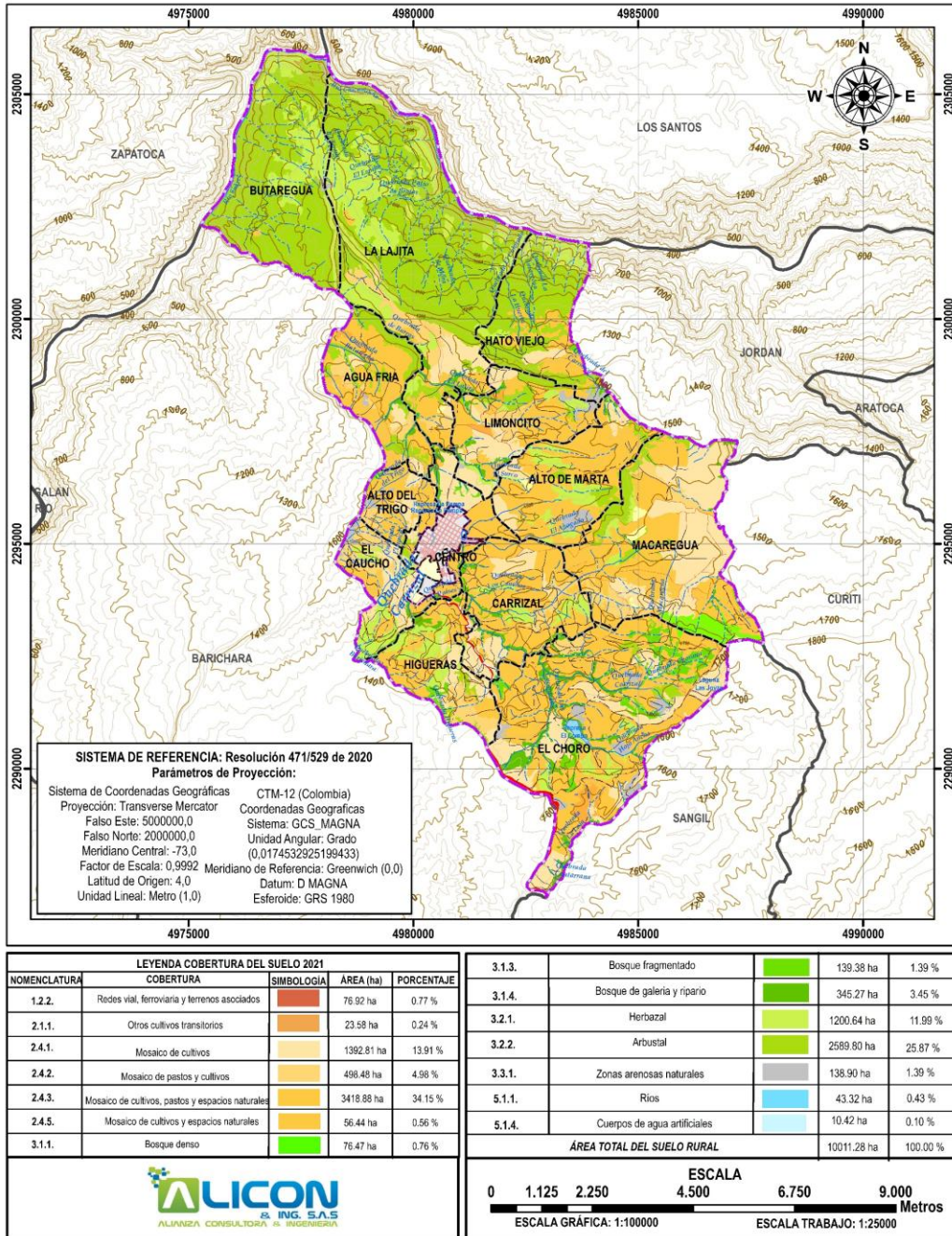
Las coberturas de la tierra fueron definidas a partir de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000 (SGC, 2017). A partir de esta, se elaboró el mapa de coberturas de la tierra de Villanueva Santander (Figura 10), donde se identificaron 14 unidades de cobertura, agrupadas en 4 categorías: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales y superficies naturales.

La categoría de territorios agrícolas es la de mayor extensión en el municipio, cubriendo un área del 53,84% (Figura 10) y contando con 5 coberturas, de las cuales el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (34,15%) es la cobertura más común, principalmente hacia el sur de la región. A su vez, los territorios agrícolas se encuentran subdivididos en cultivos transitorios, cultivos permanentes, pastos y áreas agrícolas heterogéneas, donde las coberturas dedicadas a actividades agrícolas pueden tener una mayor incidencia de movimientos en masa, principalmente de tipo reptación.

Para la categoría de bosques y área seminaturales se encontró que ésta cubre el 44,85% del municipio, presentando 6 unidades de cobertura, de las cuales la unidad arbustal (25,87%) es la de mayor prevalencia en el municipio, donde se destacan por presentar una mayor estabilidad ante posibles eventos de movimientos en masa. Finalmente, la categoría de territorios artificializados representa el 0,77% del área de estudio y consiste en la cobertura de red vial, ferroviaria y terrenos asociados (Figura 10).

Figura 10

Mapa de coberturas de la tierra de Villanueva, Santander



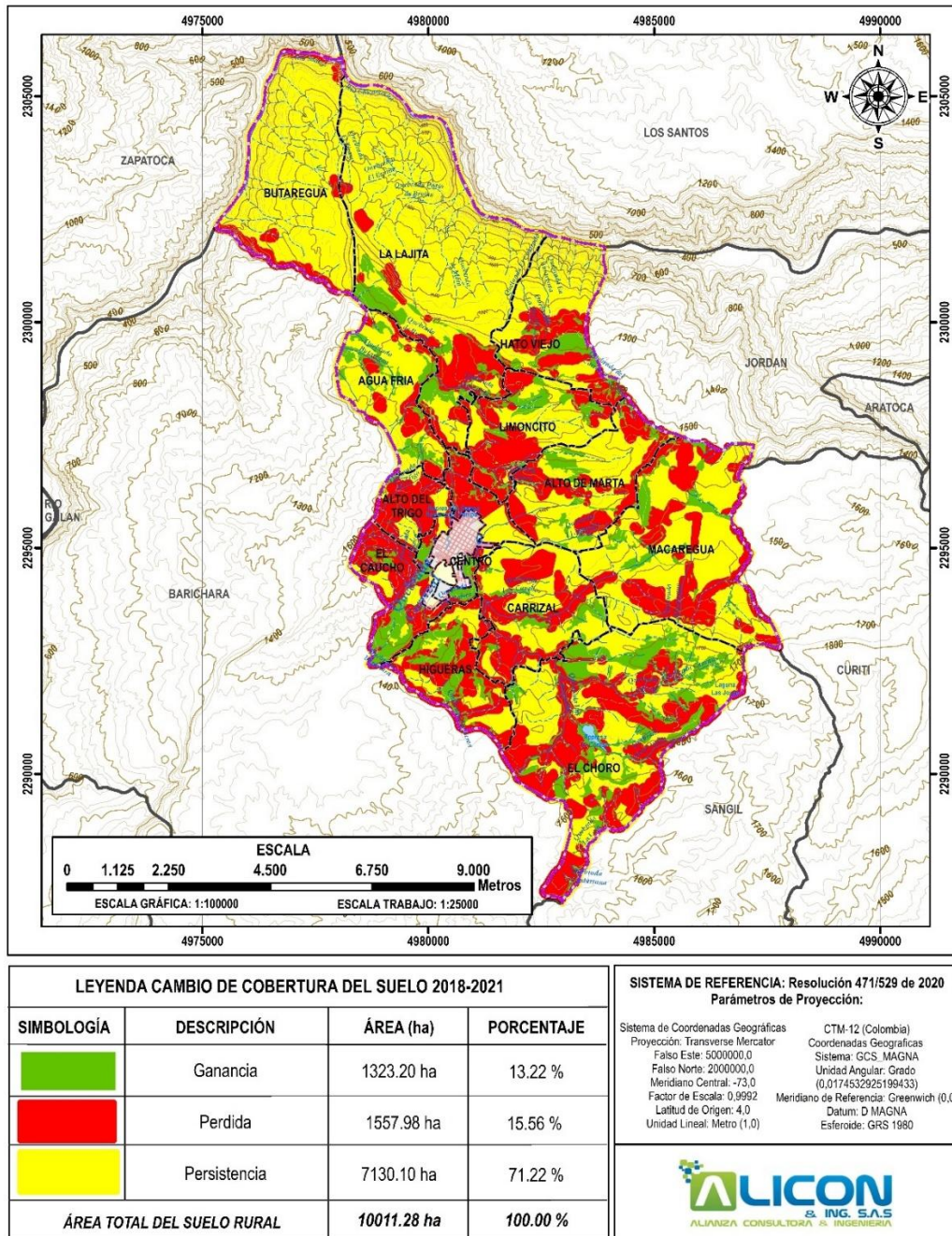
Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestra la distribución de las coberturas de la tierra en la zona de estudio.

Complementariamente, se realizó un análisis de cambios de cobertura de la tierra mediante la superposición de los mapas de 2018 y 2021, estableciendo tres categorías: pérdida, ganancia y persistencia. De este modo, según el mapa de cambios de cobertura de Villanueva, Santander (Figura 11), la categoría de persistencia predomina en la región, cubriendo un área del 71,22%, lo que se evidencia en la permanencia de zonas boscosas y cobertura vegetal, principalmente al norte del municipio.

La categoría de pérdida de cobertura representa un área del 15,56%, distribuyéndose de manera irregular por toda la zona de estudio y encontrando focos en las veredas Alto del Trigo, Centro, El Caucho, Limoncito, Hato Viejo y El Choro (Figura 11). Esta pérdida de cobertura se puede atribuir a la artificialización de coberturas vegetales, como mosaicos de cultivos y pastos con espacios naturales, junto con la pérdida de arbustales y herbazales a zonas desnudas y degradadas, donde esta última cobertura puede generar condiciones de inestabilidad en el terreno en zonas de alta pendiente y expuestas a procesos de erosión hídrica. Finalmente, la categoría de ganancia representa 13,22% del municipio, debido a modificaciones en el uso del suelo, así como al aumento de actividades silvopastoriles en la región, como se observa en las coberturas de mosaicos de cultivos y pastos con espacios naturales.

Figura 11

Mapa de cambio de coberturas de la tierra de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestran los cambios de la cobertura durante el período 2018-2021.

El **uso actual del suelo** rural del municipio de Villanueva, Santander fue determinado a partir de la relación entre coberturas de la tierra presentes en la zona (**Figura 10**) y su respectivo uso (**Tabla 4**).

Tabla 4

Clasificación de coberturas de la tierra y usos del suelo de Villanueva, Santander.

Cobertura de la tierra		Uso actual del suelo		
Cód	Cobertura	Grupo de uso	Uso actual	Nomen
1.1.1.	Tejido urbano continuo	Asentamiento	Residencial	AR
1.2.2.	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Infraestructura	Infraestructura y transporte	IT
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Pecuario	Agropecuario	CPS
			Pastoreo	P
2.2.1.	Cultivos permanentes herbáceos	Agroforestal	Cultivo permanente intensivo	API
2.4.1.	Mosaico de cultivos		Agrosilvopastoril	SAGF
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos			
2.4.4.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales			
2.4.5.	Mosaico de cultivos y espacios naturales		Tierras en descanso	TD
3.1.1.	Bosque denso	Conservación	Producción - Protección	PP
3.1.2.	Bosque fragmentado			
3.1.4.	Bosque de galería y ripario			
3.1.5.	Plantación forestal			
3.2.1.	Herbazal			
3.2.2.	Arbustal	Sistema forestal protector	SFP	
3.2.3.	Vegetación secundaria o en transición		Protección	PT
3.3.1.	Zonas arenosas naturales			
5.1.1.	Ríos		Cuerpos de aguas naturales	CAN
5.1.4.	Cuerpos de agua artificiales	Cuerpo de agua	Cuerpos de aguas artificiales	CA

Nota. Relación entre coberturas de la tierra y uso actual del suelo del área de estudio.

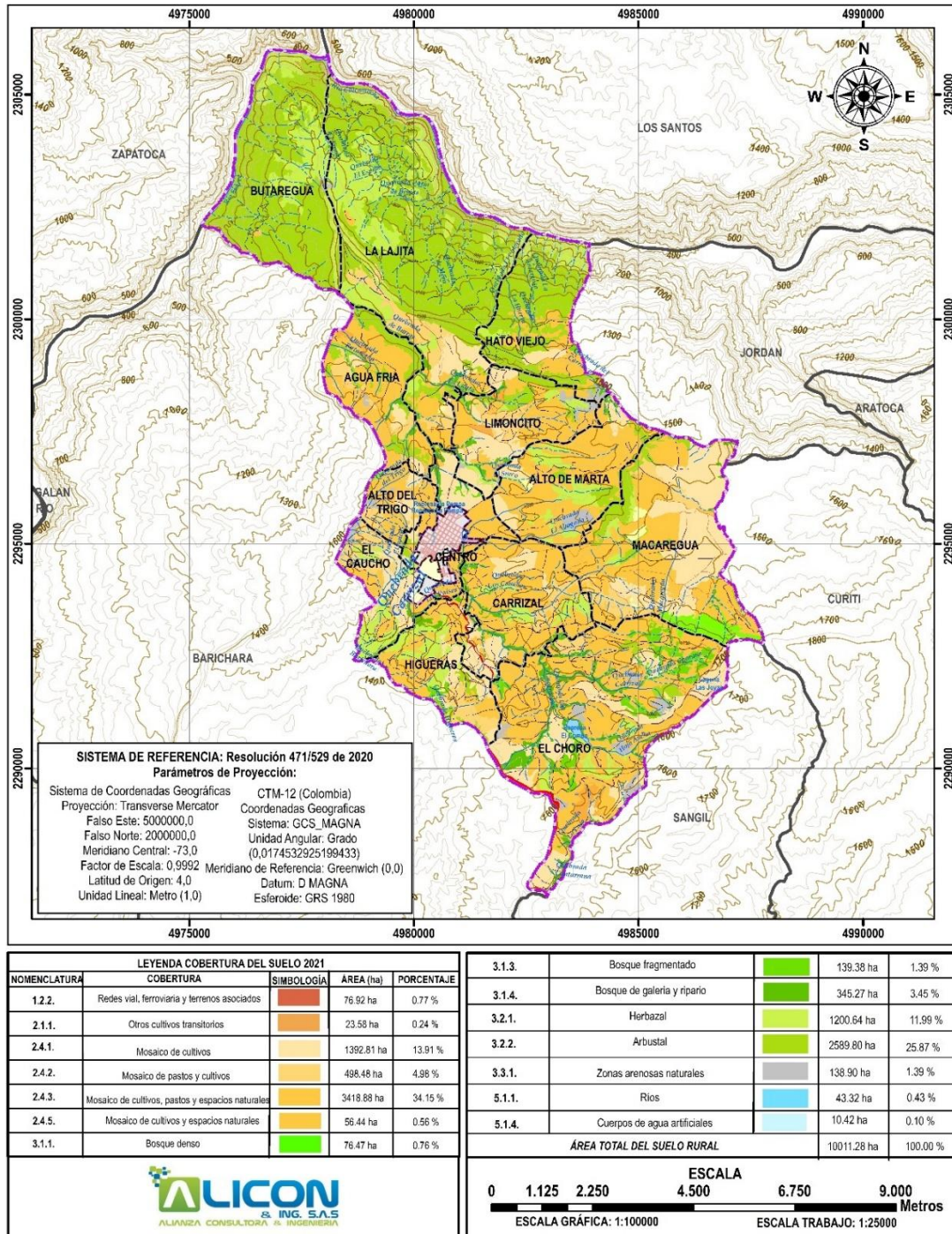
El área rural del municipio de Villanueva cuenta con regiones en las que predomina el uso del suelo de tipo Agrosilvopastoril y sistema forestal protector abarcando el 53,04% y el 37,86% del suelo rural respectivamente (**Figura 12**), considerándose de esta forma como una región principalmente agroforestal y de conservación. Entre los usos más representativos además de los anteriormente mencionados se tiene el uso en protección (5,61%) y tierras en descanso (1,95%).

El suelo de tipo agrosilvopastoril corresponde a la combinación de árboles, arbustos forrajeros y pastos con cultivos transitorios y/o permanentes, dándose en su mayoría hacia el centro y sur de la región. Sin embargo, en el municipio, este tipo de suelos son utilizados para la producción de alimentos, encontrando que estas tierras pueden llegar a ser zonas deterioradas en pendientes fuertes, por lo que hay una mayor predisposición a la ocurrencia de movimientos en masa, principalmente de tipo reptación y deslizamientos superficiales.

Se pueden esperar condiciones similares en las tierras de uso productivo, como lo son los suelos agropecuarios, de pastoreo y cultivos permanentes intensivos, donde también es importante mencionar que los suelos residenciales y de infraestructura y transporte pueden verse afectados por movimientos en masa, como resultado de la intervención antrópica al terreno. Finalmente, los suelos de conservación ubicados al norte del municipio, como en las veredas Butaregua y La Lajita, donde se concentran los suelos del sistema forestal protector, pueden tener una menor incidencia de movimientos en masa, debido a la baja intervención en estas zonas.

Figura 12

Mapa de uso actual del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Relación entre coberturas de la tierra y uso actual del suelo del área de estudio.

7.2.4. Mapa de inventario de procesos morfodinámicos

El inventario de procesos morfodinámicos se realizó a partir de la recopilación de información de bases de datos de uso libre, interpretación remota y trabajo de campo ([Anexo A: Formatos de Inventario de Procesos Morfodinámicos realizados en campo](#)), siguiendo los parámetros de clasificación y descripción de atributos definidos en la Guía metodológica del SGC (2017). De este modo, se encontraron 58 ([Tabla 5](#)) movimientos en masa, donde el tipo más común corresponde a caídas, identificando 19 caídas de rocas y 6 caídas de tierra. Seguido, están los deslizamientos de subtipo rotacional, hallando 19 movimientos, mientras que flujos de tierra se ubicaron 5 eventos y con respecto a las reptaciones se cartografiaron 5 movimientos. En el mapa del inventario de procesos morfodinámicos ([Figura 14](#)) elaborado para el municipio se pueden observar cartografiados los movimientos, con sus respectivas partes (escarpe, tránsito y depósito) y el área ocupada.

Tabla 5

Movimientos en masa del suelo rural del municipio de Villanueva, Santander.

Tipo	Subtipo	Cantidad movimientos	Área (ha)
Deslizamiento	Rotacional	19	1,08
Caída	Caída de roca	19	4,04
	Caída de tierra	6	0,95
Flujo	Flujo de tierra	9	1,3
Reptación	Reptación	5	1,92
Total		58	9,31

Nota. Movimientos clasificados según el sistema de Cruden y Varnes (1996). Se muestra el tipo, subtipo, cantidad y área ocupada por cada movimiento.

De manera complementaria, se describe detalladamente un ejemplo por cada tipo de movimiento registrado durante la toma de datos en campo ([Anexo A: Formatos de Inventario de Procesos Morfodinámicos realizados en campo](#)). Iniciando con los deslizamientos, el movimiento de subtipo rotacional ([Figura 13A](#)) identificado a la salida de la vereda aguas frías cuenta con una extensión estimada de 20 metros y una altura de 6 metros. También, se observan arenas, limos y cantos con el movimiento desarrollado, el cual presenta una forma de cono característica y se asigna una edad relativa reciente a este movimiento.

El movimiento de tipo caída ([Figura 13B](#)) registrado sobre la vía que comunica Villanueva con la vereda de Hacienda Primavera, fue clasificado como subtipo caída de rocas por la presencia de material, como fragmentos de roca, partículas de tamaño cantos, guijos y bloques de hasta 1 metro, además de ser registrado con una actividad continua a intermitente de edad reciente. De este modo, el material desprendido y escarpe a lo largo del margen de la vía muestran evidencias de procesos de meteorización y presencia de discontinuidades y fracturas, con influencia de la morfología y pendiente del terreno en este evento.

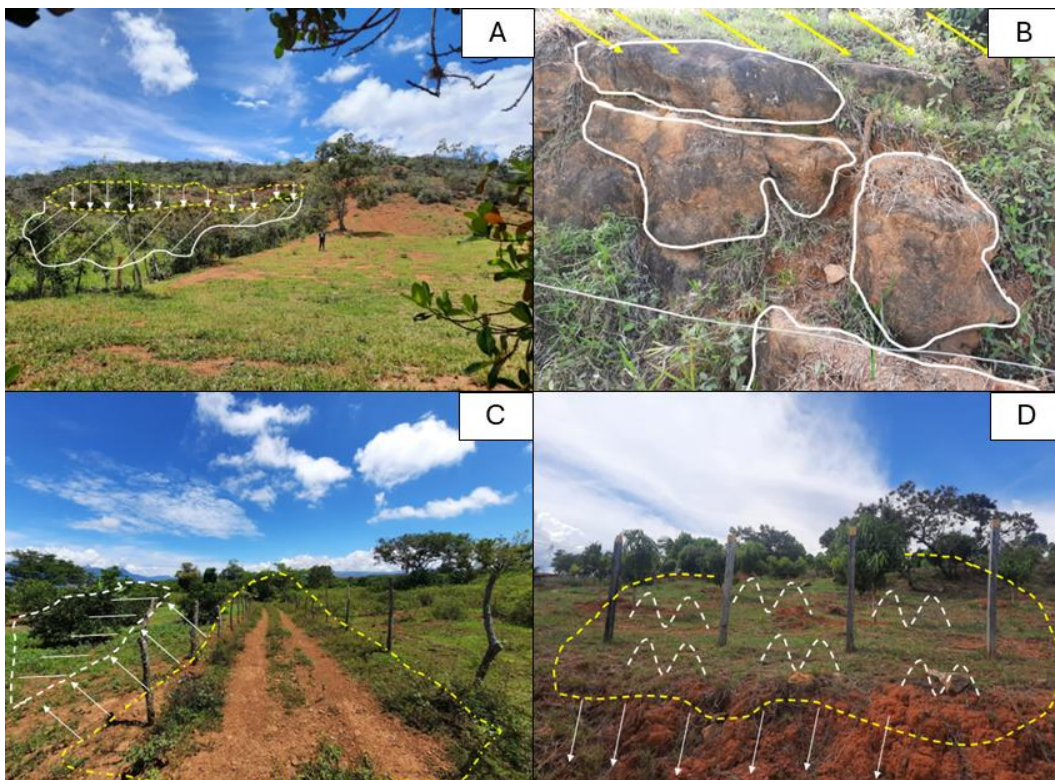
El flujo de tierra registrado en el sector rural de Villanueva ([Figura 13C](#)) fue determinado en una zona de materiales limo arenosos con escarpes de pendientes ligeramente planas a planas, con influencia hídrica y de uso extensivo del suelo por actividades de ganadería y agricultura. El movimiento cuenta con características de forma de lenguas y se apreció en campo la composición por suelo orgánico a suelo residual.

El movimiento de tipo reptación ([Figura 13D](#)) registrado en un sector de piedemonte cercano al Río Suárez mostró evidencias superficiales de grietas y desplazamiento del terreno, donde el relieve del sector es ondulado con laderas de longitudes cortas a moderadas y terrenos

dominados por depósitos coluviales sobre una unidad de roca blanda de las lodolitas fisiles de la Formación Simití.

Figura 13

Movimientos en masa representativos del suelo rural de Villanueva, Santander

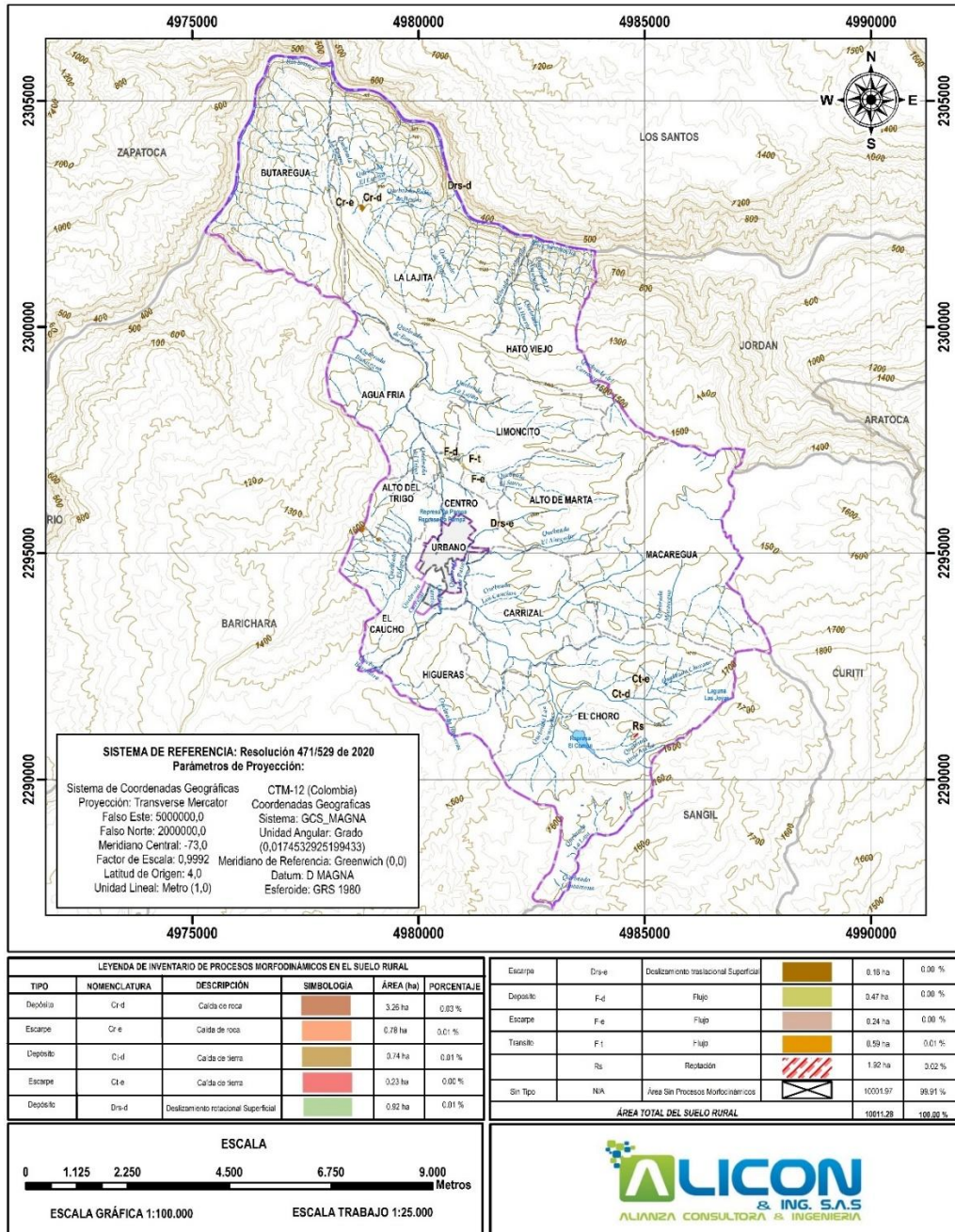


Nota. A). Deslizamiento rotacional (Vereda Agua Fría). B). Caída de rocas (Vía Villanueva – Vereda Hacienda Primavera). C). Flujo de tierra (Villanueva). D). Reptación (Cercanías Río Suarez).

A partir de los observado en el mapa del inventario de procesos morfodinámicos (Figura 14), se identificaron a las veredas La Lajita, Limoncito, Alto de Marta, Centro, Alto del Trigo, El Caucho, Carrizal, Macaregua, El Choro y el Centro Urbano del municipio como las zonas de mayor ocurrencia de movimientos en masa en Villanueva.

Figura 14

Mapa del inventario de procesos morfodinámicos del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000. Se muestran los tipos de movimientos en masa, sus partes y distribución en el área de estudio.

Relacionando esta información con los resultados observados de UGS, geomorfología y coberturas y uso del suelo, se pueden asociar los movimientos en masa identificados en la región a ambientes denudacionales y estructurales, donde las pendientes empinadas y UGS de suelos residuales, están mayormente relacionados a los deslizamientos rotacionales, flujos y caídas encontrados, mientras que, las reptaciones podrían tener una mayor ocurrencia en las coberturas de pastos intervenidas para actividades agrícolas.

7.3. Susceptibilidad por movimientos en masa

La zonificación de susceptibilidad total por movimientos en masa del área de estudio se llevó a cabo a partir de la relación de los factores condicionantes junto con los movimientos en masa registrados, para determinar las zonas que tienen mayor o menor probabilidad (susceptibilidad) a que ocurra otro movimiento.

En este proyecto se estimó la susceptibilidad para los siguientes tipos de movimientos: deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones, de los cuales la metodología utilizada depende del tipo de movimiento (SGC, 2017), donde la susceptibilidad por deslizamientos tuvo una metodología probabilística/estadística, las caídas y flujos un criterio geológico y geomorfológico y las reptaciones un método heurístico. Con base a esta información, se determinó la susceptibilidad total por movimientos en masa para el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander.

7.3.1. Susceptibilidad por deslizamientos

La susceptibilidad por deslizamientos se realizó con el método estadístico bivariado de “pesos de evidencia” (WofE - weight of evidence), como propone la guía metodológica del SGC (2017). En este caso, los factores condicionantes utilizados para el cálculo de la susceptibilidad

corresponden al inventario de procesos morfodinámicos, subunidades geomorfológicas, UGS, cambios y coberturas de la tierra, usos del suelo y morfometría.

El mapa de susceptibilidad por deslizamientos (Figura 15) muestra sectores del suelo rural de Villanueva con características favorables respecto a este tipo de movimientos en masa. El 71,02% del suelo rural presenta susceptibilidad baja, evidenciándose en todas las veredas, siendo más representativa en las veredas del sur de la región, como El Choro, Carrizal, Alto del Trigo, Macaregua, Alto de Marta, Agua Fría y Limoncito. Esta categoría se asocia a aquellas regiones con una baja densidad de deslizamientos, debido a condicionantes como pendientes planas y suelos de protección y conservación.

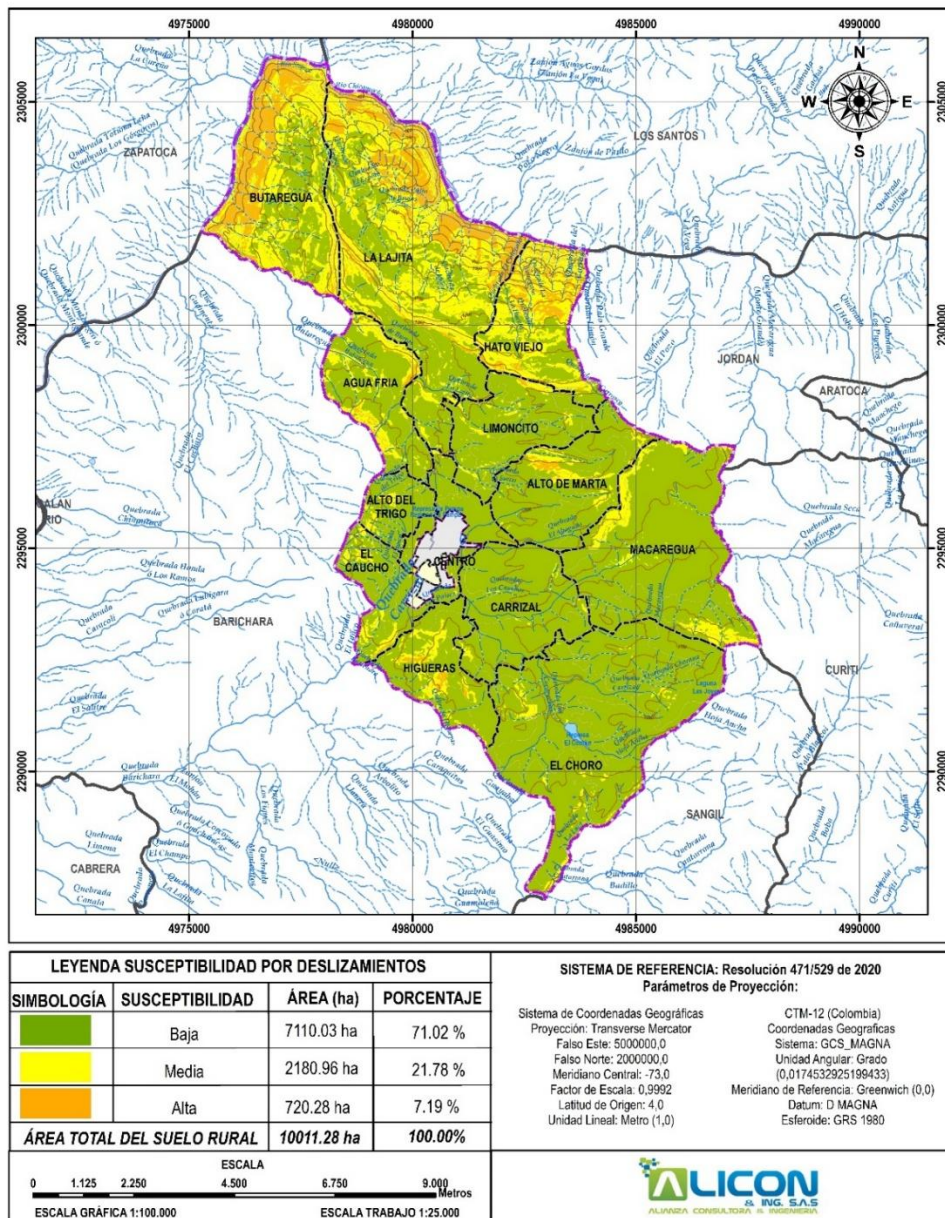
Por su parte, el 21,78% del suelo rural del municipio, presenta susceptibilidad media por deslizamientos, principalmente en las veredas La Lajita, Butaregua, Alto de Marta, Higueras, Hato Viejo y Macaregua. Estas zonas representan aquellas regiones donde hay una ocurrencia moderada de deslizamientos, pero los condicionantes presentes favorecen la aparición de futuros movimientos. Dichos condicionantes consisten en una morfometría de pendientes ligeramente empinadas a empinadas y zonas cóncavas, así como a zonas de mosaicos de pastos naturales y actividades agrosilvopastoriles.

Adicionalmente, se tiene que la susceptibilidad alta ocupa el 7,19% del municipio (Figura 15), encontrándose principalmente en las veredas Butaregua, La Lajita, Hato Viejo, Higueras y Alto de Marta. Esta categoría corresponde a aquellas zonas en donde se cartografiaron deslizamientos, en este caso de tipo rotacional, así como a regiones en las que los condicionantes favorecen una alta ocurrencia de movimientos, como lo son las pendientes fuertemente empinadas, los suelos de mayor intervención antrópica y en los que se ha dado pérdida de cobertura vegetal,

también a geoformas denudacionales, como los escarpes de erosión menor y a la unidad de roca blanda arenisca de la Formación Tablazo.

Figura 15

Mapa de susceptibilidad por deslizamientos del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

7.3.2. Susceptibilidad por caídas

La susceptibilidad por caídas se realizó mediante un método empírico basado en las unidades geomorfológicas indicativas de inestabilidad, lo cual se definió mediante la elaboración de cartografía directa, con el fin de identificar las posibles zonas de inicio y zonas de depósito.

Los insumos de factores condicionantes utilizados fueron el mapa de pendientes, mapa de subunidades geomorfológicas y mapa de UGS. En el caso de las pendientes, se consideran aquellas mayores a los 45°, mientras que, en las UGS, se asocian las unidades de suelo y roca, dependiendo de la pendiente y calidad de la unidad. Finalmente, se utilizaron las subunidades geomorfológicas indicativas de caídas definidas por el SGC (2017).

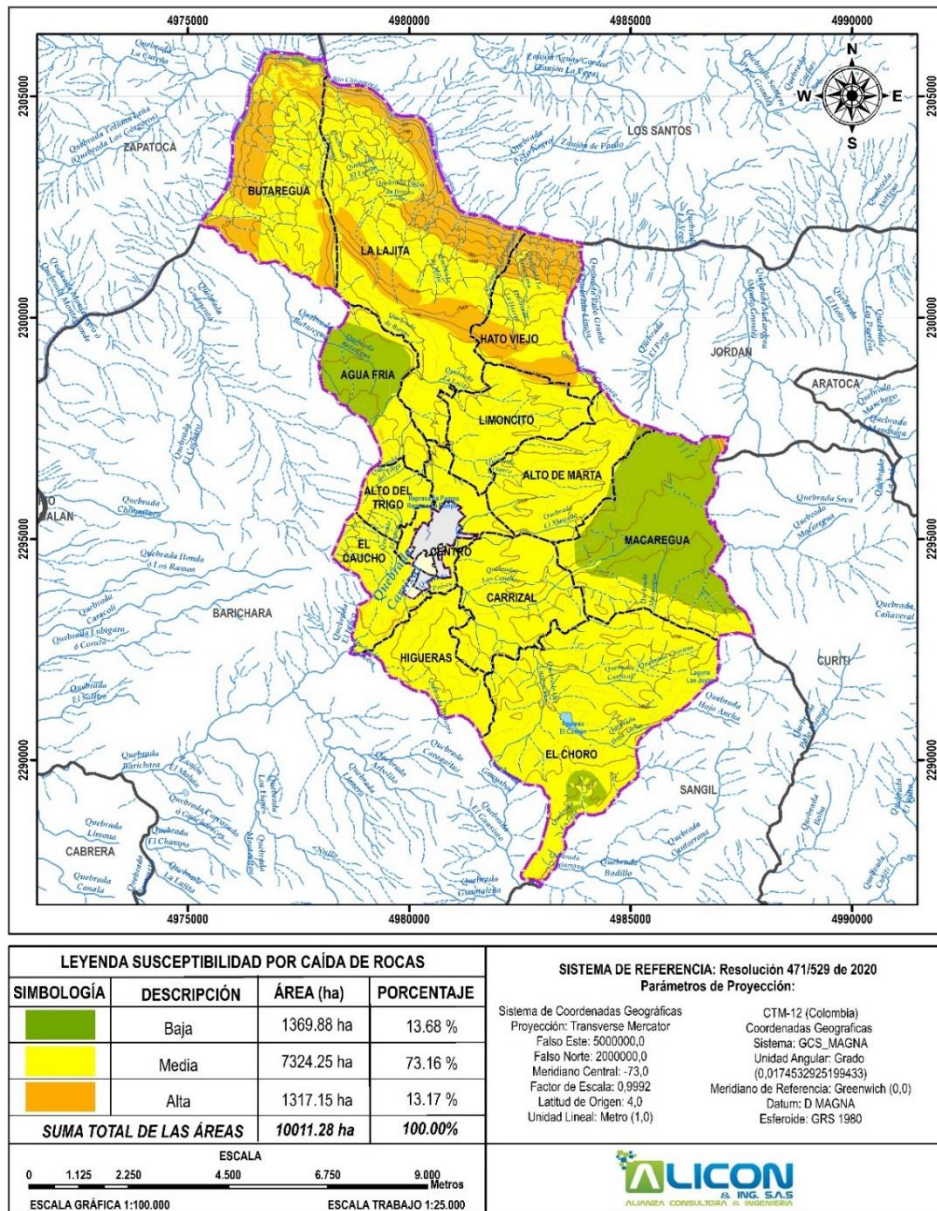
El mapa de susceptibilidad de movimientos de tipo caída del suelo rural de Villanueva, Santander (Figura 16) tiene una categoría de susceptibilidad baja del 13,68%, encontrándose en las veredas Macaregua y Agua Fría, que corresponde a todas aquellas zonas en donde las pendientes son menores a 45°. Seguidamente, la categoría de susceptibilidad media representa el 73,16% del área de estudio, evidenciándose principalmente en las veredas Limoncito, Alto del Trigo, Hato Viejo, La Lajita, Butaregua, Centro, Alto de Marta, El Choro, El Caucho, Higueras y Carrizal (Figura 16), y consiste en aquellas zonas con pendientes mayores a 45° y que cumplen con alguno de los requisitos de geomorfología o UGS.

Finalmente, la categoría de susceptibilidad alta cubre un área del 13,17% y se observa principalmente hacia el norte del municipio, en las veredas Hato Viejo, La Lajita y Butaregua (Figura 16). Esta categoría se compone de zonas altamente susceptibles a sufrir movimientos en masa de tipo caída, ya que cumplen con todas las condiciones evaluadas, siendo estas pendientes

mayores a 45°, presencia de subunidades geomorfológicas indicativas y una calidad baja o intermedia para los macizos rocosos.

Figura 16

Mapa de susceptibilidad por caídas del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

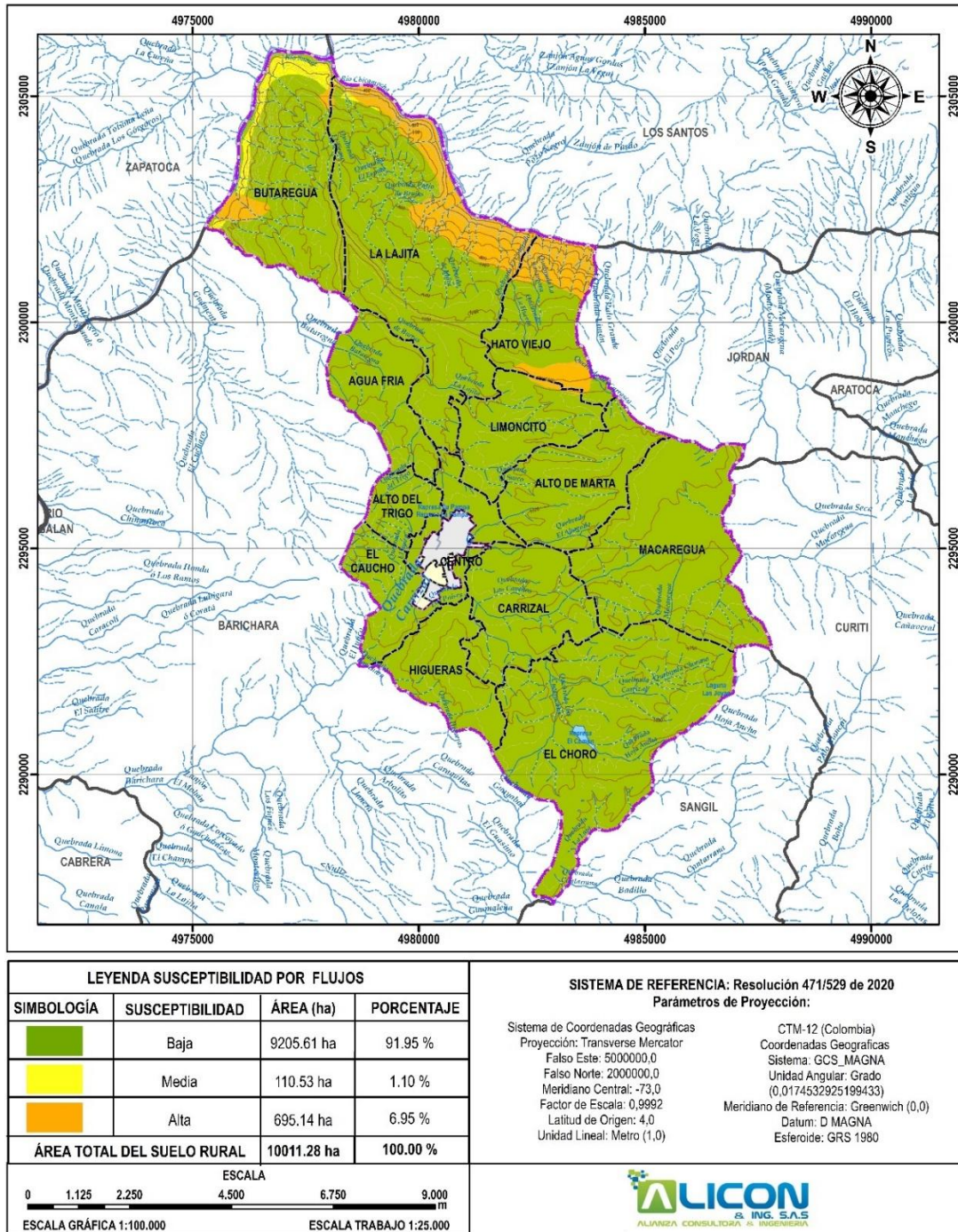
7.3.3. Susceptibilidad por flujos

El análisis de susceptibilidad de los movimientos en masa tipo flujo se realizó mediante criterios geomorfológicos, en los cuales se buscó identificar cuencas que cumplieran las siguientes características: cañones en v acompañados de geformas indicativas (SGC, 2017), pendientes longitudinales mayores a 12° y pendientes de cuenca entre 27° y 38° , así como cuencas con formas circulares y cuencas con un área entre 0,3 a 150 km².

El mapa de susceptibilidad por flujos del área de estudio (Figura 17) muestra que el 91,95% del suelo rural del municipio de Villanueva presenta una susceptibilidad baja, extendiéndose por todas las veredas, donde esta categoría corresponde a zonas que no cumplen con los criterios de pendientes y geomorfología definidos. Por otra parte, la susceptibilidad media se evidencia al norte del municipio (Figura 17), en las veredas Butaregua y La Lajita, ocupando un área del 1,10%, y consiste de aquellas zonas donde se cumplen los criterios definidos, pero no se han reportado movimientos de este tipo; mientras que, la categoría de susceptibilidad alta yace en algunos sectores de las veredas Butaregua, La Lajita y Hato Viejo, con un área del 6,95% del suelo rural de Villanueva (Figura 17), representando las zonas donde se han inventariado movimientos de este tipo y se cumplen las condiciones geomorfológicas y morfométricas definidas para las cuencas.

Figura 17

Mapa de susceptibilidad por flujos del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

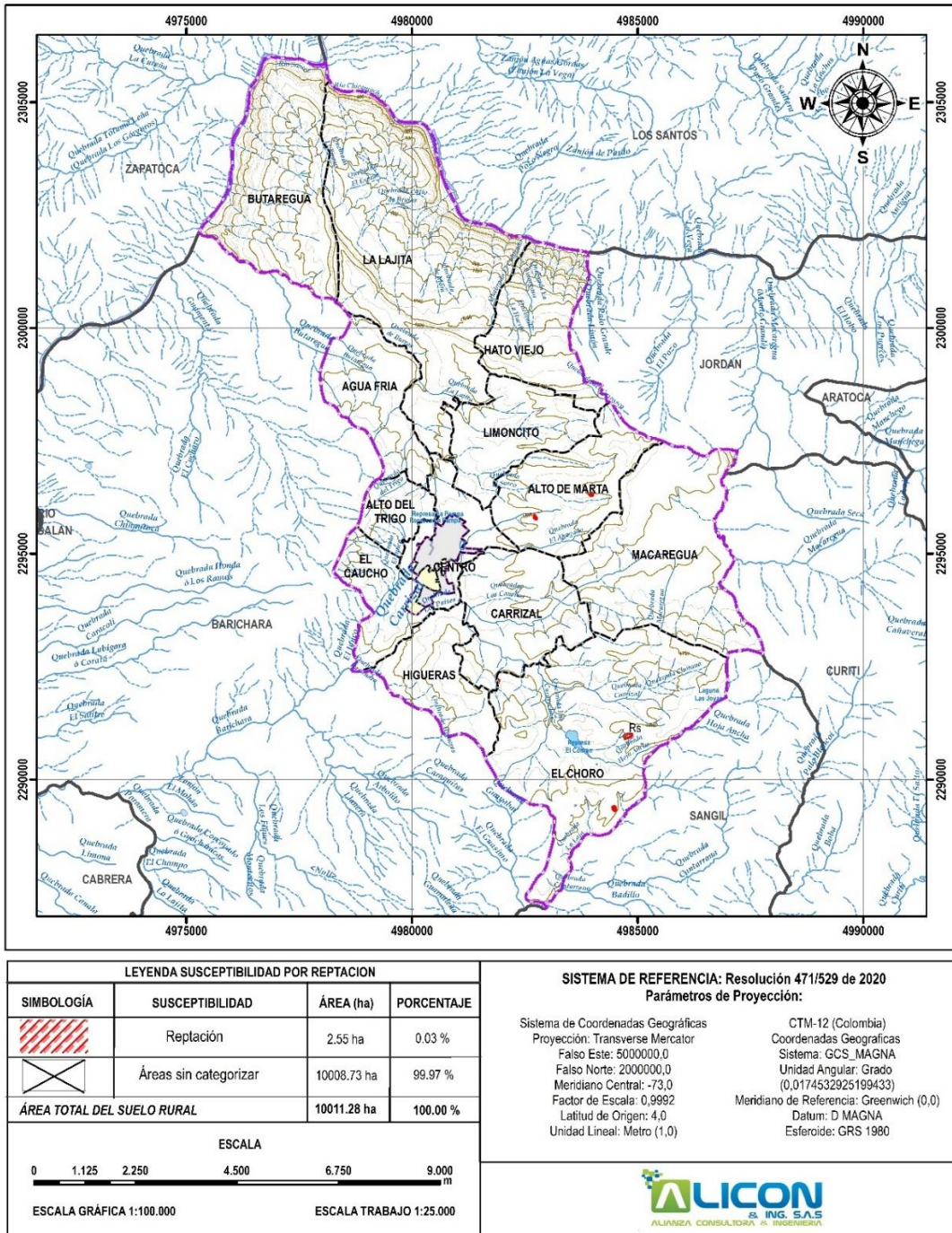
7.3.4. Susceptibilidad por reptaciones

Para el análisis de susceptibilidad por reptaciones se realizó la delimitación de las zonas afectadas del inventario de procesos morfodinámicos y en la geomorfología, por lo que solo se representan los movimientos en el mapa (Figura 18), sin recurrir a una categorización específica (SGC, 2017).

En la delimitación de la susceptibilidad por reptación se tomaron en cuenta tanto las evidencias encontradas en campo, como las observadas mediante fotointerpretación, donde esta última consistió en la identificación de micro relieves ondulados y troncos inclinados en dirección de la pendiente, junto con encharcamientos sobre suelos y depósitos. De este modo, se representó en el mapa de susceptibilidad por reptación (Figura 18) un total del 0,03% de procesos activos en el suelo rural de Villanueva, principalmente en las veredas Alto de Marta y El Choro, los cuales se asocian a zonas de cultivos agrosilvopastoriles y de intervención antrópica.

Figura 18

Mapa de susceptibilidad por reptaciones del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

7.3.5. Susceptibilidad total

La zonificación por susceptibilidad total por movimientos en masa comprende la superposición de los mapas elaborados para cada uno de los 4 tipos de movimientos en masa considerados en el presente estudio, para el cual se toma como base el mapa de susceptibilidad por deslizamientos, debido a la frecuencia con la que se presentan estos eventos en la región. En este caso, el mapa fue hecho estableciendo 3 categorías de susceptibilidad: baja, media y alta (Figura 19), siguiendo los parámetros establecidos por el SGC (2017).

La categoría de susceptibilidad baja ocupa un área del 11,75% del suelo rural, presentándose principalmente en las veredas Agua Fría y Macaregua (Figura 19). Esta corresponde a zonas de pendiente plana, donde no se identificaron subunidades geomorfológicas indicativas y la calidad de los macizos rocosos es buena. Además, son zonas en las que no se ha presentado pérdida de cobertura vegetal y las actividades agrícolas no son tan extensivas.

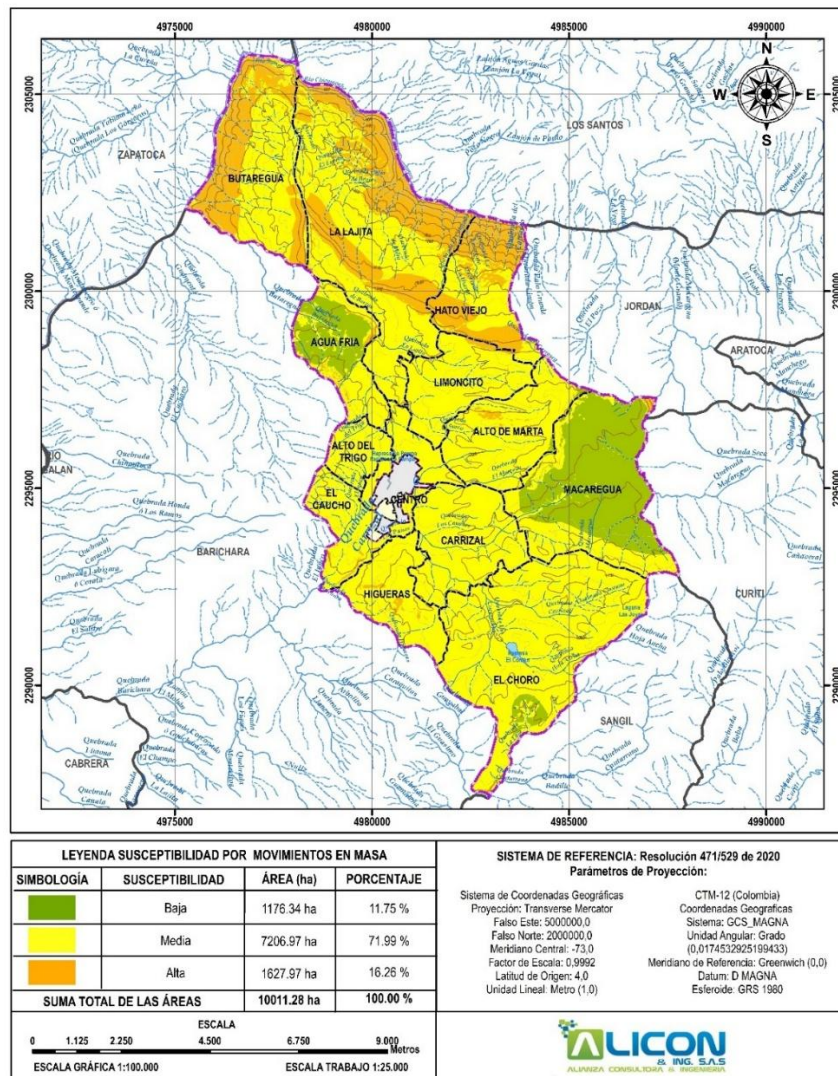
La categoría de susceptibilidad media es la que ocupa mayor extensión en el suelo rural, con un área equivalente al 71,99% y presencia en todas las veredas (Figura 19). Dicha categoría representa las regiones del municipio en donde las pendientes superan los 25°, se identifican coberturas de mosaicos de pastos y cultivos con espacios naturales y usos agrosilvopastoriles, además de encontrar subunidades geomorfológicas indicadoras de procesos morfodinámicos, que incluyen escarpes de erosión y laderas estructurales. Por otro lado, las UGS relacionadas a esta categoría corresponden a macizos rocosos de calidad intermedia a blanda, donde no necesariamente se han inventariado movimientos en masa, pero dadas las condiciones descritas, podría darse la ocurrencia de eventos.

Para finalizar, la categoría de susceptibilidad alta tiene una extensión del 16,27%, evidenciándose principalmente en las veredas Hato Viejo, La Lajita y Butaregua (Figura 19). En

estas categorías se clasifican las regiones con pendientes superiores a los 75°, con pérdidas de cobertura vegetal y actividades productivas extensivas, así como una fuerte intervención antrópica de los terrenos.

Figura 19

Mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa del suelo rural de Villanueva, Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

Por otro lado, las UGS indicativas de esta categoría de susceptibilidad corresponden a suelos residuales de saprolito y arcillo limosos, mientras que se relacionan en la ocurrencia de movimientos en masa aquellas zonas de mayor influencia estructural de las fallas de Las Burras, Las Clavelinas y Barichara, y el Sinclinal de Villanueva, donde las geoformas indicativas de eventos son los escarpes de erosión menor, laderas de contrapendiente y sierras sinclinales y anticlinales. Finalmente, se identificaron caídas de roca y deslizamientos rotacionales como los movimientos de mayor presencia en el suelo rural del municipio de Villanueva.

7.4. Amenaza por movimientos en masa

El cálculo de la amenaza por movimientos en masa se llevó a cabo a partir de un método de categorización y ponderación de los factores detonantes, según la influencia esperada en la generación de eventos, tomando como base el mapa de susceptibilidad total previamente estimado. De este modo, los detonantes considerados para el proyecto fueron precipitaciones (lluvia) y sismos, donde fue necesario determinar parámetros de probabilidad espacial y temporal, así como de magnitud, según lo establecido por la guía del SGC (2017).

7.4.1. Factores detonantes (*precipitaciones y sismos*)

La detonante precipitación corresponde a la cantidad total de lluvia, medida en milímetros, que se origina y registra en una región a lo largo de un año, siendo en este caso monitoreadas mediante las estaciones pluviométricas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2024). Para el proyecto, se consideraron los datos históricos de 6 estaciones pluviométricas (Tabla 6) identificadas dentro del área de influencia hídrica para el municipio de Villanueva.

Tabla 6

Estaciones meteorológicas del área de estudio.

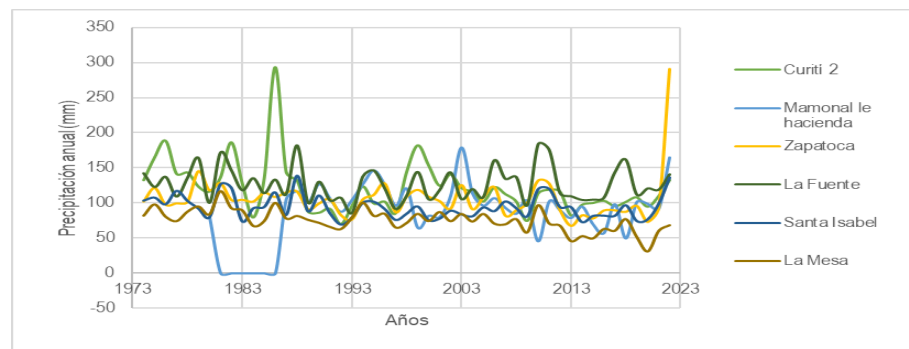
Estación	Coordenadas		Precipitación anual (mm)	Periodo
	Latitud	Longitud		
Santa Isabel	6,64	-73,20	1109,5	1974-2022
Curití 2	6,59	-73,05	1436,7	1974-2022
Zapatoca	6,79	-73,28	1228,2	1974-2022
La Fuente	6,70	-73,28	1501,9	1974-2022
Mamonal la hacienda	6,58	-73,10	1185,4	1980-2022
La Mesa	6,76	-73,09	896,2	1974-2022

Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

De manera complementaria, se graficaron las precipitaciones anuales históricas (Figura 20) de las estaciones pluviométricas establecidas (Tabla 6), considerando el rango de tiempo de 1973 a 2023. A partir de esta información se puede observar la variabilidad climática del área de estudio, identificando precipitaciones extremas en la estación Curití 2 para el año 1986 y en la estación Zapatoca para el año 2023, mientras que la Estación La Mesa presenta los valores más bajos de precipitación en el registro histórico de la zona (Figura 20) y el intervalo de 1983-1986 para la estación Mamonal La Hacienda corresponde a un periodo de no registro de datos.

Figura 20

Precipitaciones anuales históricas de las estaciones pluviométricas de Villanueva, Santander

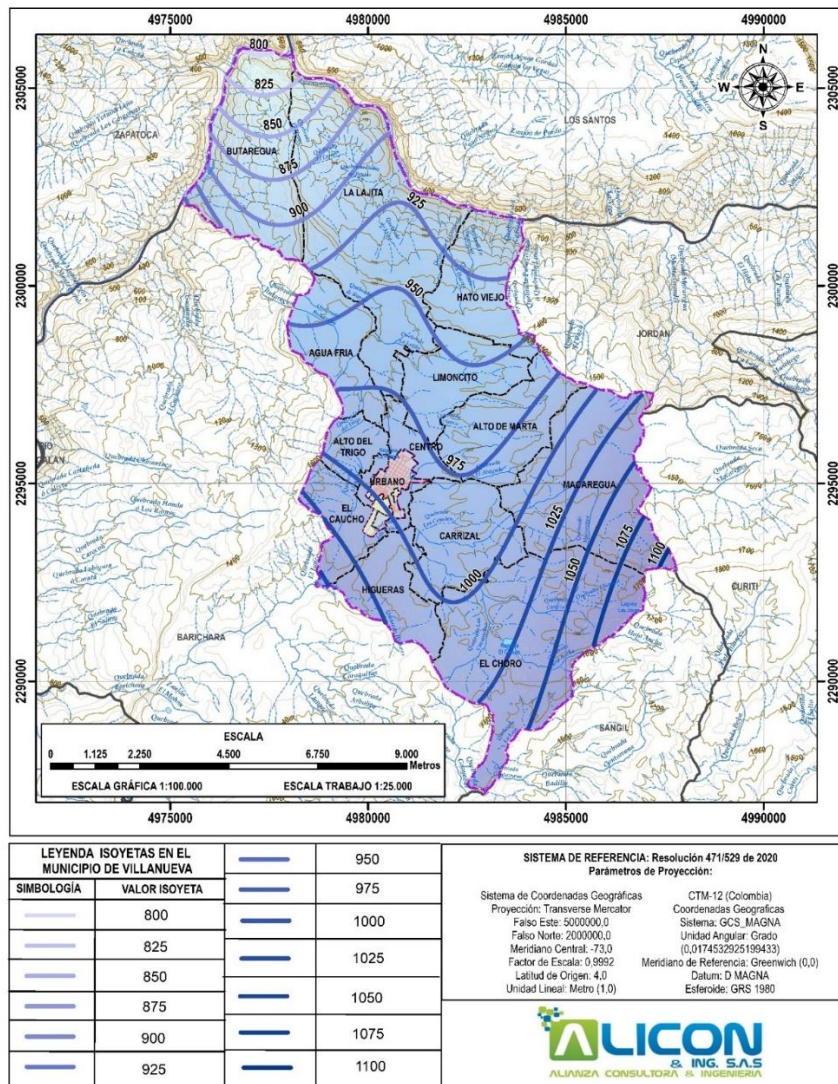


Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

Finalmente, esta variabilidad climática se puede atribuir al ciclo del fenómeno del Niño/Niña y las condiciones hidrológicas propias de la cuenca de la zona de estudio, donde la distribución espacial de los valores de precipitación anual se puede apreciar en el mapa de isoyetas de la Figura 21.

Figura 21

Mapa de isoyetas del suelo rural de Villanueva Santander.



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

El detonante sismo fue evaluado a partir de los valores de aceleración sísmica del municipio de Villanueva establecidos en el mapa “Zonas Amenaza NSR-10” (SGC, 2020). Por tal motivo, la aceleración sísmica correspondiente al municipio de Villanueva es de 0,2 g, la cual está dentro de la categoría alta por amenaza sísmica (Tabla 7).

Tabla 7

Zonificación de amenaza sísmica NSR-10 de Villanueva, Santander.

Municipio	Código municipio	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
Villanueva	68872	0,20	0,25	Alta	0,11	0,07

Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

El valor de aceleración sísmica se reclasificó en valores de 1 a 5 (Tabla 8), donde 5 representa el valor más crítico, con el fin de estandarizar la información correspondiente al detonante sismo y facilitar su incorporación al modelo de amenaza.

Tabla 8

Categorización del detonante sismo para la amenaza por movimientos en masa.

CATEGORIZACIÓN	ACELERACIÓN SÍSMICA (g)	CALIFICACIÓN
Baja	< 0,10	1
Intermedia	0,10 – 0,20	3
Alta	> 0,20	5

Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000

7.4.2. Mapa de amenaza por movimientos en masa

El análisis de detonantes y resultados de susceptibilidad total para el suelo rural del municipio de Villanueva, Santander son los insumos necesarios para realizar la determinación de la amenaza por movimientos en masa. Mediante el uso de álgebra de mapas se tuvo en cuenta la siguiente ecuación para su estimación

$$H_{mm} = (St) * 80\% + (Fp) * 10\% + (Fs) * 10\%$$

Donde:**Hmm:** Amenaza por movimientos en masa**St:** Susceptibilidad por movimientos en masa**Fp:** Detonante precipitación**Fs:** Detonante sismo

Como resultado de esta ecuación se obtiene como resultado un rango de valores entre 1 y 5, los cuales se reclasificaron en las categorías de amenaza baja, media y alta, como se muestra en la siguiente [Tabla 9](#).

Tabla 9

Categorías de amenaza por movimientos en masa.

Índice	Categoría de amenaza
1 – 2,29	Baja
2,30 – 3,49	Media
3,50 - 5	Alta

Nota. Categorías de amenaza definidas por el SGC (2017).

Para el presente proyecto se determinaron dos escenarios de amenaza, con el fin de obtener un modelo con la información base encontrada y un segundo modelo que estime eventos de amenaza a partir de valores extremos de los detonantes considerados.

El mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa para el escenario 1 tiene una categoría de amenaza baja del 11,78% del suelo rural, evidenciándose en las veredas Macaregua y Agua Fría ([Figura 22](#)). Esta categoría corresponde a zonas de probabilidad baja de presentar eventos, siendo zonas de pendientes bajas, suelos con alta resistencia al corte y macizos rocosos de calidad alta, así como coberturas de tierras naturales y usos adecuado del suelo, con ganancias de cobertura vegetal y una geomorfología que favorece mantener la estabilidad de los

taludes. En caso de presentarse movimientos en masa, se esperarían deslizamientos, flujos, caídas y/o reptaciones que afecten territorios agrícolas y artificializados.

La categoría de amenaza media abarca el 72,24% del suelo rural y se extiende a lo largo de todo el municipio (Figura 22). Esta consiste en zonas de probabilidad media de ocurrencia de movimientos en masa, presentando una combinación de factores que afectan la estabilidad de las laderas, entre ellas las pendientes moderadas a altas (superiores a 25°), coberturas de mosaicos de pastos y cultivos, y macizos rocosos de calidad intermedia a blanda y suelos residuales de saprolito y arcillo limosos, que son susceptibles a la infiltración de agua y a la pérdida de cohesión.

Debido a estos factores mencionados, los movimientos en estos sectores pueden ser detonados por acumulación de agua a nivel subsuelo por periodos de precipitaciones prolongadas, actividad sísmica y/o intervención antrópica. Por lo tanto, en esta zona se esperan deslizamientos, flujos, caídas y/o reptaciones que afecten coberturas de tierras naturales, como bosques, arbustales y herbazales, junto con territorios agrícolas, que incluyen mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales, y centros poblados rurales.

La categoría de amenaza alta presenta una extensión del 15,98% del suelo rural, encontrándose principalmente en las veredas Hato Viejo, Butaregua y La Lajita (Figura 22). Esta categoría representa zonas con alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, debido a la presencia de pendientes altas (superiores a 75°), subunidades geomorfológicas indicativas de procesos morfodinámicos activos, como escarpes de erosión menor, laderas de contrapendiente y sierras sinclinales y anticlinales, curvaturas cóncavas, pérdida de cobertura vegetal, y predominio de suelos residuales de saprolito y arcillo limosos, caracterizados por su baja resistencia y alta susceptibilidad a la saturación de agua, así como macizos rocosos de calidad blanda o alterados, que presentan poca cohesión y son propensos a la fracturación y deslizamiento. También, es

importante destacar la influencia de fallas geológicas activas, como las fallas de Las Burras, Las Clavelinas y Barichara

En este caso, los detonantes actúan por periodos de precipitación intensa y prolongada, actividad sísmica e intervención antrópica extensiva e inadecuada. Dentro de esta categoría se esperan deslizamientos, flujos, caídas y/o reptaciones en bosques, arbustales y herbazales y en territorios agrícolas, junto con infraestructuras y centros poblados rurales.

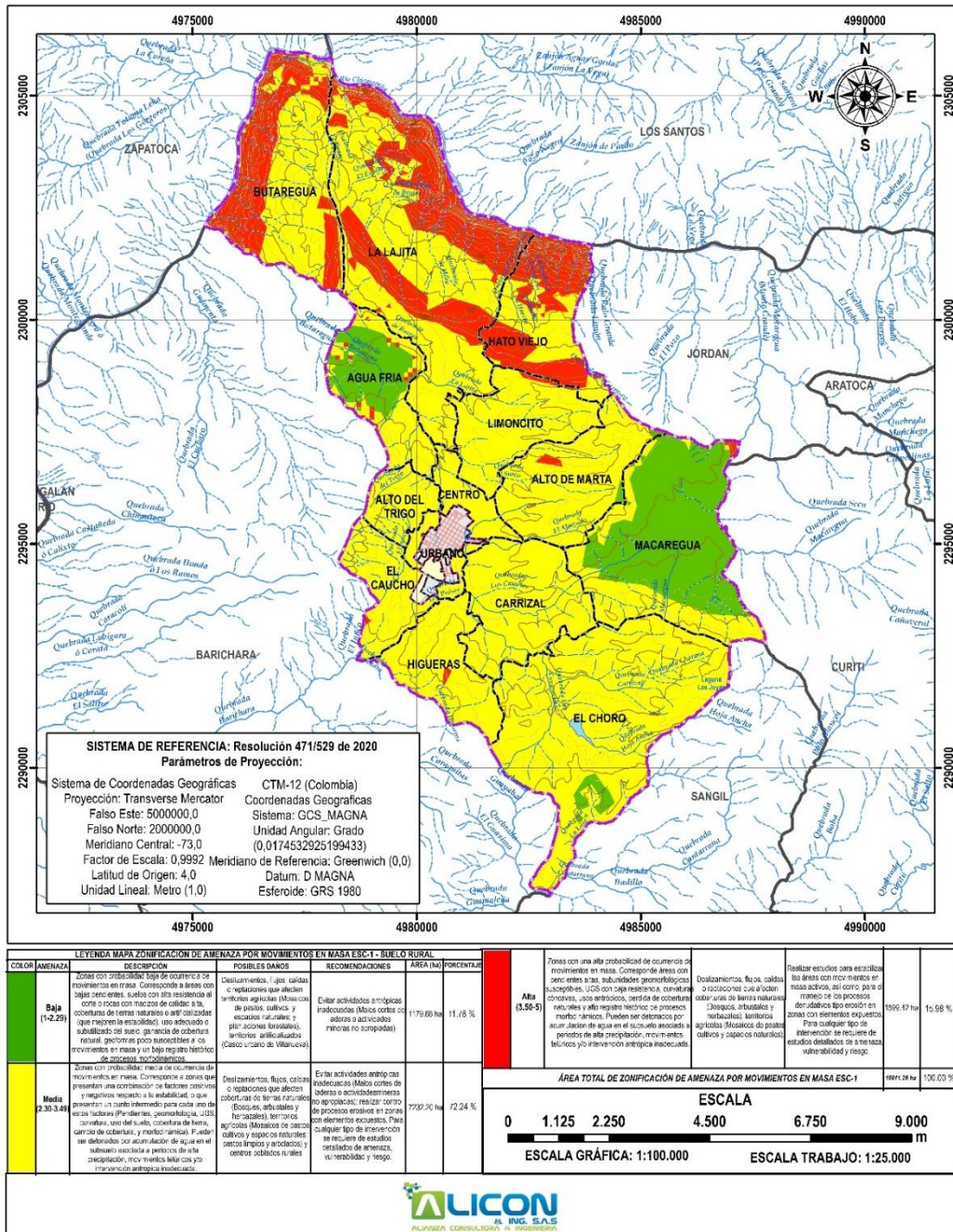
El mapa de amenaza por movimientos en masa para el escenario 2 presenta una categoría baja con una extensión del 11,84% del suelo rural del municipio, encontrándose principalmente en las veredas Macaregua y Agua Fría (Figura 23). En esta categoría se encuentran aquellas áreas con probabilidad baja de movimientos en masa debido a presentar pendientes menores, escasa actividad geológica reciente, suelos con alta resistencia al corte y un uso adecuado del suelo. Además, son zonas con pocos antecedentes de ocurrencia de movimientos en masa, que, en caso de llegar a ocurrir, afectarían territorios agrícolas y artificializados en las veredas donde se manifiestan.

La categoría de amenaza media por movimientos en masa en este escenario es del 72,06% del suelo rural, extendiéndose por todo el municipio y representando zonas con probabilidad media de movimientos en masa (Figura 23). Las características de la amenaza media son pendientes moderadas, geoformas indicativas de ambientes estructurales y denudacionales, usos agrosilvopastoriles del suelo y macizos rocosos de calidad intermedia, donde la ocurrencia de movimientos podría afectar terrenos agrícolas y centros poblados de los sectores rurales del municipio y estos se esperan que sean detonados en eventos de precipitación prolongada y actividad sísmica, con influencia del uso inadecuado del suelo.

Figura 22

Mapa de amenaza por movimientos en masa (escenario 1) del suelo rural de Villanueva,

Santander



Nota. Elaborado con insumos a escala 1:25.000.

Finalmente, la categoría de amenaza alta cubre el 16,07% del suelo rural del municipio de Villanueva, se encuentra principalmente en las veredas Hato Viejo, Butaregua y La Lajita (Figura 23). En esta categoría están las zonas de alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, cubriendo las zonas donde se tienen antecedentes de eventos, según lo encontrado en el inventario de procesos morfodinámicos. Esta categoría representa la presencia de las condiciones de inestabilidad identificadas para la zona de estudio, tales como pendientes mayores a los 75°, curvaturas cóncavas, pérdidas de cobertura vegetal, subunidades geomorfológicas de escarpes de erosión y laderas de contrapendiente y sierras sinclinales. Dentro de esta categoría se esperan deslizamientos, flujos, caídas y/o reptaciones en bosques, arbustales y herbazales y en territorios agrícolas de las veredas mencionadas, donde se espera que estos eventos sean detonados por eventos de precipitación extrema (precipitaciones anuales superiores a los 1400 mm) asociados a la variabilidad climática de la región y a la actividad sísmica propia de la misma.

8. Conclusiones

La delimitación del suelo rural en el municipio de Villanueva, Santander estableció un área de 10.011,28 hectáreas para suelo rural, 115,19 hectáreas para suelo urbano y 38,34 hectáreas destinadas a suelo de expansión urbana. Se identificaron 13 veredas, así como los principales drenajes, entre ellos las quebradas Macaregua y Carrizal. Además, se determinó que la zona de mayor elevación del municipio se encuentra en el sector sur, alcanzando altitudes entre 1600 y 1700 msnm.

La caracterización geoambiental del suelo rural de Villanueva, Santander, permitió identificar 27 Unidades Geológicas Superficiales (UGS), donde las lutitas muy blandas de la Formación Simití y los suelos residuales arcillo limosos de la Formación Paja son las unidades más relevantes, asociadas a procesos de inestabilidad. Además, estructuras como el Sinclinal de Villanueva y fallas activas como Las Burras y Las Clavelinas influyen en la distribución y comportamiento de las UGS. Por otro lado, se encontraron 22 subunidades geomorfológicas, definiendo a las de ambiente denudacional como las más comunes en la zona y asociando pendientes empinadas y curvaturas cóncavas a la ocurrencia de movimientos en masa. En el caso de las coberturas de tierra, se encontraron 14, siendo los territorios agrícolas los de mayor predominancia, con una fuerte presencia de mosaicos de cultivos y pastos. Finalmente, se registraron 58 movimientos en masa, principalmente caídas y deslizamientos rotacionales, concentrados en veredas como La Lajita, Limoncito y Alto de Marta.

A partir de los resultados del mapa de susceptibilidad total por movimientos en masa generado para el área de estudio, se encontró que la susceptibilidad baja se asocia a zonas de pendientes planas, con buena calidad de macizos rocosos y baja intervención antrópica,

principalmente en las veredas Agua Fría y Macaregua. La susceptibilidad media, la más extendida, abarca áreas con pendientes superiores a 25°, coberturas de mosaicos de pastos y cultivos, y macizos rocosos de calidad intermedia, presentes en todas las veredas. Finalmente, la susceptibilidad alta se concentra en zonas con pendientes superiores a 75°, pérdida de cobertura vegetal y suelos residuales de baja resistencia, principalmente en las veredas Hato Viejo, La Lajita y Butaregua.

La zonificación de amenaza por movimientos en masa en el suelo rural de Villanueva, Santander, permitió definir dos escenarios de amenaza: escenario 1 (condiciones base) y escenario 2 (eventos extremos). En el primer escenario, la amenaza baja se localiza en zonas de pendientes suaves, suelos estables y coberturas naturales, principalmente en las veredas Macaregua y Agua Fría. La amenaza media, la más extendida, abarca áreas con pendientes moderadas a altas, coberturas agrícolas y suelos residuales de calidad intermedia, susceptibles a movimientos en masa detonados por lluvias prolongadas, actividad sísmica o intervención antrópica. La amenaza alta se concentra en zonas con pendientes superiores a 75°, pérdida de cobertura vegetal y suelos de baja resistencia, principalmente en las veredas Hato Viejo, Butaregua y La Lajita.

En el escenario 2 de amenaza, se encontró que la distribución de las categorías de amenaza es similar, con un ligero aumento en la amenaza alta (16,07%). Este escenario destaca la esperada mayor ocurrencia de eventos en las zonas con pendientes pronunciadas y curvaturas cóncavas ante precipitaciones extremas (superiores a 1400 mm anuales) y actividad sísmica, lo que podría desencadenar deslizamientos, flujos, caídas y reptaciones en áreas agrícolas y centros poblados rurales de las veredas Hato Viejo, Butaregua y La Lajita.

9. Recomendaciones

Se recomienda profundizar en el monitoreo de las variables climáticas y sísmicas, ya que el estudio de factores detonantes puede verse limitado por la falta de cobertura de estaciones pluviométricas en el área de estudio, así como de estudios más localizados con respecto a la actividad sísmica de la región. Del mismo modo, se sugiere actualizar y complementar el inventario de procesos morfodinámicos, el cual es un insumo esencial en este tipo de estudios.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Villanueva. (2017). *Plan de Gestión del Riesgo de Desastres Municipal—PMGRD Villanueva*. Alcaldía Municipal de Villanueva. https://alcaldiavn.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiavn/content/files/000393/19625_pmgrd_2017_villanueva-sder.pdf
- ALICON & ING. S.A.S. (2024). *Nosotros – Alianza Consultora Ingeniería*. AliconIngeniería.com. <https://aliconingenieria.com/nosotros/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA]. (2018). *Metodología General para la elaboración y presentación de estudios ambientales*. Ministerio de Ambiente de Colombia. https://www.anla.gov.co/01_anla/documentos/normativa/manuales_guias/metodologia_estudios_ambientales_2018_0.pdf
- Becerra, L. (2021). *¿Conozcamos los movimientos en masa! Una amenaza latente en el territorio colombiano – ACGGP / Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos de la Energía*. <https://www.acggp.org/conozcamos-movimientos-en-masa-una-amenaza-latente-territorio-colombiano/>
- 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 Regional de Boyacá. (2020, noviembre 27). *ABC Lo que debes saber sobre los movimientos en masa*. Corpoboyacá. <https://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/abc-lo-que-debes-saber-sobre-los-movimientos-en-masa/>

- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2018). Fase aprestamiento. En *Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Medio y Bajo Suarez (2401-02)*. <https://www.car.gov.co/vercontenido/2601>
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. *Special Report - National Research Council, Transportation Research Board, 247*, 36–57.
- Cuervo, G. V. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37), Article 37.
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP). (2014). *Decreto 1807 de 2014—Gestor Normativo*. Función pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>
- Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP). (2015). *Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- 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 - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024). *Geoportal—IDEAM* [Portal de datos]. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC. (2024). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:25.000 - Colombia en mapas*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=->

82.43784778320864,-0.17644239911865092,-

71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=206

Luna, J., & Delgado, L. (2012). *Potencial hidrocarburífero de las formaciones del grupo calcáreo basal en el municipio de Villanueva. Departamento de Santander. Colombia* [Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander].

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21750.86089>

Ministerio de Defensa Nacional de Ecuador. (2012). Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa. En *Proyecto: "Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000* (p. 48).

Pulido, O. (1979). *Geología de las Planchas 135 San Gil, y 151 Charalá; 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>

Sánchez, O., & Aristizábal, E. (2017). *Análisis de los impactos por movimientos en masa en Colombia*. XVI Congreso Colombiano de Geología.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2016). *Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100 000: Plancha 135—San Gil* (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ed.). Servicio Geológico Colombiano (SGC).

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). (2024). *Evaluación de Amenaza por Movimientos en*

Masa. SGC. Recuperado el 19 de julio de 2024, de

<https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Evaluacion-de-Amenaza-por-Movimientos-en-Masa.aspx>

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>