






Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson modificado para el corregimiento de Chemesquemena (Cesar, Colombia)

Analysis of susceptibility by mass movements implementing the modified Mora-Vahrson method for the district of Chemesquemena, Cesar, Colombia

Valentina Ortiz Maestre ¹, Cenellys Carolina Polo Mendoza ², Diana Isabel Giraes Puerta ³ y Dino Carmelo Manco Jaraba ⁴

Fecha de Recepción: 16 de septiembre de 2022

Fecha de Aceptación: 24 de marzo de 2023

Cómo citar: Ortiz-Maestre V, Polo-Mendoza C, Giraes-Puerta D, Manco-Jaraba D. Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson modificado para el corregimiento de Chemesquemena (Cesar, Colombia). *Tecnura*, 27(77), xx-xx. <https://doi.org/10.14483/22487638.19951>

Abstract

Objective: Analyze the susceptibility of the slopes to the occurrence of mass movements, implementing the Mora-Vahrson methodology adapted for the district of Chemesquemena located within the Kankuamo indigenous reservation, department of Cesar (Colombia).

Methodology: Initially a review of the state of the art was carried out in academic and scientific databases. Subsequently, field phases were carried out to take samples of rock, soil and cartographic survey at a scale of 1:100.000, allowing to know and identify the geological, geomorphological aspects and general characteristics. With the ArcGIS software, the images were analyzed using digital elevation models (3D effect), in the processing, maps at a scale of 1:100.000 were obtained.

Results: The areas with the greatest susceptibility are located to the NW of the district of Chemesquemena (Colombia), representing 70 % of the total areas due to high slopes, high rainfall, lithology, soil type, vegetation cover, permanent crops and subunits. geomorphological such as denuded mountain ranges and residual hills; and 30 % low to very low susceptibilities.

Conclusions: The conditioning factors that generate the greatest influence on susceptibility correspond to the lithology, high slopes characteristic of the land, permanent crops and grass as the main cover. The lithological units

¹Ingeniera geóloga. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Email: ortizmaestrevalentina20@gmail.com

²Ingeniera geóloga. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Email: cenellysp@gmail.com

³Ingeniera geóloga. Docente de planta. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Email: dgirales@areandina.edu.co

⁴M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones. Ingeniero de minas. Docente ocasional y Universidad de La Guajira. Email: dcmancoj@uniguajira.edu.co

were classified mainly as intrusive igneous rocks with an advanced state of alteration, generating weakening of the materials. Crops require periodic irrigation systems, resulting in a constant supply of water to soils and slopes (over-saturation), and changes in mechanical properties; In addition, the grass does not contribute to favoring the stability of the soil.

Financing: Fundación Universitaria del Área Andina.

Keywords: Colombia, Chemesquemena, Mora-Vahrson method, Mass movements, Susceptibility.

Resumen

Objetivo: Analizar la susceptibilidad de las laderas frente a la ocurrencia de movimientos en masa, con la implementación de la metodología Mora-Vahrson adaptada para el corregimiento de Chemesquemena, ubicado dentro del Resguardo Indígena Kankuamo, departamento del Cesar (Colombia).

Metodología: Inicialmente se realizó revisión del estado del arte en bases de datos académicas y científicas. Luego, se realizaron fases de campo para toma de muestra de roca, suelo y levantamiento cartográfico a escala 1:100 000; de esta manera se conocieron e identificaron los aspectos geológicos, geomorfológicos y características generales. Con el *software ArcGIS* se analizaron las imágenes mediante modelos de elevación digital (efecto 3D), en el procesamiento, se obtuvieron mapas a escala 1:100 000.

Resultados: Las zonas con mayor susceptibilidad se localizan hacia el noroeste del corregimiento de Chemesquemena (Colombia), las cuales representan el 70 % de las áreas totales debido a las altas pendiente, alta pluviosidad, litología, tipo de suelo, cobertura vegetal, cultivos permanentes y subunidades geomorfológicas como sierras desnudas y colinas residuales; y el 30 % susceptibilidades bajas a muy bajas.

Conclusiones: Los factores condicionantes que generan mayor influencia de susceptibilidad corresponden a la litología, altas pendientes características del terreno, cultivos permanentes y pasto como cobertura principal. Las unidades litológicas fueron clasificadas mayoritariamente como rocas ígneas intrusivas en avanzado estado de saprolitización que producen debilitamiento de los materiales. Los cultivos requieren sistemas de riegos periódicos, lo que implica un aporte constante de agua a los suelos y taludes (sobresaturación), y una alteración en las propiedades mecánicas; además, el pasto no favorece la estabilidad de los suelos.

Financiamiento: Fundación Universitaria del Área Andina.

Palabras clave: Chemesquemena, Colombia, método Mora-Vahrson, movimientos en masa, Susceptibilidad.

Tabla de contenidos

| | Página |
|---|--------|
| Introduction | 3 |
| Metodología | 4 |
| Resultados | 6 |
| Parámetros utilizados para el cálculo de la susceptibilidad | 6 |
| Factor pendiente | 6 |
| Geología regional | 6 |
| Geología local | 6 |

| | |
|--|-----------|
| Batolito de Atánquez (ja) | 7 |
| Aluviales recientes (qal) | 9 |
| Factor geomorfología | 9 |
| Factor de uso y cobertura del suelo | 11 |
| Susceptibilidad por elementos pasivos | 11 |
| Factor precipitación | 12 |
| Factor sismicidad | 12 |
| Susceptibilidad por elementos activos | 13 |
| Susceptibilidad del corregimiento de Chemesquemena | 13 |
| Ensayos de suelo | 17 |
| Conclusiones | 18 |
| Financiamiento | 19 |
| Referencias | 19 |

INTRODUCTION

El aumento de la población, la exigencia de usos de suelo y la inoperancia por parte de las autoridades gubernamentales han causado un desarrollo urbanístico incalculable y descontrolado, lo cual produce la ocupación de terrenos susceptibles a fenómenos de remoción en masa que pueden tener potencial de pérdidas humanas, económicas y materiales ([Aristizábal et al., 2019](#); [Vargas-Cuervo, 2000](#); [Galindo Serrano y Alcántara Ayala, 2015](#); [Ayala y García, 2008](#); [Moro et al., 2006](#); [Quintana-Cabeza et al., 2022](#)). Los movimientos en masa han sido definidos como desplazamientos del terreno a favor de la pendiente que suelen generarse por acción de la fuerza de gravedad e inestabilidad de los taludes, bajo la influencia de algunos factores geológicos, ambientales, sociales, antrópicos, como el agua, actividades sísmicas, la aplicación de carga excesiva, excavaciones para la adecuación de viviendas o la apertura de senderos y vías, entre otros. Según [Cruden \(1991\)](#), cuando se habla de *movimientos en masa* se refiere principalmente a todo proceso ladera abajo de una masa ya sea de detritos o rocas. “Estos movimientos producen cambios visibles en el terreno como grietas, hundimientos e incluso desprendimientos de grandes cantidades de material, de ahí que puedan ocasionar la destrucción y el posible deterioro de la infraestructura pública” ([Alcaldía de Medellín., 2020](#)).

El departamento del Cesar se encuentra constituido por accidentes geográficos, entre ellos la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y la serranía del Perijá (SP); por tanto, el Cesar en conjunto con otros departamentos de la región Caribe se encuentran ubicados en zonas categorizadas como susceptibles a la ocurrencia de procesos geológicos asociados a la geodinámica externa ([López et al., 2020](#)). Según [Serpa-Silva \(2017\)](#), “en el flanco oeste de la SNSM los proce-

Los movimientos en masa no surgen espontáneamente, al contrario, el tiempo es el factor más importante, junto con otras variables (litología, lluvias, erosión) que en conjunto forman un escenario propicio para el desencadenamiento del desastre". Este estudio tiene como objetivo analizar la susceptibilidad de las laderas frente a la ocurrencia de movimientos en masa, a través de la metodología Mora-Vahrson adaptada para el corregimiento de Chemesquemena ubicado dentro del Resguardo Indígena Kankuamo, departamento del Cesar (Colombia) (figura 1).

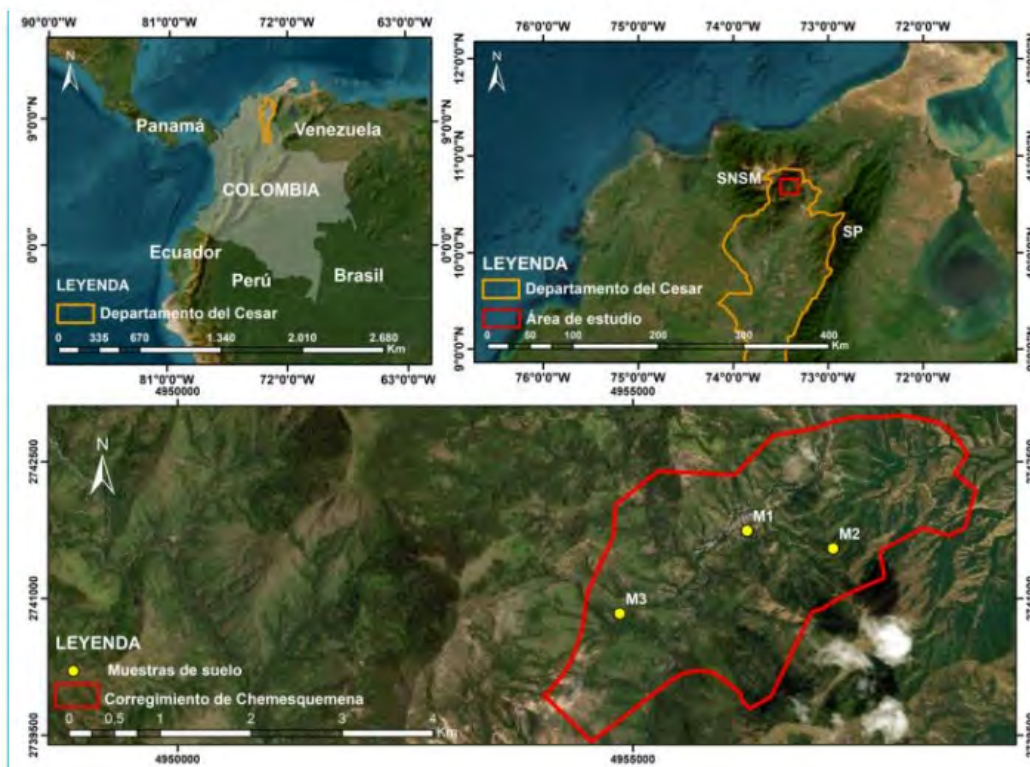


Figura 1. Localización del área de estudio

METODOLOGÍA

Inicialmente se efectuaron revisiones del estado del arte en bases de datos académicas y científicas, así como la consulta de antecedentes relacionadas con eventos de susceptibilidad ocurridos en el área de estudio. Posteriormente, se adelantaron fases de campo para toma de muestra y levantamientos cartográficos a escala 1:100 000; de esta manera se conocieron e identificaron aspectos geológicos, geomorfológicos y características generales propuestas por la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Carvajal Perico, 2012a; Carvajal Perico, 2012b). Se tomaron tres (3) muestras (M1, M2 y M3) de suelo con un peso promedio de 3 kilogramos cada una para análisis fisicomecánicos (granulométrico, humedad, peso específico

y límites de Atterberg) según la norma I.N.V. 2012, con el fin de corroborar los datos obtenidos en campo y los resultados producto del uso de la metodología de [Mora y Vahrson \(1994\)](#). Esta metodología permite la superposición de diferentes capas que son representadas por factores pasivos o condicionantes, y factores activos o detonantes, y la evaluación de susceptibilidad dividida en tres partes: el grado de susceptibilidad por elementos pasivos, el análisis por elementos activos y el análisis de evaluación de la susceptibilidad resultante al superponer todas las capas: Esto permite la asignación de valores o pesos a cada una de las variables que condicionan la ocurrencia de los movimientos ([Barrantes-Castillo et al., 2011](#)).

$$S = P \times D \quad (1)$$

Donde:

S: grado de susceptibilidad a deslizamientos.

P: valor producto de la combinación de los parámetros pasivos.

D: valor del factor de disparo de los parámetros activos.

Para la determinación de la cobertura vegetal se basó en la metodología de Corine Land Cover adaptada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ([IDEAM, 2010](#)), lo cual posibilita la elaboración de capas temáticas de cobertura de suelo a partir de la interpretación de imágenes satelitales tipo Landsat 8, y la clasificación supervisada con combinación de bandas roja, verde y azul.

Para la construcción del mapa de precipitación se analizaron los promedios mensuales y anuales de precipitación de las estaciones pluviométricas de los municipios de Patillal, San Sebastián y Atánquez, del IDEAM, bajo el método de interpolación IDW a través del software *ArcGIS 10.5*. Posteriormente se realizó una conversión de formato ráster a polígono que asignó los índices de susceptibilidad para elementos pasivos y activos. Para el análisis de la susceptibilidad por elementos pasivos se superpuso cada parámetro, al otorgarles valores a los porcentajes según los factores con mayor influencia en la susceptibilidad; y para el análisis de la susceptibilidad por elementos activos o condicionantes, se establecieron valores porcentuales a cada capa temática elaboradas para el mapa de precipitación y sismicidad, de igual manera que se hizo para los parámetros pasivos.

Para el factor de sismicidad se tomó como referencia el catálogo sísmico del Servicio Geológico Colombiano ([SGC, s. f.](#)), del 1 de marzo de 2018 hasta la actualidad; se identificaron los puntos sísmicos más cercanos al área de estudio y, posteriormente, se realizó una simulación mediante la herramienta Buffer (*ArcGIS 10.5*) con un radio de 2 km; así se determinaron las zonas geográficas del corregimiento que se encuentran dentro del área de influencia de los epicentros sísmicos. Además, con *ArcGIS 10.5* se analizaron las imágenes mediante modelos de elevación digital (efecto 3D), en el procesamiento, y se obtuvieron mapas a escala 1:100 000.

Para el respectivo estudio de los modelos se recurrió a curvas de nivel cada 5 m que fueron obtenidas a través de un modelo de elevación digital (DEM, por su sigla en inglés) mediante la

aplicación ALOS PALSAR con una resolución de 12,5×12,5. Una vez delimitada el área correctamente y con el *software ArcGIS 10.5*, se obtuvo una red irregular triangular (TIN) que permitió apreciar previamente las alturas características del terreno. Para la teleinterpretación se tuvieron en cuenta los parámetros estipulados por el [SGC \(2012\)](#) y [Carvajal Perico \(2012b\)](#); para la diferenciación de las subunidades geomorfológicas y agentes morfodinámicos, la nomenclatura de las dichas subunidades se basó en las estipuladas por el [SGC \(2012\)](#) y [Carvajal-Perico \(2012b\)](#).

RESULTADOS

Parámetros utilizados para el cálculo de la susceptibilidad

Factor pendiente

El área del corregimiento se caracteriza por presentar pendientes medias a muy fuertes que oscilan entre 30° a >45° con presencia de procesos denudacionales, según [Mora y Vahrson \(1994\)](#) con valores de susceptibilidad entre 4 y 5 que abarcan el 55% del área; las zonas con pendientes moderadas que oscilan entre 12° a 30° corresponden a áreas de deslizamientos donde pueden llegar a ser ocasionales, debido a que los factores de susceptibilidad obtienen un valor de 3; las planicies y zonas ligeramente inclinadas son casi ausentes en el corregimiento con pendientes que oscilan de 3° a 12° (figura 2).

Geología regional

El departamento del Cesar está compuesto por tres áreas de importancia geológica: el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), la Serranía del Perijá y la cuenca del Río Cesar ([De los Reyes-Díaz et al., 2022](#)). La SNSM es un macizo montañoso de forma triangular localizado en la región Caribe de Colombia, entre las latitudes 9° 55'N y 11° 22'N y longitudes 72° 30' W y 74° 12'W; cubre áreas de los departamentos de Magdalena, Cesar y La Guajira; se levanta desde el nivel del mar y llega a tener elevaciones cercanas a los 5800 m. Es el macizo montañoso costero más elevado del mundo ([Colmenares et al., 2007](#)); limita al este con los lineamientos del Cesar, norte Falla Oca y suroeste Falla de Santa Marta- Bucaramanga.

Geología local

Esta investigación se centra principalmente en la geología del corregimiento de Chemesquemena, municipio de Valledupar, constituida mayoritariamente por rocas ígneas (60%) y

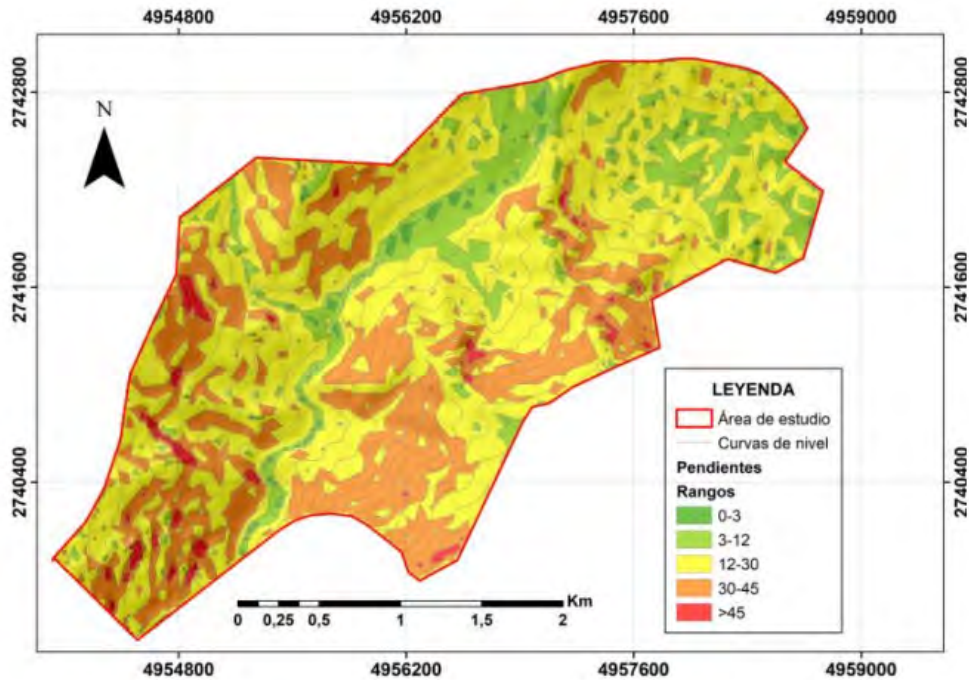


Figura 2. Mapa de pendientes

minoritariamente por sedimentarias (figura 3), correspondientes al Batolito de Atánquez, cuyas edades varían del Jurásico, Jurásico medio y superior.

A continuación, se describen las unidades litológicas presentes en la región del norte de Valledupar, específicamente en el Batolito de Atánquez (Ja) y aluviales recientes.

Batolito de Atánquez (ja)

El Batolito de Atánquez se encuentra aflorando en el sector oeste del corregimiento de Chemesquemena, principalmente en la parte alta del Río Guatapurí con coordenadas $10^{\circ}42'63''N$ $73^{\circ}24'54''W$. Esta unidad ha sido estudiada y caracterizada por el SGC en la parte nororiental de la plancha 27 en la transecta 15 (Colmenares *et al.*, 2007) que corresponde a Patillal-Atánquez-Chemesquemena a Sabana Crespo, y descrita originalmente por Tschanz *et al.* (1969). Para estos autores, la edad del batolito, obtenida mediante dataciones radiométricas, indica que es contemporáneo a otros batolitos pertenecientes al cinturón nororiental del Jurásico medio y cercano a la edad del Batolito de Aracataca con aproximadamente 166 ± 12 Ma.

Se identificaron rocas plutónicas de composición granítica constituida principalmente por feldespatos y cuarzos (figura 4A). Los granitos presentan una textura fanerítica, son hipidiomórficos y con tamaño de grano fino. En este sector se observó la presencia de un dique de composición basáltica, con textura afanítica, tamaño de grano casi imperceptible y un espesor aproximado de 50 cm (figura 4B).

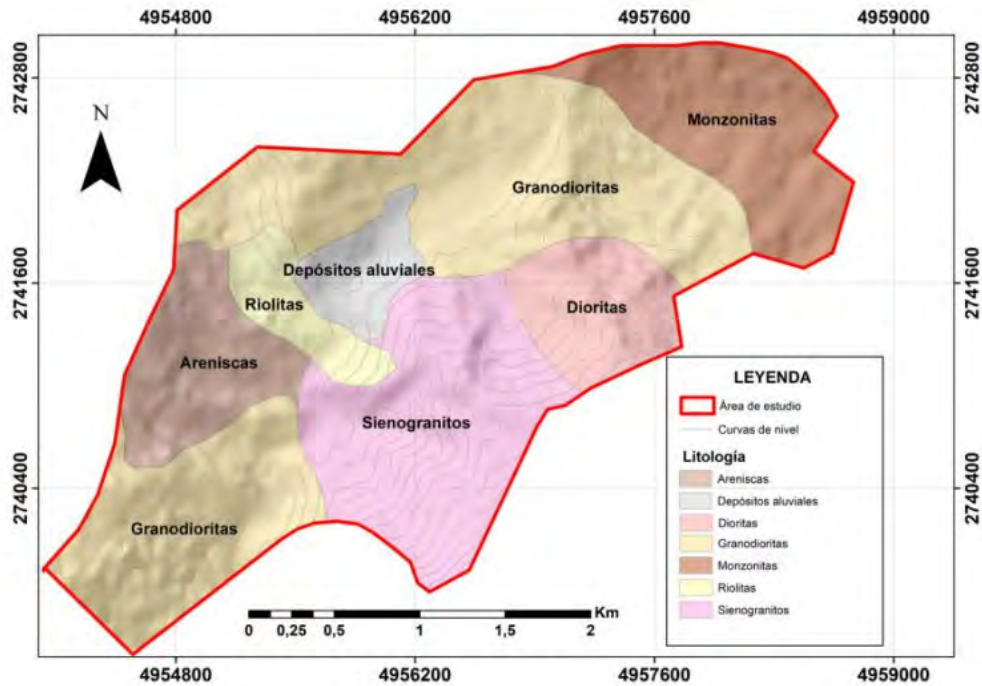


Figura 3. Mapa litológico del corregimiento de Chemesquemena



Figura 4. A. Granito (textura fanerítica). B. Aflorando en la cuenca alta del Río Guatapurí, presencia de diques de composición máfica de 40 cm a 50 cm de espesor

Aluviales recientes (qal)

Corresponde a los depósitos ubicados en las coordenadas 10°42'65"N, 73°24'2"W como consecuencias de la dinámica de todos los drenajes superficiales del Río Guatapurí. Este tipo de depósito presenta materiales con granulometría que oscilan entre guijarro a bloques de composición ígnea.

Factor geomorfología

Cerro residual (dcrs)

Esta subunidad geomorfológica fue cartografiada hacia la zona noreste del corregimiento de Chemesquemena con coordenadas 10°43'05"N 73°23'23"W. Los cerros residuales corresponden a terrenos topográficamente preponderantes, con una morfología de cimas redondeadas con pendientes muy inclinadas, producto de severos procesos de meteorización que se dan en climas tropicales húmedos (SGC, 2012). Esta subunidad muestra pendientes escarpadas y abruptas asociadas con suelos residuales gruesos de origen metamórfico e ígneo; también se observan, hacia la cima, los intensos procesos de meteorización y erosión que se ven influenciados por la poca cobertura vegetal (SGC, 2012) (figura 5).

Colina residual disectada (dcrd)

Las colinas residuales disectadas son cimas redondeadas que culminan en pendientes moderadamente inclinadas que registran un índice de relieve de bajo a medio. Su formación está asociada a actividades tectónicas y de erosión y meteorización que se distinguen por el desarrollo de una red de drenaje con un leve grado de disección (SGC, 2012). Esta fue cartografiada hacia la zona noroeste del área de estudio correspondiente a las coordenadas 10°42'72"N; 73°24'56"W; se caracteriza por pendientes que oscilan entre los 30° y 35°, donde los procesos denudacionales suelen ser bastante intensivos (figura 5).

Colina remanente (dcre)

Esta geoforma correspondiente a las coordenadas 10°42'17"N; 73°24'73"W presenta una cima redondeada y bordeada que se encuentra limitada por laderas con pendientes abruptas a escarpadas, con un índice de relieve bajo a medio. Este tipo de subunidad es característico de zonas aisladas en las que topográficamente sobresalen. Las colinas remanentes se originan por denudaciones intensas (SGC, 2012) (figura 5).

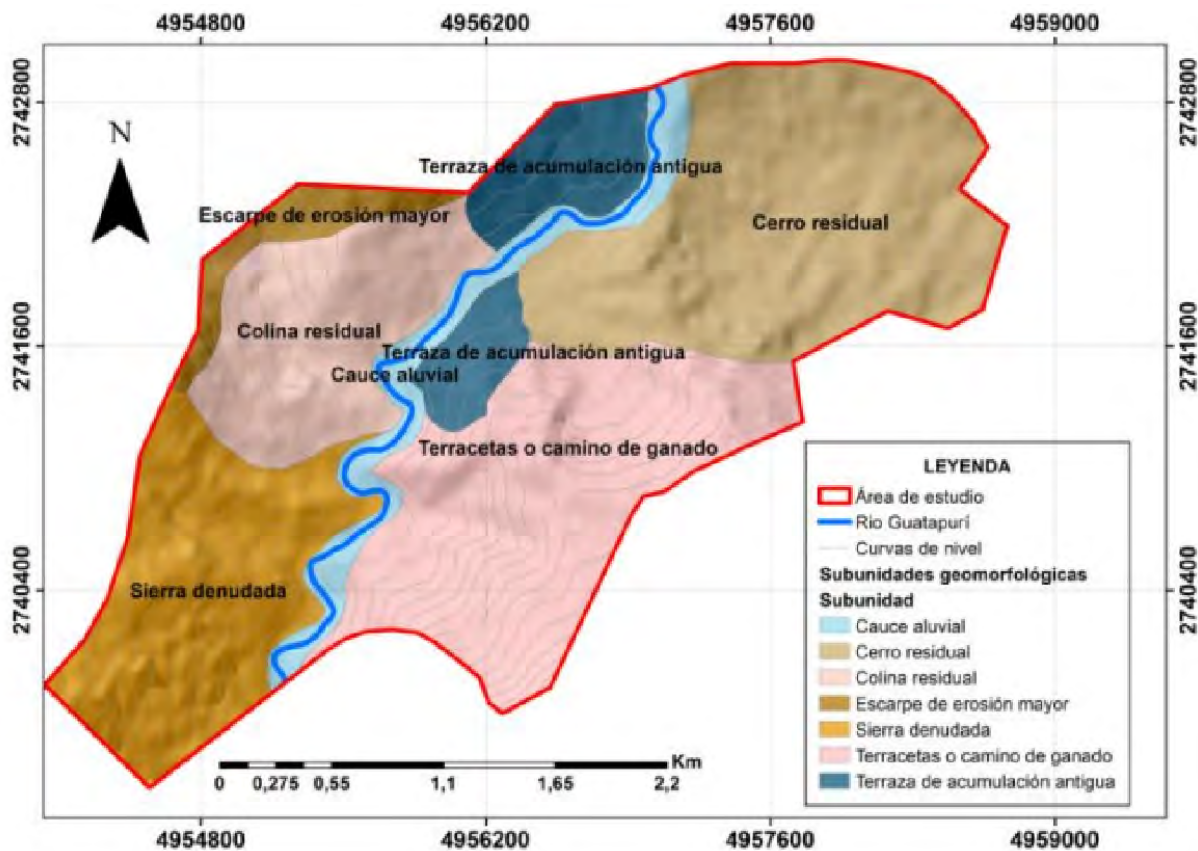


Figura 5. Mapa geomorfológico

Geoformas de ambiente fluvial

Los depósitos cuaternarios en el área de estudio se ubican hacia la zona central con coordenadas $10^{\circ}42'63''N$ $73^{\circ}24'16''W$. Se caracterizan por gravas y conglomerados redondeados como producto del transporte propiciado por el cauce del Río Guatapurí (figura 5).

Rasgos geomorfológicos de origen antrópico

La zona de estudio está marcada por una gran cantidad de procesos erosivos como las terracetos, o camino de ganano, más evidenciables hacia el sureste con coordenadas $10^{\circ}42'25''N$ $73^{\circ}23'92''W$. Este rasgo se encuentra en el área de trabajo debido a que el pastoreo y la práctica de la ganadería son frecuentes, puesto que constituye una de las principales fuentes de economía de la región (figura 5).

Factor de uso y cobertura del suelo

Las variaciones en la cobertura vegetal inciden directamente en la susceptibilidad de los deslizamientos de tierra. El corregimiento de Chemesquemena comprende, en su mayoría, zonas agrícolas y cultivos permanentes como caña, café y cacao, como actividad económica principal, además, pastos y vegetación secundaria y zonas arborizaciones escasas; esto indica que la cobertura vegetal incide como factor condicionante de los movimientos en masa y denudaciones intensas (figura 6).

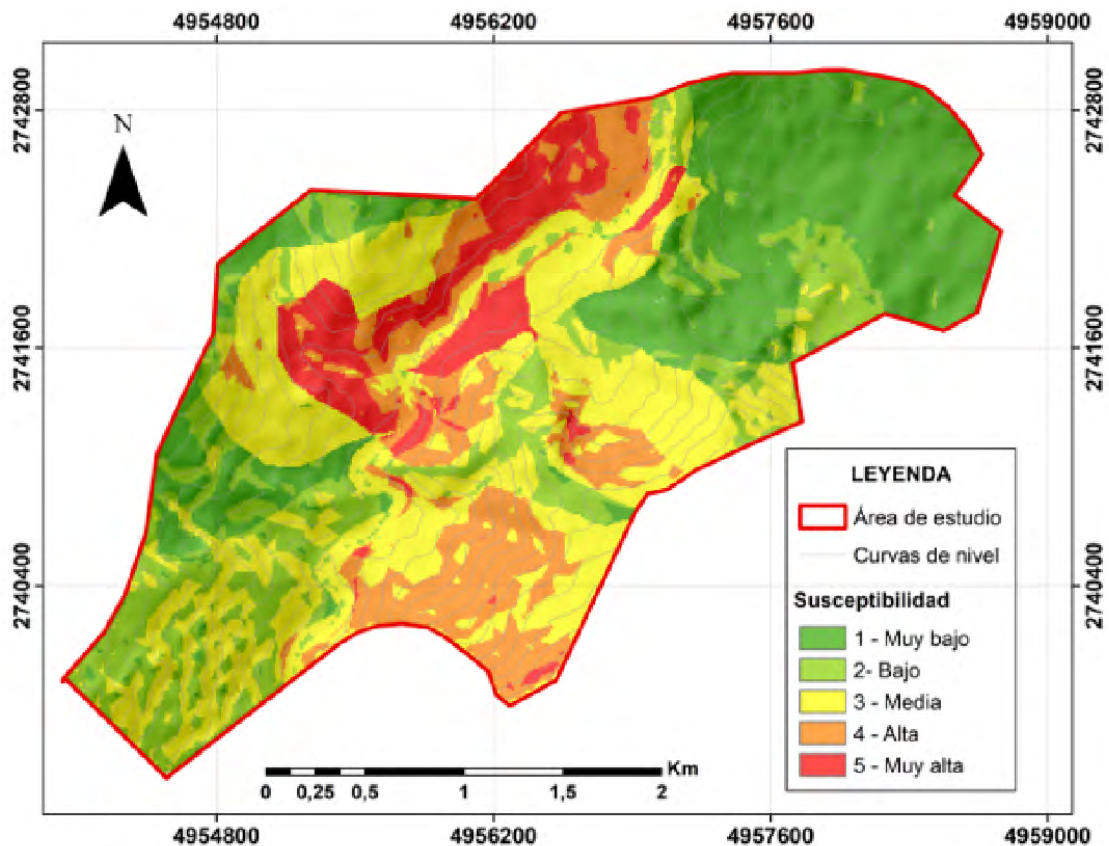


Figura 6. Mapa de cobertura del suelo

Susceptibilidad por elementos pasivos

Las zonas noreste y suroeste concentran las categorías más bajas de susceptibilidad, mientras que la zona central del corregimiento varía de media a muy alta; estas se catalogan como áreas propensas a procesos naturales en lo que a factores condicionantes se refiere (figura 7). Adicional a ello, el resultado obtenido en este estudio permitió corroborar la información y datos históricos referentes a movimientos en masa en el corregimiento, donde el factor con mayor influencia en su generación corresponde a las unidades litológicas altamente meteorizadas y a

suelos alterados por procesos asociados a la agricultura. Las zonas con mayor susceptibilidad a movimientos en masa corresponden a las zonas rojas y naranjas, las medias a las tonalidades amarillas y las bajas a los tonos verdes (figura 7). Los parámetros evaluados fueron geomorfológicos (20 %), litológicos (30 %), pendiente (30 %), cobertura vegetal (20 %).

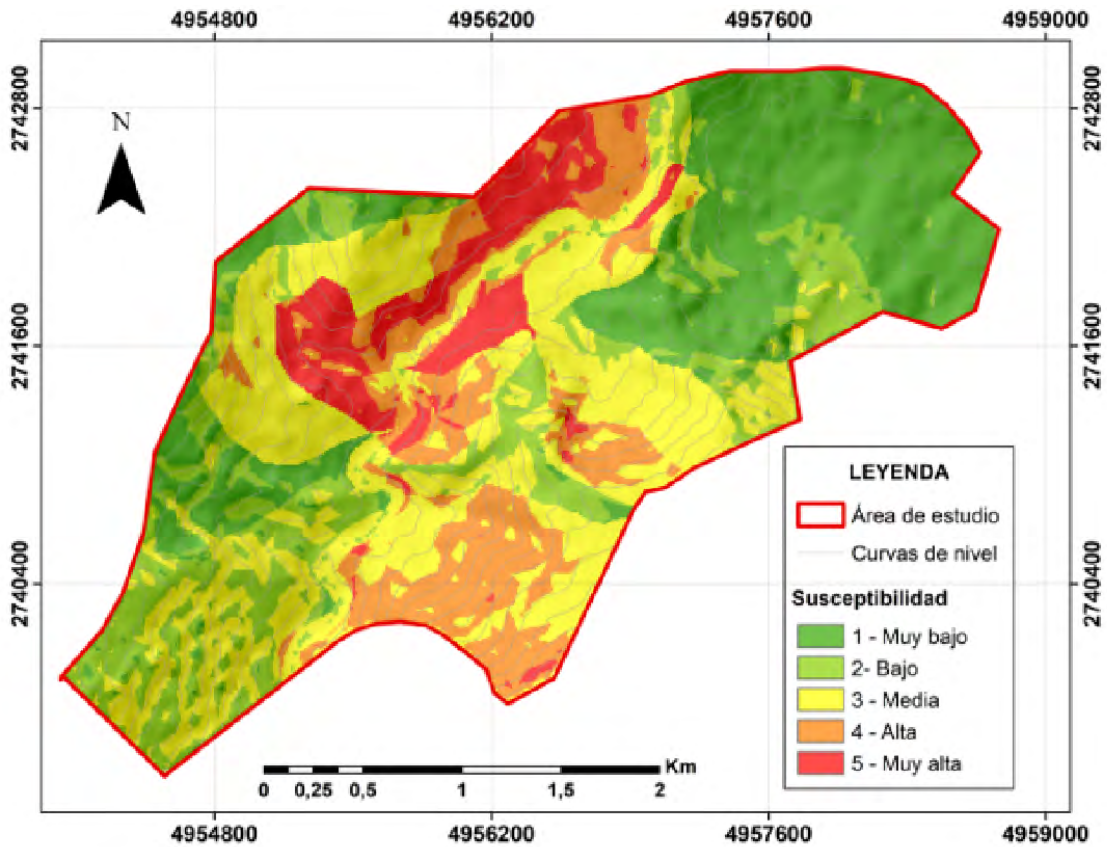


Figura 7. Mapa de susceptibilidad por elementos pasivos

Factor precipitación

Los valores obtenidos e ilustrados en la figura 8 indican que la zona noroccidental presenta mayor pluviosidad (504 mm a 544 mm), por lo que es más susceptible a fenómenos de movimientos en masa, contrario a la zona nororiental (385 mm a 425 mm).

Factor sismicidad

Analizada la información del catálogo sísmico del SGC, se evidenció que no hay registro de epicentros de actividad sísmica en el área de estudio, por lo que fue necesario tomar los últimos epicentros y más cercanos a la zona de estudio ocurridos en el cerro Yosagaka con magnitud de 1,5, y el cerro Macuamaque con magnitud de 1,9 en la escala de Richter (figura 9). Las zonas

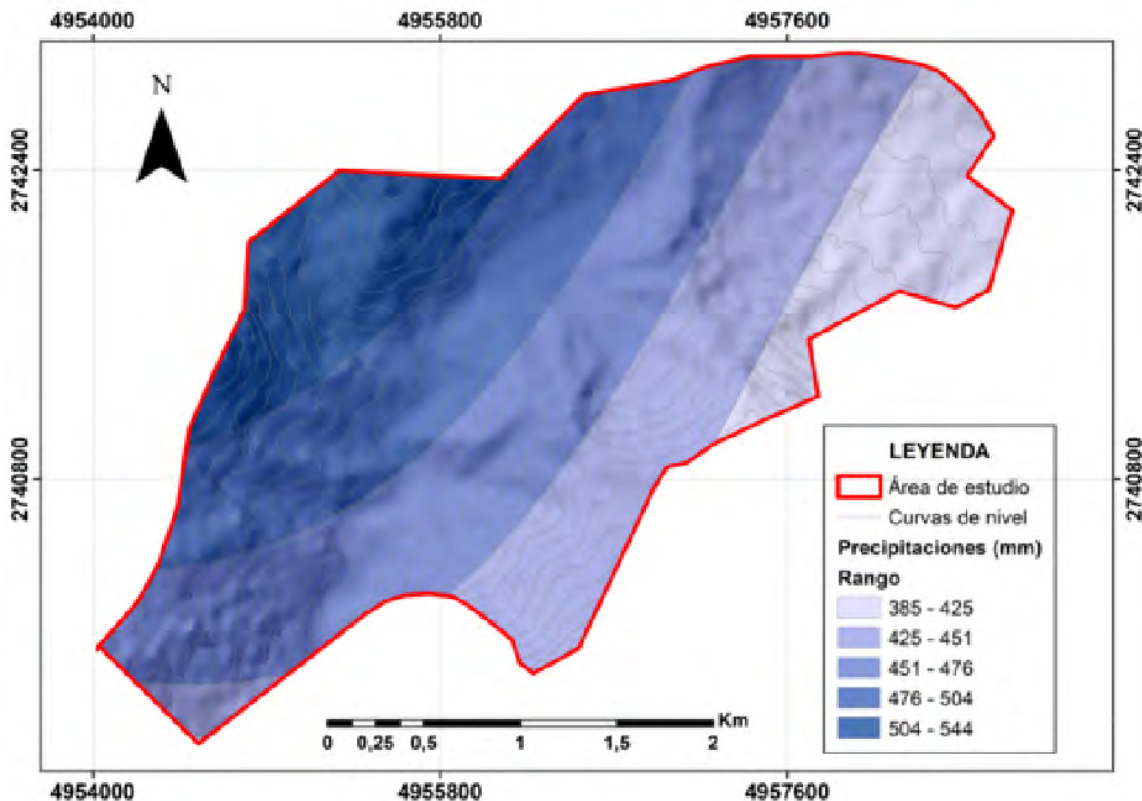


Figura 8. Mapa de precipitación

color verde oscuro representan la influencia directa de los sismos ocurridos con anterioridad, y el área con tonalidad verde claro corresponde a la zona de sismicidad baja (figura 9).

Susceptibilidad por elementos activos

El 78,94 % del área del corregimiento representa una susceptibilidad media de acuerdo con los factores desencadenantes, 10 % susceptibilidad alta, 4,61 % susceptibilidad muy baja y 6,45 % baja, debido a la baja actividad sísmica y niveles de precipitación (figura 10). Los parámetros evaluados fueron precipitación (80 %) y sismicidad (20 %).

Susceptibilidad del corregimiento de Chemesquemena

Una vez analizados los parámetros detonantes o activos, se elaboró el mapa de susceptibilidad final del corregimiento de Chemesquemena, en el que se incorporaron todos los factores indicados por Mora y Vahrson en su metodología y que fueron establecidos a lo largo de la investigación. Para esto, se utilizaron las capas ráster de los mapas elaborados. La ponderación final dada a cada capa contempla los porcentajes de cada parámetro de susceptibilidad (tabla 1).

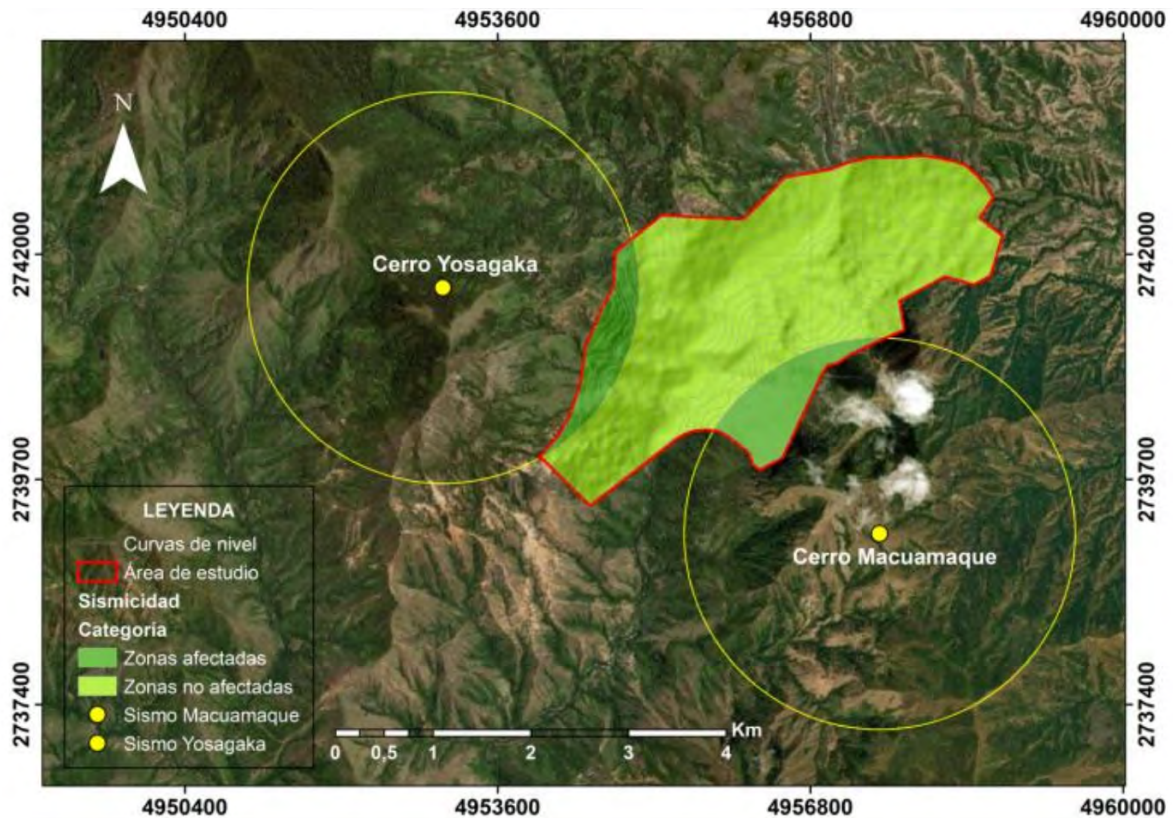


Figura 9. Mapa de sismicidad

Tabla 1. Porcentaje de los parámetros evaluados en la susceptibilidad

| Parámetros de la susceptibilidad final | | |
|--|--------------------|----------------|
| Tipo de parámetro | Parámetro evaluado | Porcentaje (%) |
| Condicionante o pasivo | Geología | 20 |
| | Geomorfología | 20 |
| | Pendiente | 20 |
| | Cobertura vegetal | 15 |
| Detonante o activo | Precipitación | 20 |
| | Sismicidad | 5 |
| Total | 6 | 100 |

La zona noreste del corregimiento evidencia áreas con menor susceptibilidad a la ocurrencia de los movimientos en masa, mayor concentración de susceptibilidades medias, altas y muy

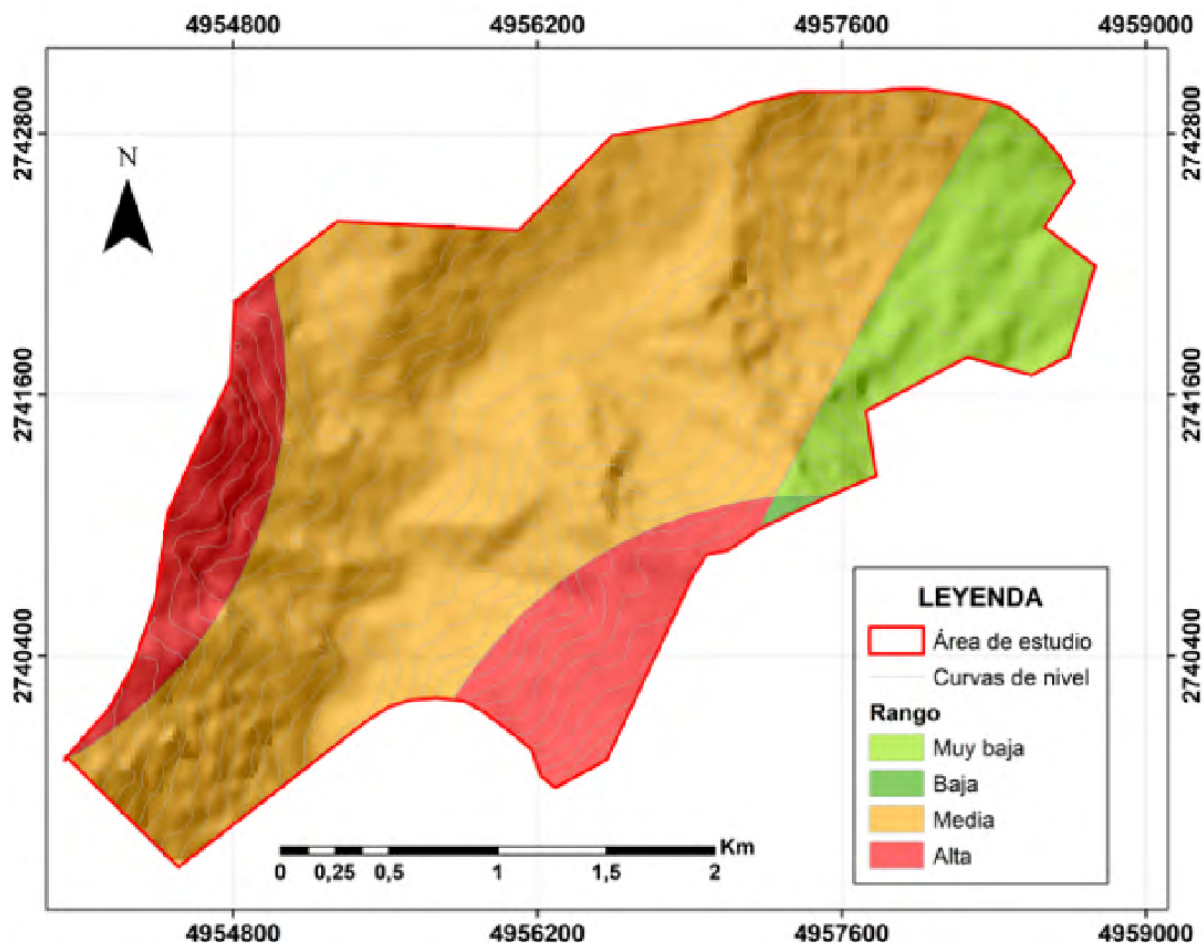


Figura 10. Susceptibilidad por elementos activos

altas hacia la zona central y noroeste del área de estudio. Estas distribuciones permiten observar que al menos el 70 % del área total del corregimiento registra una susceptibilidad desde media a muy alta a la ocurrencia de este tipo de procesos (figura 11) (tabla 2).

El 30 % del área de estudio presenta susceptibilidad baja y muy baja, es decir, con muy bajo potencial a movimientos en masa, debido a que los terrenos tienen condiciones de poca inclinación. Se evidencian áreas con susceptibilidad media equivalentes a un 21 %, que corresponden a zonas con pendientes moderadas, además, áreas con susceptibilidad alta y muy alta representadas en un 49 %, que constituyen zonas con pendientes abruptas, donde factores como la exposición e intemperismo generan un mayor debilitamiento de los materiales y las denudaciones son más intensiva, pues provocan que la litología cumpla un papel fundamental en la susceptibilidad, en conjunto con las subunidades geomorfológicas de mayor grado de pendiente.

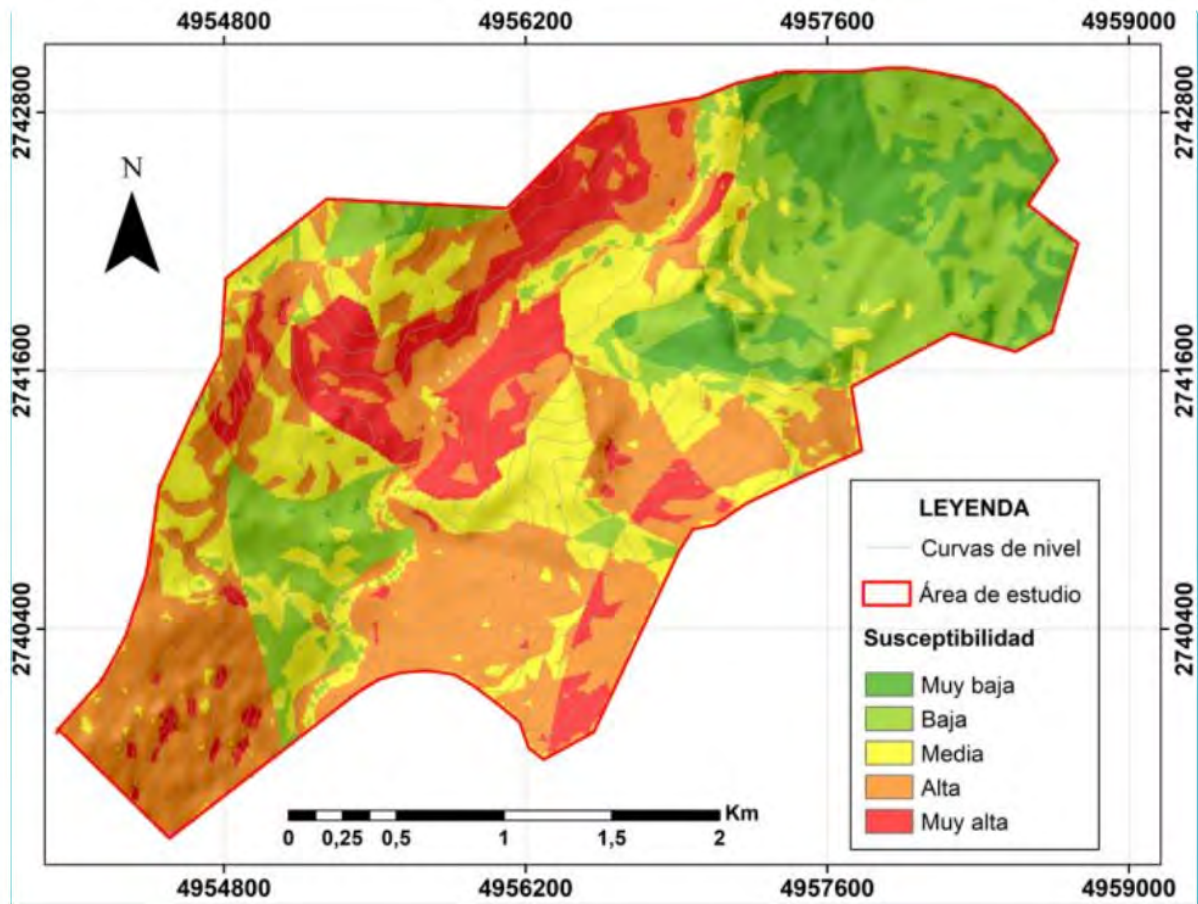


Figura 11. Mapa de susceptibilidad total del corregimiento de Chemesquemena

Tabla 2. Caracterización del corregimiento de Chemesquemena con base en la susceptibilidad

| Índice de susceptibilidad | Grado de susceptibilidad | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|---------------------------|--------------------------|-----------|----------------|
| 1 | Muy baja | 78,92 | 8 |
| 2 | Baja | 189,19 | 22 |
| 3 | Media | 180,29 | 21 |
| 4 | Alta | 297,31 | 36 |
| 5 | Muy alta | 112,89 | 13 |
| Total | 5 | 858,6 | 100 |

Ensayos de suelo

Granulometría

Se clasificaron tres muestras de suelo, de las que se especificó el porcentaje en que están distribuidas las partículas según su tamaño de grano, el porcentaje de humedad natural de cada una, y se definió el grupo al que pertenecen dentro de los sistemas de clasificación de suelo AASTHO y unificado (tabla 3) (Manco-Jaraba *et al.*, 2018, 2019).

Tabla 3. Análisis granulométrico

| Tamiz | Diámetro (mm) | Peso retenido (g) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|--------------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 3" | 76,2 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2" | 50,8 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 1½" | 38,1 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 1" | 25,4 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| ¾" | 19,05 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| ⅜" | 9,53 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| No. 4 | 4,75 | 430,81 | 28,73 | 28,73 | 71,27 |
| 10 | 2 | 344,81 | 23 | 51,73 | 48,27 |
| 20 | 0,84 | 241,81 | 16,13 | 67,85 | 32,15 |
| 40 | 0,42 | 205,81 | 13,73 | 81,58 | 18,42 |
| 60 | 0,25 | 89,81 | 5,99 | 87,57 | 12,43 |
| 140 | 0,106 | 114,81 | 7,66 | 95,22 | 4,78 |
| 200 | 0,075 | 46,81 | 3,12 | 98,35 | 1,65 |
| Fondo | - | 24,81 | 1,65 | 100 | 0 |
| Total | - | 1499,48 | 100 | - | - |

Según el Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS), la muestra M1 es una arena bien gradada (tabla 4). Esta clasificación permite establecer que, al tratarse de suelos no cohesivos en su mayoría, el material por ende va a tender a desplazarse con mayor facilidad debido a su bajo contenido de arcillas, y además, estos suelos pueden cambiar sus características geotécnicas bajo las variaciones climáticas abruptas.

Las muestras M1, M2 y M3 registraron una humedad natural promedio de %W=9,527 gr, densidad en muestra húmeda 16 gr/cm³, densidad muestra seca 1,10 gr/cm³, y ninguna reportó plasticidad. Los límites líquidos obtenidos arrojaron valores de humedad promedio de 34,2, los cuales representan un alto valor generado por la alta pluviosidad y posiblemente por la frecuencia de riego (tabla 5).

Tabla 4. Resultados de los ensayos de granulometría

| Tabla de resultados | |
|-----------------------------|-----------|
| % de gravas | 28,73 |
| % de arena gruesa | 23 |
| % de arena media | 29,85 |
| % de arena fina | 16,77 |
| % total de arena | 69,61 |
| % de finos | 1,65 |
| Clasificación "SUCS" | SO |

Tabla 5. Resultados de límite líquido

| Muestra | M1 | M2 | M3 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| SPT | 15-25 | 20-30 | 25-35 |
| # Golpes | 18 | 30 | 32 |
| Peso tara (gr) | 12,9 | 14,5 | 13,3 |
| Tara + muestra (gr) | 32,89 | 32,73 | 28,28 |
| Peso muestra húmeda (gr) | 19,99 | 18,23 | 14,98 |
| Peso seco+ tara (gr) | 27,6 | 28,1 | 24,6 |
| Peso muestra seca | 14,7 | 13,6 | 11,3 |
| % de agua | 5,29 | 4,63 | 3,68 |
| Límite líquido | 0,36 | 0,34 | 0,33 |
| Humedad | 35,99 | 34,04 | 32,57 |

CONCLUSIONES

Las áreas con mayor susceptibilidad se localizan hacia el noroeste del corregimiento de Chemesquemena (Colombia), y representan el 70 % de las áreas totales debido a las altas pendientes, alta pluviosidad, litología, tipo de suelo, cobertura vegetal, cultivos permanentes y subunidades geomorfológicas, como sierras denudadas y colinas residuales; y el 30 % susceptibilidades bajas a muy bajas.

Los factores condicionantes que generan mayor influencia de susceptibilidad corresponden a la litología, altas pendientes características del terreno, cultivos permanentes y pasto como cobertura principal. Las unidades litológicas fueron clasificadas mayoritariamente como rocas ígneas intrusivas con avanzado estado de alteración que generan debilitamiento de los materiales. Los cultivos requieren sistemas de riego periódicos que hagan un aporte constante de agua a los suelos y taludes (sobresaturación), y alteren las propiedades mecánicas; además, el pasto no favorece la estabilidad de los suelos.

Los resultados en los ensayos de laboratorio de suelos indican que el factor detonante que genera mayor influencia en la susceptibilidad corresponde a la precipitación, debido a los altos valores de humedad que son constantes en el área de estudio y que se relacionan directamente con los altos valores de precipitación. Además, los ensayos de granulometría evidencian que los suelos predominantes en el corregimiento corresponden a arenas bien gradadas, no cohesivos y con un contenido bajo de arcilla, debido a las fuertes precipitaciones características de la zona, lo que genera condiciones inestables que pueden desencadenar deslizamientos.

FINANCIAMIENTO

La investigación asociada se titula “Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson modificado para el casco urbano de Chemesquemena, Cesar, Colombia” de la cual se deriva el artículo titulado “Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson modificado para el corregimiento de Chemesquemena, Cesar, Colombia”. La Fundación Universitaria del Área Andina fue la que avaló y financió dicha investigación.

REFERENCIAS

- IDEAM, (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra, Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia. Escala 1:100.000.
- Aristizábal, E., López, S., Sánchez, O., Vásquez, M., Rincón, F., Ruiz-Vásquez, D., Restrepo, S. y Valencia, J. (2019). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos, estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud. *Boletín de Geología*, 41(3), 85-105. <https://doi.org/10.18273/revbol.v41n3-2019004>.
- Ayala, I. A. y García, G. M. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas*, (66), 47-64.

- Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O. y Núñez Román, O. (2011). Efectividad de la metodología Mora- Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 141-162. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3970>.
- Carvajal Perico, José. (2012a). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*.
- Carvajal Perico, J. (2012b). *Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por Ingeominas*.
- Colmenares, F., Mesa, A., Roncancio, J., Arciniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A., Romero, A., Silva, C., Alvarado, S., Romero, O. y Vargas, A. (2007). *Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 y 34*. Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología (Ingeominas). <http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008010018162/documento/pdf/2105181621101000.pdf>
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, (43), 27-29.
- De los Reyes Díaz, G., Mendoza Mejía, Z., Mosquera Nieves, E., Rojas Martínez, E., Manco Jaraba, D. y Lascarro-Navarro, F. (2022). Stratigraphic and petrographic study of the limestones of the La Tomita sector, in the municipality of Manaure-Cesar, Colombia. *INGE CUC*, 18(1), 129-141. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.18.1.2022.11>.
- Galindo Serrano, J. A. y Alcántara Ayala, I. (2015). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la sierra nororiental de Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(88), 122-145. <https://doi.org/10.14350/rig.43790>.
- López, R. E., Zuluaga, A. D., Gómez, F. y Tapia, L. (2020). Aplicación del método Mora- Vahrson para evaluar la susceptibilidad a deslizamiento en el municipio de Manaure, Cesar, Colombia. *Reder*, 4(2), 57. <https://doi.org/10.55467/reder.v4i2.50>.
- Manco-Jaraba, D., Rojas-Martínez, E. y Rudas-Muñoz, A. (2019). Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada La Floresta en los municipios de Pailitas y Tamalameque, departamento del Cesar, Colombia. *INGE CUC*, 15(2), 78-86. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.2.2019.08>.
- Manco Jaraba, D., Rojas Martínez, E., Rudas Muñoz, A. y Daza Moscote, Y. (2018). Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada San Pedro localizado en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar, Colombia. *Ingenierías USBMed*, 9(2), 19-26. <https://doi.org/10.21500/20275846.3498>.

- Alcaldía de Medellín. (2020). Movimiento en masa. https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_8/Publicaciones/SharedContent/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf
- Mora, S. y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Environmental & Engineering Geoscience*, 31(1), 49-58.
- Moreno, H. A., Vélez, M. V., Montoya, J. D. y Rhenals Garrido, R. L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria. *Revista EIA*, 5, 59-69. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000100005.
- Quintana-Cabeza, C., Mosquera-Tellez, J. y Parra-Ortega, C. (2022). Modeling of mass movement phenomena to determine the depth of rainfall infiltration into the soil. *Tecnura*, 26(72), 78-102. <https://doi.org/10.14483/22487638.17743>.
- Serpa-Silva, M. (2017). *Estudio de riesgo por fenómenos de erosión y remoción en masa en el flanco oeste del cerro Dunarúa y zona urbana del corregimiento de Guatapurí, Valledupar, Cesar* [Informe de práctica, Fundación Universitaria del Área Andina]. <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/955/Estudioderiesgoporfenomenodeerosionyremocionenmasaenelflaco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (s. f.). *Catálogo de sismicidad*. http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/Consulta_Experta_Seiscomp/consultaexperta.php.
- Leiva, O., Moya-Berbeo, H., Trejos-González, G., & Carvajal, J. (2012). Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas. In Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:100.000 / Servicio Geológico Colombiano (SGC) (pp. 1–123).
- Tschanz, C. M., Jimeno, A., Vesga, C. y Jaramillo, L. (1969). *Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). Preliminary report*. Ingeominas. <https://es.scribd.com/document/335457998/Geology-of-the-Sierra-Nevada-de-Santa-Marta-Colombia-Preliminary-Report-Tschanz-et-al-pdf>.
- Vargas-Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37), 39-67. <https://trid.trb.org/view/1046635>.

