

Estimación de la amenaza por movimientos en masa en pequeños municipios andinos. Caso de estudio: San Sebastián, Cauca – Colombia

Estimation of the hazard landslide in small Andean municipalities. Case study: San Sebastián, Cauca - Colombia

Yesika Johanna Cansimanse Papamija ¹ y Jorge Andrés Vélez Correa ^{2*}

¹ Universidad del Valle, Santiago de Cali – Colombia, yesika.cansimanse@correounivalle.edu.co,
<https://orcid.org/0009-0008-8624-989X>

² Universidad del Valle, Grupo de investigación Georiesgos, Santiago de Cali – Colombia,
jorge.velez@correounivalle.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-2314-4253>

*Autor de correspondencia

Recibido: 26/12/2024. Aceptado: 14/01/2025. Publicado: 21/01/2025.

Cómo citar: Cansimanse Papamija, Y., & Vélez Correa, J. (2025). Estimación de la amenaza por movimientos en masa en pequeños municipios andinos. Caso de estudio: San Sebastián, Cauca – Colombia. *Geografía Aplicada*, 1(1), 233-294. Consultado de <https://geografiaaplicada.uaemex.mx/article/view/25636>

Resumen

La ubicación geográfica del municipio de San Sebastián y las distintas dinámicas que en él convergen, contribuyen para que este se vea afectado por procesos como fracturamiento, erosión y meteorización los cuales inducen al desarrollo de movimientos de remoción en masa, condición particular en la región Andina. El presente estudio aborda la estimación de la amenaza a movimientos en masa en el municipio de San Sebastián, Cauca, Colombia, con el propósito de identificar las zonas que dada sus condiciones están expuestas a este tipo de eventos, permitiendo tener una base para futuras investigaciones e intervenciones que mitiguen sus efectos en la actualidad. Para ello, se emplea un enfoque metodológico mixto que integra datos cartográficos y heurísticos, que considera variables como la geología, geomorfología, pendientes, suelos, cobertura de tierra y precipitación. Asimismo, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para consolidar la información final y generar los mapas de susceptibilidad y amenaza. Los resultados revelan que el 38% del área municipal presenta alta susceptibilidad, a causa de componentes como la geología, pendientes pronunciadas, suelos inestables, por ende, la amenaza tiene un incremento al fusionarse con las lluvias prolongadas. Es así que los registros históricos de movimientos en masa respaldaron la precisión del modelo y validaron la cartografía. Los hallazgos coinciden con estudios en otras áreas andinas, resaltando la importancia de los factores geomorfológicos, fallas geológicas, y precipitación. Por lo tanto, se recomienda continuar estudios más detallados que incluyan variables como la sismicidad, uso del suelo e intervención antrópica, con el fin de mejorar y aportar a la planificación territorial y evaluación de riesgos.

Palabras clave: Amenaza, Movimientos en masa, Precipitación, Susceptibilidad.

Abstract

The geographic location of the municipality of San Sebastián and the different dynamics that converge there contribute to its being affected by processes such as fracturing, erosion, and weathering, which induce the development of mass movements, a phenomenon that is very

particular in the Andean region. The present study addresses the estimation of the threat of mass movements in the municipality of San Sebastián, Cauca, Colombia, with the purpose of identifying the areas that, given their conditions, are more exposed to this type of events, which provides a basis for future research and interventions that mitigate their effects today. To do so, a mixed methodological approach is used that integrates cartographic and heuristic data, considering variables such as geology, geomorphology, slopes, soils, land cover, and precipitation. Likewise, the use of Geographic Information Systems (GIS) was employed to consolidate the final information to generate susceptibility and threat maps. The results reveal that 38% of the municipal area is highly susceptible due to agents such as geology, steep slopes, and unstable soils. Therefore, the threat increases when combined with prolonged rainfall. Thus, historical records of landslides supported the accuracy of the model and validated the cartography. The findings coincide with studies in other Andean areas, highlighting the importance of geomorphological factors, geological faults, and precipitation. Therefore, it is recommended to continue with more detailed studies that include variables such as seismicity, land use, and anthropogenic intervention to improve and contribute to territorial planning and risk assessment.

Keywords: Mass movements, Precipitation, Susceptibility, Threat.

1. Introducción

El acelerado incremento de la población urbana en las últimas décadas ocupando terrenos susceptibles a fenómenos de origen natural ha generado un considerable aumento en el número de pérdidas humanas y económicas por desastres (Changnon *et al.*, 2000; Hoppe y Pielke, 2006; Morss *et al.*, 2011, citado por Aristizábal *et al.*, 2019), como es el caso de los eventos ocurridos en países andinos, por ejemplo los flujos de detritos de Vargas, Venezuela, ocurrido en 1999, el cual dejó alrededor de 15.000 víctimas, por otro lado, la avalancha de roca y hielo/flujo de detritos de 1970 en el Nevado Huascarán, Perú que se llevó 18.000 vidas, asimismo, El lahar de

Armero, Colombia, en 1985, el cual deja aproximadamente 23.000 víctimas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA, 2007: 19)

La evaluación de la susceptibilidad constituye el primer acercamiento para determinar el nivel de amenaza presente en una zona, implica identificar y analizar los distintos factores y condiciones que interactúan para desarrollar un evento específico, en este caso, los movimientos por remoción en masa. Estos eventos están condicionados por las múltiples variables que intervienen en el equilibrio dinámico de las pendientes, tales como, la influencia de procesos geomorfológicos, litológicos, climáticos, geotécnicos y antrópicos.

En este marco, determinar la amenaza en una zona es indispensable y a su vez, una herramienta fundamental para la ordenación del territorio, tal como lo menciona Aristizábal *et al.* (2019), porque permite reducir efectivamente las condiciones de riesgo actual, y prevenir la configuración de nuevas condiciones de riesgo. De esta manera, se puede señalar y delimitar las zonas que están más, medianamente o menos expuestas a que se presente este tipo de eventos.

Conforme a lo anterior, el territorio colombiano es uno de los países andinos que se ha visto afectado por el fenómeno de remoción en masa, debido a la geodinámica del territorio que se expresa en geoformas como montañas, llanuras, laderas, valles y mesetas, los cuales proceden, como lo menciona el Servicio Geológico Colombiano - SGC, de la interacción de tres placas tectónicas principales, tales como la Suramericana, Nazca y Caribe, lo que genera la presencia de cadenas montañosas jóvenes, que favorecen la ocurrencia de sismos, erupciones volcánicas y movimientos en masa (SGC, 2017).

Es así que en el año 2010 el Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS, publica el Mapa Nacional de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, el cual categoriza el 63% del territorio nacional como amenaza baja, el 18% como amenaza media, el 16% en amenaza alta y finalmente el 3% en amenaza muy alta por movimiento en masa, dando evidencia a que este fenómeno puede causar múltiples daños, tanto a nivel nacional, regional y local (p 127).

De este modo, en correspondencia con los registros reportados por el Sistema de Información de Movimientos en Masa - SIMMA del SGC, desde 1900 hasta 2017, en el país se han presentado 16.969 movimientos en masa, que se han manifestado principalmente en el departamento de Antioquia, seguido de Cundinamarca y Cauca. Dentro de estos eventos de movimientos en masa, se resalta el deslizamiento de Villatina, Medellín, Antioquia, ocurrido en 1987 con 450 personas fallecidas y 1700 damnificados, el flujo de tierra de San Cayetano, Cundinamarca en 1999, donde se tuvo que evacuar y reubicar la totalidad del casco urbano, asimismo, deslizamientos múltiples: San Carlos, Antioquia en 1990 que deja 20 víctimas y 27 viviendas destruidas, entre otros (PMA-GCA, 2007).

En el caso del departamento del Cauca, según datos de la Oficina Asesora para la Gestión del Riesgo de Desastres Cauca (OAGRD, 2019) desde 1975 hasta 2018 se han reportado alrededor de 500 eventos de movimientos en masa, asociados a deslizamientos, derrumbes, flujos y caídas, los cuales han afectado a 33 municipios y más de 105.906 personas (Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres. En este aspecto, este departamento es la entidad donde se localiza el municipio de San Sebastián, el cual se precisa como el caso de estudio del presente artículo, teniendo en cuenta, la topografía de la zona y su interacción con el medio que lo rodea.

Este estudio tiene como objetivo principal examinar las condiciones de amenaza por movimientos en masa presentes en el municipio de San Sebastián, lo cual permite tener un acercamiento a las zonas de mayor exposición ante este fenómeno dada la información recolectada, asimismo, brinda un conocimiento previo del territorio para estudios posteriores que permitan una intervención oportuna que ayude a reducir o mitigar su impacto. Por lo tanto, para dar alcance a la investigación, se aplicó el método heurístico, el cual permitió categorizar y ponderar las variables seleccionadas para determinar la susceptibilidad y amenaza de la zona considerando su nivel de influencia en el desarrollo de movimientos en masa, de igual forma, se tiene en cuenta el registro de movimientos en masa para validar la cartografía, el conocimiento previo de expertos en el tema e información de fuentes secundarias para fortalecer el documento

y el uso de los Sistemas de información geográfico (SIG) para consolidar la cartografía final de cada punto.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de San Sebastián el cual se localiza al sur del departamento del Cauca, sobre la Cordillera Central del sistema montañoso de los Andes, se denomina, corazón del Macizo Colombiano o estrella fluvial, por su importancia geográfica e hídrica a nivel nacional, por desprenderse de él varias fuentes hídricas que abastecen del recurso al país, como es el caso, del río Magdalena, Patía, Cauca y Caquetá, asimismo, la cadena de lagunas, Magdalena, Santiago, Cusiyaco y Sucubúm que se encuentran ubicadas en el corregimiento de Valencia, municipio de San Sebastián, Cauca y el departamento del Huila (Alcaldía municipal de San Sebastián, 2010).

Se encuentra entre las coordenadas geográficas $1^{\circ} 50' 15''$ de latitud Norte y $76^{\circ} 46' 7''$ de longitud Oeste de Greenwich, a una distancia de la capital del departamento del Cauca de 220 kilómetros por vía carretable. Sus pendientes varían de una altura máxima de 4.080 m.s.n.m. al nororiente del municipio y una mínima de 1.380 m.s.n.m. al suroccidente, permitiendo contar con cuatro pisos térmicos: páramo, frío, templado y cálido (Alcaldía municipal de San Sebastián, 2010).

Se caracteriza por tener una topografía conformada por fuertes montañas y valles profundos que influyen en el desarrollo de deslizamientos, flujos torrenciales y de escombros, de igual forma, cuenta con el sistema de fallas geológicas que atraviesan el municipio, como el sistema de fallas Romeral que inciden en los procesos erosivos y desestabilización del terreno por estar constituido de materiales poco consolidados como depósitos volcánicos, rocas foliadas o fuertemente fracturadas y alteradas disponibles en el territorio (CMGRD, 2012)

Abarca un área de 38.900 ha que equivale a 389 km², los cuales se distribuyen en siete corregimientos; Rosal, Marmato, Paramillos, Santiago, Valencia, Venecia y San Sebastián, como se evidencia en la

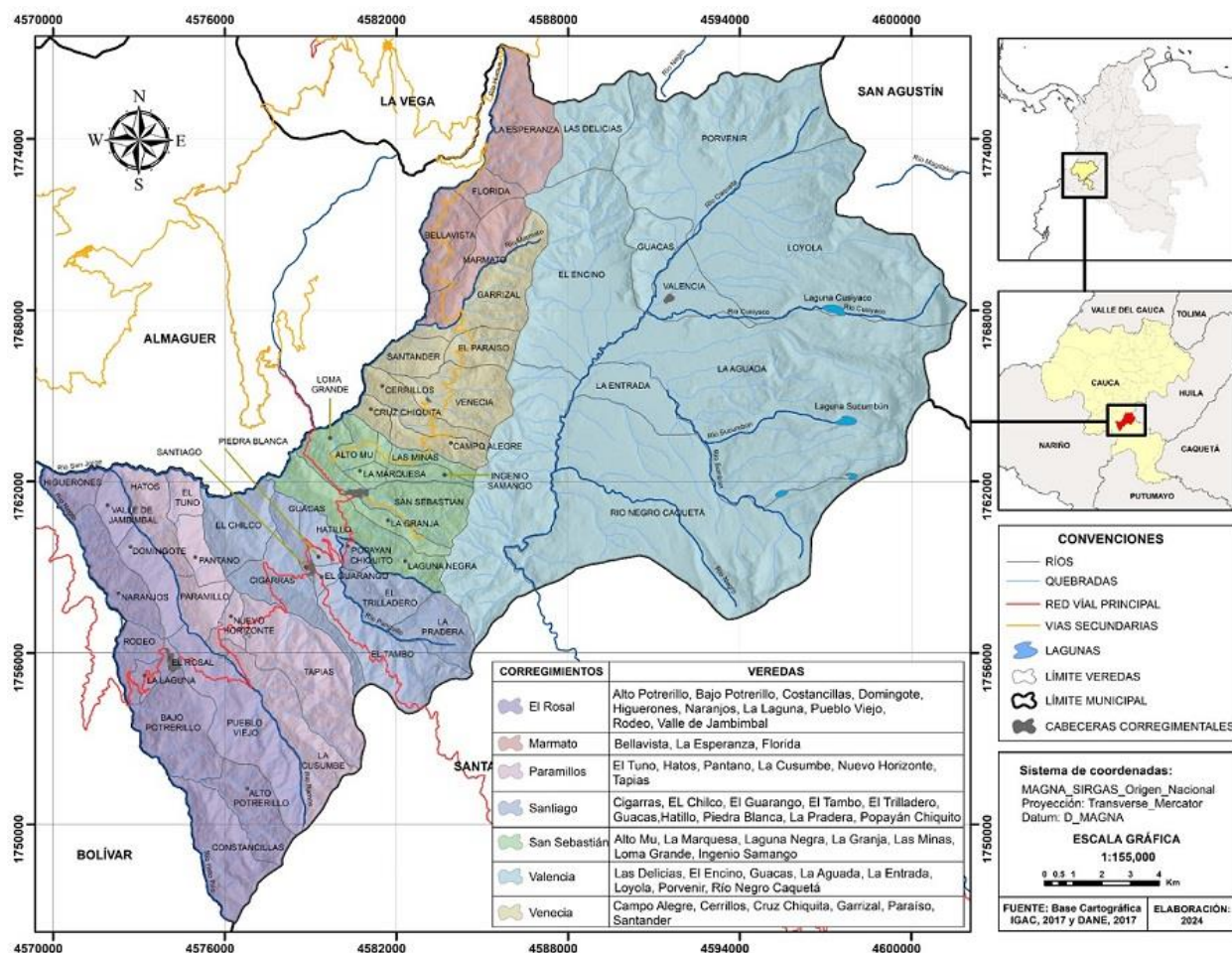


Figura 1. Asimismo, se subdividen en 50 veredas, un resguardo de la etnia Yanacona legalmente constituido y el cabildo indígena Papallaqta organizado en el corregimiento de Valencia (Alcaldía municipal de San Sebastián, 2010). El municipio cuenta con una población total de 10.948 habitantes, donde 10.280 hacen parte de los centros poblados y zona rural dispersa y 668 conforman la cabecera (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018).

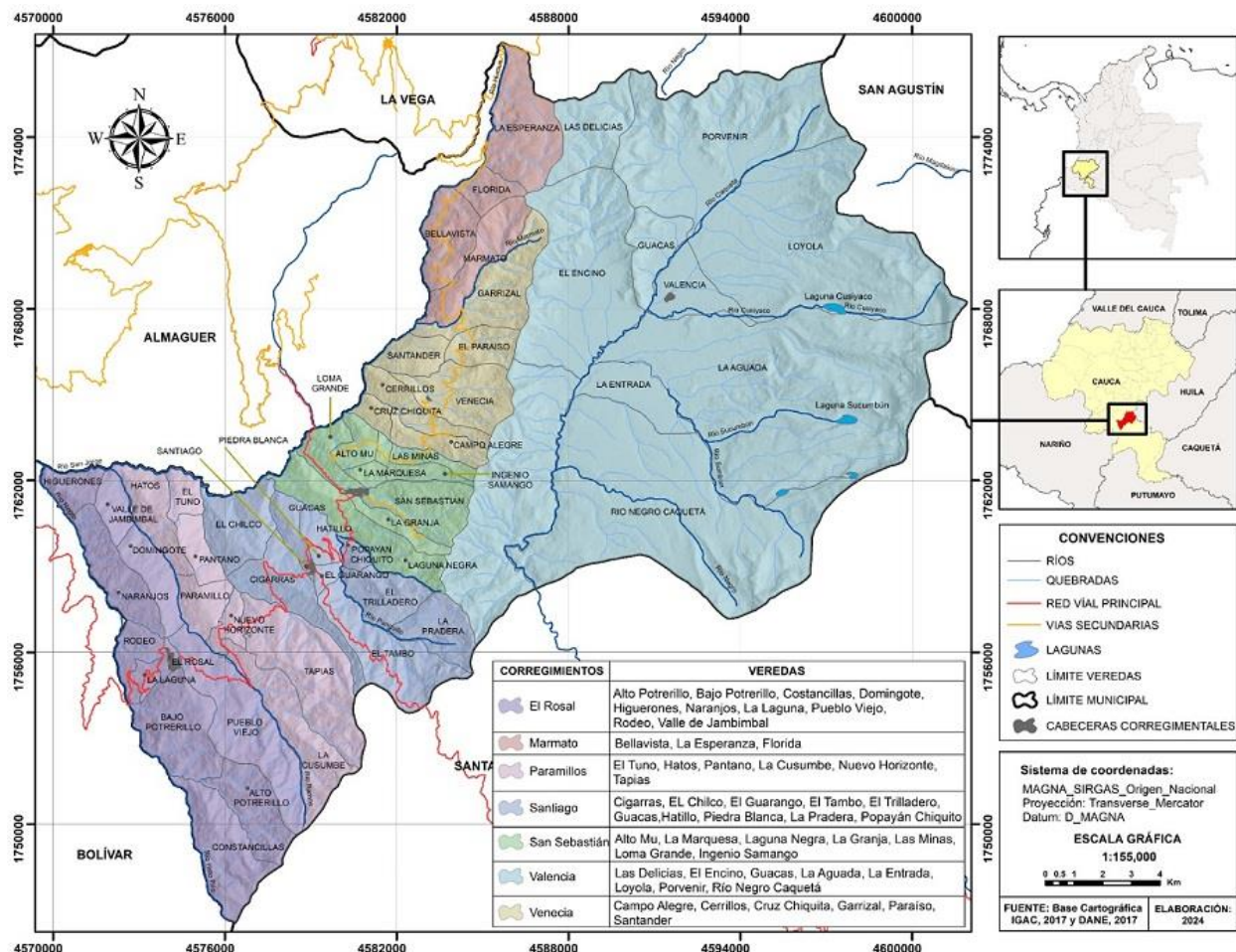


Figura 1. Localización geográfica del municipio de San Sebastián, Cauca

Fuente: elaboración propia.

Económicamente el municipio, se desenvuelve a través de la práctica agropecuaria, en la cual se cultivan productos como la papa, cebolla y ulluco que se dan principalmente en el Valle de la papas, asimismo, se siembra maíz, café, caña panelera, entre otros, que se destinan para el autoconsumo y se designan como una de las fuentes principales de ingreso de la población a lo largo y ancho del municipio, adicionalmente, se cuenta con la actividad pecuaria y la piscicultura que con el pasar del tiempo han logrado introducir niveles apreciables de tecnificación permitiendo generar mayor economía a la zona, como también es el caso de una parte del Parque Nacional Puracé por su atractivo eco turístico (Alcaldía municipal de San Sebastián, 2024).

2.1. Métodos y fuentes de datos

En el presente estudio se empleó un enfoque metodológico mixto, que dio lugar a momentos cualitativos y cuantitativos mediante la articulación de información documental y cartográfica.

En este sentido, se dispone de métodos heurísticos para asignar los pesos correspondientes a cada una de las variables utilizadas para el cálculo de la susceptibilidad y amenaza de la zona, en busca de facilitar la toma de decisiones. Por otra parte, se recurre al uso de los Sistemas de Información Geográficos como ArcGIS, para consolidar la cartografía de los distintos puntos a evaluar, permitiendo ponderar, combinar y codificar datos e información disponible en planchas, imágenes satelitales y datos vectoriales.

De este modo, el presente artículo aborda dos fases: la primera evalúa el nivel de susceptibilidad del terreno con relación a las condiciones físicas que interactúan en él, para ello, se tiene en cuenta técnicas como la ponderación de doble entrada, método AHP y conocimiento de experto. La segunda fase mide el nivel de amenaza de zona, con base al resultado final de la susceptibilidad y los agentes detonantes que intervienen en el terreno, en este caso la precipitación.

Recolección y análisis de datos

La base de datos se compone de información secundaria obtenida de diferentes entidades e institutos como el Servicio Geológico Colombiano - SGC, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, el Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, asimismo información construida a partir de documentos que sirvieron de apoyo en la validación y asignación de métodos apropiados para cada uno de los factores a evaluar, en este caso, la Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25.000 (SGC, 2017) y la metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa (IDEAM, 2012).

Fase 1. Cálculo de susceptibilidad

Para evaluar la susceptibilidad del terreno frente a movimientos en masa en el municipio de San Sebastián, se tuvo en cuenta el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad general del terreno a movimientos en masa (IDEAM, 2012), el cual permite tener una base para la selección de información a trabajar, de igual forma, pautas para el procesamiento y consolidación de datos que finalmente ayudan en la elaboración de la salida gráfica de la susceptibilidad.

El nivel de susceptibilidad en el municipio se estableció a partir de cinco variables: geología, geomorfología, pendientes, cobertura de Tierra y suelos. A continuación, se hace mención de cada una.

Pendientes

La variable de pendientes se obtuvo a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) descargado de la página web Alaska Satellite Facility, del Radar Alos Palsar, con resolución de 12,5 metros por pixel, este permitió generar las curvas de nivel del área de trabajo, a su vez, el mapa de sombras y, por último, la salida gráfica de las pendientes

Geología

La geología de la zona fue generada con información de las Unidades cronoestratigráficas a escala 1:100.000 adquirida de la base de datos del SGC (2015), de la cual se obtuvo un recorte solo de los datos que hacen parte del municipio, lo mismo que se hizo con las líneas referentes a las fallas geológicas.

Geomorfología

Desde la página web del SGC se descarga la información de la plancha 387 Bolívar, escala 1:100.000, en formato vectorial, de la cual se extraen los datos de las unidades geomorfológicas que hacen parte del contorno del municipio.

Suelos

En el reconocimiento de suelos del área de estudio, desde el Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se descarga los datos vectoriales del “Mapa de suelos del territorio colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Cauca”, procediendo hacer un recorte de las unidades taxonómicas pertenecientes al municipio.

Cobertura de Tierra

Los datos de la cobertura de Tierra son extraídos del Geoportal del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) a escala 1:100.000, estos son procesados en el software ArcGIS 10.5 para hacer un recorte de la información que únicamente abarca el municipio de San Sebastián, la cual es utilizada para el procesamiento final.

Clasificación y ponderación de las variables

Una vez definidas las variables, se determina el nivel de importancia de cada una partiendo de la metodología heurística, desde el tipo de análisis de mapa de combinación cualitativo, donde el científico usa su criterio experto para asignar pesos a una serie de mapas parámetro (Castillo & Zúñiga, 2017), en ese marco, se utiliza el método de decisión multicriterio Analytic Hierarchy Process (AHP) para ponderar las variables seleccionadas tal como se relaciona en la tabla 1, sin embargo, este proceso se valida a través de un experto en la temática y el conocimiento propio de la comunidad que hace parte del territorio a estudiar.

Tabla 1. Pesos asignados a cada variable.

Variables	Pesos (%)
Pendiente	35
Geología	31
Geomorfología	21
Suelos	9
Cobertura de Tierra	5

Fuente: elaboración propia.

Por último, se utiliza el método de la combinación lineal ponderada o WLC por sus siglas en inglés que se caracteriza por ser un método simple para la agregación de los criterios de evaluación en un criterio de calificación. Por lo tanto, se aplica la ecuación 1, para determinar el índice de susceptibilidad a movimientos en masa (IS) que se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP) (INGEOMINAS, 2010).

$$IS = \sum_{i=1}^n Ci * Vi$$

Donde, *IS* es el índice de Susceptibilidad, *n* indica el número de variables, *Ci* es el criterio de evaluación y *Vi* es el peso de cada variable.

En la cartografía de susceptibilidad obtenida, se emplea el método de clasificación estándar, que categoriza la susceptibilidad en tres rangos: alto, medio y bajo. Además, mediante el método de cuantiles, que distribuye los valores en partes iguales, se define la ponderación correspondiente a cada categoría (Tabla 2). Esta metodología sigue los lineamientos de la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 propuesta por el SGC (2017).

Tabla 2. Clasificación susceptibilidad.

Rango	Categoría de susceptibilidad	Color	
0,8 – 1,3	Baja	Verde	
1,3 – 1,7	Media	Amarillo	
1,7 – 2,3	Alta	Rojo	

Fuente: elaboración propia.

Validación de información

Para validar la información final de este proceso se realiza un ejercicio de calibración con los registros de deslizamientos almacenados por el SIMMA para el año 1982 – 2020 en el municipio

de San Sebastián y los datos que corresponden al inventario de movimientos en masa identificados y reportados en la plancha 387 – Bolívar, disponible en la base de datos del SGC.

Fase 2. Cálculo de amenaza

Una vez obtenida la susceptibilidad del terreno, se analizan los factores externos que pueden detonar los movimientos en masa, en este caso, la precipitación y sismicidad, que al presentarse en una zona inestable de manera prolongada o de mayor intensidad, pueden llegar a ocasionar muchos daños.

Factor detonante precipitación

La precipitación del área de estudio se determinó con datos recolectados de ocho estaciones meteorológicas; dos hacen parte del municipio de San Sebastián, como es el caso de la estación Valencia (climatológica) y Santiago (pluviométrica), las otras seis se encuentran distribuidas en municipios aledaños, tal como la estación Hidromayo, Los Milagros, El Rodeo, La Vega, Villa Fátima y Santa Rosa, esta información fue descargada de la página del IDEAM, para el periodo de lluvias de 1983 a 2019.

Estimación de datos faltantes

Teniendo en cuenta que en algunas estaciones la información de la distribución de precipitación no está completa, se procede a calcular los datos faltantes de algunos meses, aplicando el método de proporciones normales, el cual se encarga de rellenar los espacios vacíos estableciendo una razón de proporcionalidad entre la precipitación mensual y anual, como bien lo menciona Montealegre (2009) (citado por Castro & Carvajal, 2013) y se evidencia en la ecuación 3.

$$X = \frac{Pa * \bar{x}}{Pma - \bar{x}}$$

Donde, X representa la precipitación del mes faltante, Pa es la precipitación total anual del mes faltante, Pma indica la precipitación total multianual y $\bar{x}$ es la precipitación promedio del mes faltante.

En esta medida, para determinar la amenaza en la zona de estudio, se aplica la metodología heurística, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por medio de la herramienta algebra de mapas del software ArcGIS. Para ello, se aplica la fórmula (2) en la cual, se integran ambos factores, multiplicando el mapa final de susceptibilidad con el resultado del factor condicionante por el valor porcentual asignado y a su vez, se suma ambos productos.

$$A = \sum [(IS * Pe1) + (FD * Pe2)]$$

Donde, Is es el índice Susceptibilidad, Pe1 indica el peso de la susceptibilidad, FD es el factor detonante y Pe2 es el peso del factor detonante.

El resultado final de este proceso se clasifica en amenaza alta, media y baja según la propuesta metodológica del SGC (2017), de este modo, se tiene la salida grafica de la amenaza por movimientos en masa en el municipio de San Sebastián, Cauca.

3. Resultados

3.1. Evaluación de la susceptibilidad del terreno

A continuación, se presenta la evaluación de la susceptibilidad del terreno teniendo en cuenta las variables seleccionadas, en este caso pendiente, geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra.

Descripción de variables

En el procesamiento de cada una de las variables, se determina que el 43% de las pendientes que hacen parte de la zona de estudio, corresponden a un rango abrupto de 19 a 40°, lo que contribuye a que haya una alta tendencia a generar movimientos en masa debido a su inclinación, asimismo, se cuenta con pendientes muy inclinadas de 11 a 19° que abarcan 9336, 85 ha, es decir, el 22% del área total del municipio, indicando una moderada tendencia a presentarse este tipo de eventos. Por otro lado, se tiene también pendientes menores a 7°, de 7 a 11° y mayor a 40° que influyen en el municipio, pero se presentan en menor proporción.

En cuanto a la geología, el Complejo Quebradagrande es la unidad cronoestratigráfica que predomina en la zona de estudio, ocupando 12967,67 Ha (31%), seguido de los Depósitos volcánicos no diferenciados con un 21% y el Complejo Arquía con 7690,71 Ha (18%). En este sentido, los compuestos que hacen parte de estas y otras unidades que están disponibles en el municipio, son propensos a la desestabilización del terreno y a la posible presencia de deslizamientos, debido a procesos de meteorización que se dan en la zona al estar condicionada por el Sistema de Fallas Romeral, como es el caso de los esquistos, que al ser una roca foliada con alto contenido de Mica tiende a ser menos resistente, por otro lado, está la cuarcita y neis, anfibólicos y sericíticos, entre otros.

Para el caso de la geomorfología, se cuenta con cinco ambientes morfogénicos: denudacional, estructural, fluvial, glacial y volcánico, donde, la unidad sierra denudada que hace parte de procesos erosivos predomina a nivel municipal ocupando 7594,10 Ha, es decir, el 18% de las 35 unidades presentes, lo que conlleva a que estas zonas por tener pendientes muy pronunciadas y una morfología montañosa y elongada de laderas largas, estén más propensas a verse afectadas por procesos de erosión acentuada en sustratos ígneos y metamórficos tal como lo manifiesta el SGC y Universidad Nacional de Colombia – UNAL, (2013), por otro lado, se tiene flujo lahárico aterrazado, flujo glacial, lomo denudado bajo de longitud larga, ladera erosiva, entre otros.

Los suelos predominantes en la zona de estudio, están representados por la Asociación: Typic Hapludands; Typic Fulvudands; Andic Dystrudepts; Afloramientos rocosos con el 36,9% y la Asociación: Acrudoxic Fulvudands; Pachic Fulvudands; Typic Hapludands con 31,6%, estos son suelos que presentan condiciones aptas para el drenaje y se desarrollan a partir de cenizas volcánicas que en unos casos cubren total o parcialmente rocas ígneas o materiales metamórficos, como las diabasas, andesitas, filitas, entre otros, asimismo, su profundidad tiende a variar de profundos, moderadamente profundos a superficiales, sin embargo, son propensos a la presencia de procesos erosivos u erosión hídrica que desencadenan movimientos en masa, lo cual genera impactos recurrentes en el municipio.

Dentro de las coberturas de tierra que predominan en el municipio, el bosque denso tiene mayor representatividad en la zona al ocupar el 28% del total de coberturas presentes, es decir, 11847,53 ha, lo que indica buena presencia arbórea y por ende buen balance del recurso hídrico para su conservación, el cual es representativo en la zona. Asimismo, está el mosaico de pastos con espacios naturales (16%), pastos limpios (14%) herbazal (13%) y en menor proporción pastos enmalezados (2%), mosaico de cultivos con espacios naturales (2%), bosque fragmentado (2%) y bosque de galería y ripario (1%), lo que denota, un uso de suelo heterogéneo y medianamente equilibrado al contemplar formaciones naturales y otras destinadas para la producción agrícola y pecuaria.

Teniendo consolidada la información de cada una de las variables que intervienen en la zona para que esta sea susceptible, se corre el modelo espacial aplicando el método de combinación lineal ponderada, del cual se obtiene como resultado una susceptibilidad alta, media y baja a nivel municipal tal como se representa en la figura 2.

En el municipio de San Sebastián, la susceptibilidad alta se encuentra en mayor extensión, abarca el 38% del área total, es decir, 15.945 ha las cuales se distribuyen principalmente hacia la zona sur, comprendiendo las veredas que hacen parte del corregimiento del Rosal, Paramillos y Santiago; asimismo, veredas que se encuentran al occidente del municipio y conforman el corregimiento de San Sebastián, Venecia y Marmato. Por lo tanto, el estado de la zona permite que haya mayor incidencia de movimientos en masa por la inestabilidad del terreno, al contar con un sistema de fallas que lo atraviesa, en esta instancia falla Silvia-Pijao, Las Estrellas, Las Animas, entre otras, que crean rupturas o fracturamiento en los compuestos que conforman la litología, en este caso, depósitos que son poco consolidados y que estructuralmente son inestables por tener una baja resistencia, alto fracturamiento y baja cohesión interna. Adicionalmente, una topografía conformada por fuertes montañas de carácter volcánica estructural erosional y estructural erosional, de igual forma, pendientes mayores a los 20 grados y coberturas de tierra de pastos enmalezados y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.

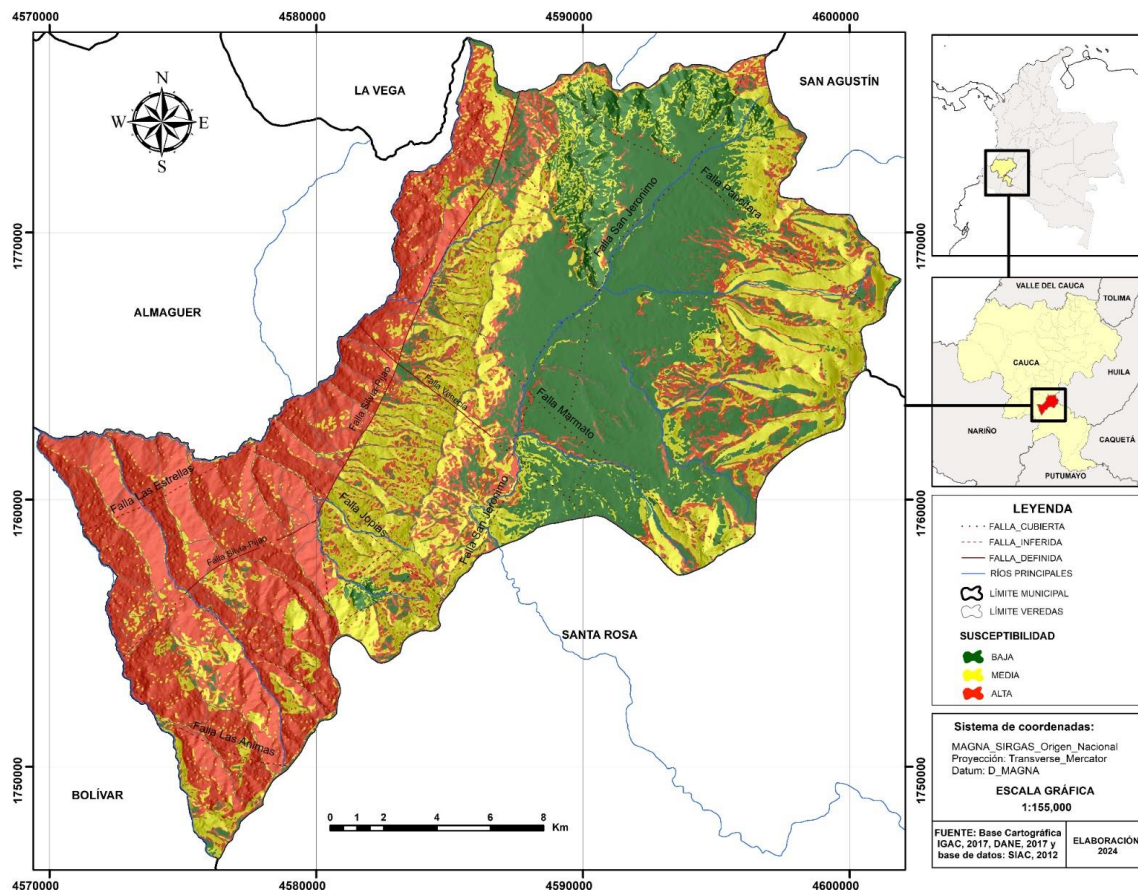


Figura 2. Susceptibilidad por movimientos en masa en el municipio de San Sebastián.

Fuente: elaboración propia.

La susceptibilidad media comprende 12.635 ha que equivalen al 30% del área total, se encuentra disponible principalmente en el centro y nororiente del municipio, cubriendo una parte del corregimiento de Santiago, San Sebastián, Venecia, Marmato y Valencia. Esta zona se caracteriza por tener pendientes inclinadas a abruptas con tendencia moderada a generar movimientos en masa, asimismo, cuenta con suelos moderadamente profundos a superficiales, un buen drenaje y texturas moderadamente gruesas. La cobertura disponible son bosques de galería y ripario, además de bosques fragmentados y arbustales.

La susceptibilidad baja se localiza en mayor medida en el corregimiento de Valencia y veredas que lo componen, ocupa el 33% del área total que corresponde a 13.754 ha, donde la inclinación

de las pendientes son planas a suavemente inclinadas, los suelos tienden a ser profundos a muy profundos, con un buen drenaje y texturas moderadamente gruesas y gruesas. Los ambientes que predominan en la zona son de tipo fluvial y volcánico, como la llanura de inundación, abanicos fluvio torrenciales, flujos laháricos aterrazados y escarpes de flujos laháricos aterrazados. La figura 3 representa los niveles de susceptibilidad por movimientos en masa mencionados anteriormente.

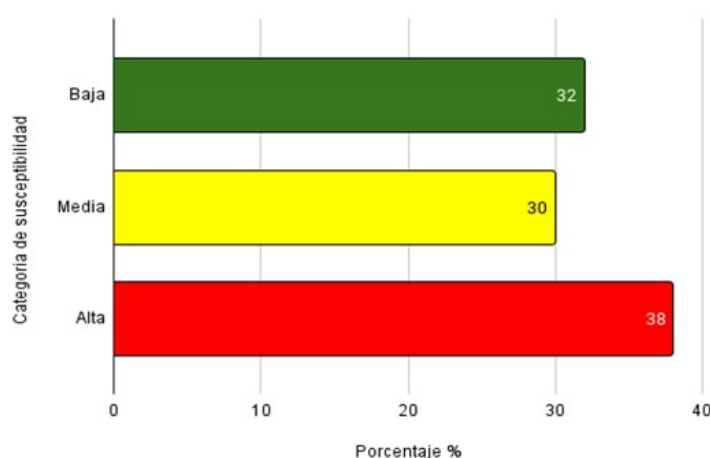


Figura 3. Categoría de susceptibilidad.

Fuente: elaboración propia.

Validación del modelo

La susceptibilidad por movimientos en masa al ser una representación de las condiciones de la zona, permiten determinar la fragilidad o grado de afectación que puede tener un terreno por las diferentes dinámicas que en él convergen, por ende, al contar con la información de eventos ya desarrollados y contrastarla con este modelo se puede inferir si el resultado es certero y se acerca a la realidad del territorio.

Inventario de Movimientos en masa

Mediante el cruce de información de los eventos reportados por el SIMMA y la plancha 387 – Bolívar del SGC, se aprecia que en el área de estudio se han presentado diversos deslizamientos

los cuales se localizan principalmente sobre terrenos con pendientes fuertes, lo que conlleva a una fragmentación en la zona por daños ocasionados en las viviendas, cultivos y población misma, tal como lo afirman habitantes del municipio que estuvieron en el acompañamiento para el reconocimiento de la zona y de igual forma los que aportaron en las entrevistas realizadas.

Se utilizaron métodos y herramientas de investigación social, concretamente se aplicó una encuesta acompañada de un taller de cartografía social para la recolección de información y para la sistematización de la representaciones e imaginarios de la comunidad sobre este fenómeno. Los resultados evidencian que la presencia de los derrumbes, deslizamientos o movimientos en masa en la zona, se debe a la inestabilidad del terreno, a las fuertes lluvias que se han ido presentando con el tiempo, la intervención antrópica sobre el suelo, en este caso para el regadío de cultivos, tala de bosque, canalización de aguas sin normas técnicas, construcciones indebidas, entre otros, lo que ha generado, pérdida de banca, derrumbes sobre bocatomas que abastecen de agua a las veredas, daños en las vías, fisuras o agrietamientos en las viviendas e incluso la muerte de uno de sus habitantes.

En la tabla 3 se presentan los resultados correspondientes al reporte del SIMMA y la validación de la comunidad.

Tabla 3. Inventario de movimientos en masa.

Inventario de movimientos en masa			
Fecha de evento	Latitud	Longitud	Tipo de movimiento
01/01/1982	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
22/01/1982	1° 57' 36.59"	-76° 41' 56.2"	Deslizamiento
07/01/1998	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
12/01/2000	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
14/03/2000	1° 50' 20"	-76° 46' 7"	Deslizamiento
14/04/2000	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
23/05/2000	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
2/11/2000	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
15/01/2004	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
10/01/2008	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
01/08/2008	1° 51' 57.91"	-76° 42' 24.14"	Deslizamiento
30/04/2010	1° 54' 47"	-76° 42' 30"	Deslizamiento

06/05/2010	1° 48' 0"	-76° 49' 48"	Deslizamiento
01/06/2010	1° 43' 12"	-76° 48' 0"	Deslizamiento
3/12/2010	1° 50' 18"	-76° 46' 7"	Deslizamiento
16/01/2011	1° 48' 36"	-76° 48' 36"	Deslizamiento
01/04/2020	1° 46' 41.87"	-76° 45' 19.06"	Deslizamiento
14/05/2020	1° 47' 6"	-76° 45' 54"	Deslizamiento

Fuente: elaboración propia con datos del SGC – SIMMA, (2022).

Superponiendo el modelo final de la susceptibilidad con la capa de la distribución de los deslizamientos a nivel municipal se ratifica que los puntos de muestreo tienen correspondencia con las zonas calificadas como alta y medianamente susceptibles ante este tipo de eventos, de igual forma, aquellas que no lo han estado, pero que debido a las condiciones del sitio podrían verse afectadas, por lo tanto, hay consistencia en la información final como se representa en la Figura 4, en esta medida este resultado es pertinente y puede ser referencia para futuras investigaciones.

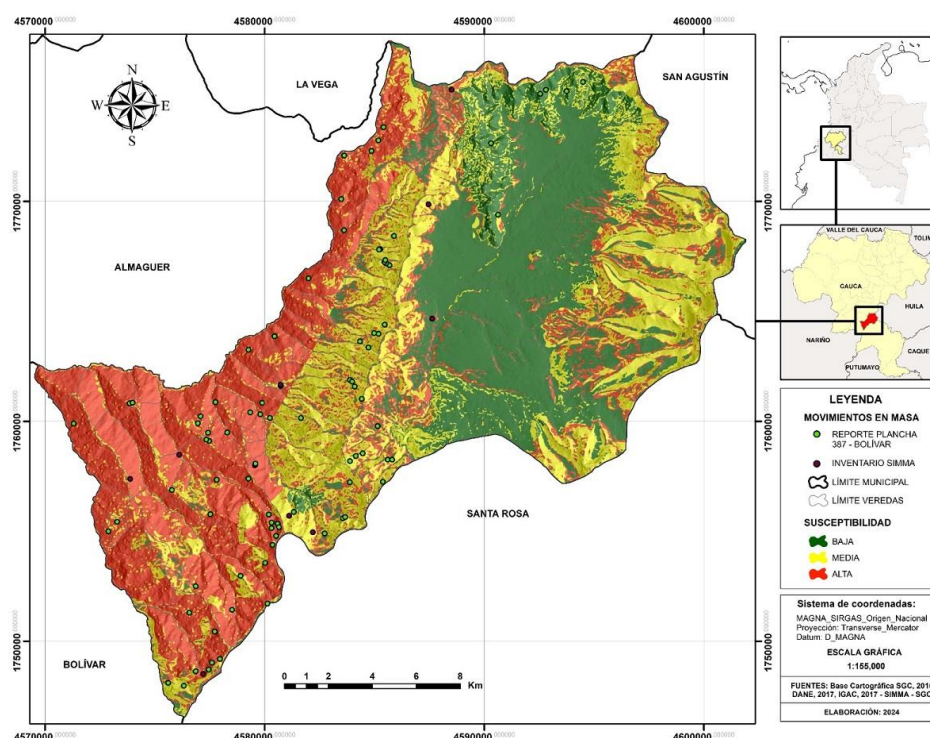


Figura 4. Relación mapa de susceptibilidad y eventos históricos de movimientos en masa

Fuente: elaboración propia

3.1. Evaluación de la amenaza

En la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se reconocen como factores detonantes principales los sismos y las precipitaciones, ello permite reconocer que sumado a las condiciones de contexto puede darse lugar a la presencia de factores que resultan activadores del fenómeno estudiado, en este sentido se consideró el estudio solo con el factor detonante precipitación dado que este cuenta con información detallada de las lluvias presentes en la zona por un periodo de tiempo determinado, para el caso del detonante sismo, la información disponible no está a detalle sino generalizada, por lo tanto, no es posible diferenciar los distintos valores de aceleración en el área de estudio, y de este modo, obtener resultados favorables en la estimación de la amenaza.

Descripción de variables

De acuerdo con la información obtenida de las ocho estaciones meteorológicas, se determina que el periodo que mejor se ajusta al análisis de distribución de la precipitación en el área de estudio es a partir de 1983 a 2019, teniendo en cuenta, que el porcentaje de datos faltantes es bajo, por lo tanto, el ajuste con el método de proporciones normales fue mínimo.

En este sentido, relacionando los datos de cada una de las estaciones se aprecia dos regímenes de lluvia, el primero se trata del régimen de lluvia unimodal, que consta de un solo periodo de lluvias a nivel regional y se presenta en la estación Valencia ubicada en el municipio de San Sebastián y en la estación Villa Fátima localizada en San Agustín, Huila. De igual forma, se cuenta con el régimen de lluvia bimodal, donde hay regiones con dos periodos de lluvia, en ese caso, la estación Santiago, disponible en el área de estudio, asimismo, la estación Hidromayo Camp, Los Milagros, La Vega, El Rodeo y Santa Rosa, las cuales están instaladas en el área circundante al municipio.

En este marco, los valores promedios de lluvia de la estación Valencia tienden a variar entre los 78,7 mm/mes y 98,6 mm/mes, no obstante noviembre es el mes con mayor incremento en la precipitación con 121,2 mm/mes y septiembre el mes más seco con 56,4 mm/mes, tal como se

representa en la tabla 4, la cual recopila la información final de la precipitación mensual y anual de las estaciones trabajadas.

Por otra parte, la estación Santiago presenta valores promedios de precipitación que están entre 25,7 mm/mes, es decir, el valor más bajo y 198,2 mm/mes valor de mayor incremento, en esta instancia, la zona tiene un periodo seco que va desde el mes de junio a septiembre y dos periodos lluviosos, entre enero a mayo y de octubre a diciembre.

De este modo, la precipitación de las demás estaciones meteorológicas también tiende a variar como las mencionadas anteriormente, sin embargo, presentan el mismo régimen de lluvia (unimodal o bimodal).

Tabla 4. Precipitación promedio mensual y anual en mm.

Mes	Hidromayo Camp	Los Milagros	El Rodeo	Santiago	Valencia	La Vega	Villa Fátima	Santa Rosa
Ene	142,8	159,4	141,1	133,2	78,7	111,1	95,1	92,6
Feb	116,5	131,9	123,6	121,6	75,8	102,9	103,7	105,7
Mar	143,2	152,5	161,7	108,9	86,5	105,5	119,4	136,0
Abr	148	154,8	184,8	98,4	103,0	121,4	164,6	195,4
May	100,6	109,1	124,7	71,2	95,9	74,5	170,4	253,2
Jun	36,6	41,5	46,1	38,7	93,3	32,8	191	284,5
Jul	20,1	24,7	28,0	37,4	107,9	26,0	160,8	267,1
Ago	14,5	18,8	22,9	25,7	74,8	16,1	126,6	203,7
Sept	56,5	54,7	68,8	38,2	56,4	44,3	102,9	159,9
Oct	171,4	184,2	211,0	150,3	107,3	157,5	116,4	154,1
Nov	231,8	234,0	264,7	198,2	121,2	180,2	151,0	133,8
Dic	163,0	191,8	182,3	168,5	98,6	144,7	109,9	98,6
Anual	1344,9	1457,4	1559,7	1190,4	1099,5	1117,1	1611,8	2075,6

Fuente: elaboración propia con datos del IDEAM periodo 1983-2019.

Por lo expresado anteriormente, los datos recopilados en la tabla 4 permitieron generar el mapa de precipitación media anual a nivel municipal (Figura 5), en el cual se evidencia tres zonas con distintos niveles de precipitación. En el primer caso, las precipitaciones oscilan entre 1.049 milímetros a 1.191 milímetros anuales, presentándose en el 51% del territorio, principalmente hacia el occidente del corregimiento de Valencia que se caracteriza por pendientes de baja

inclinación, asimismo, Marmato, Venecia y algunas veredas que componen el corregimiento de San Sebastián, Santiago y Paramillos.

Por otro lado, están las precipitaciones que oscilan entre 1.191 mm a 1.333 mm anuales, abarca el 36% del área de estudio y se da sobre zonas que pueden ser muy factibles a desarrollar movimientos en masa, debido a las condiciones del terreno, nivel de inclinación de las pendientes, componentes del suelo, entre otros.

Finalmente, están las precipitaciones que tienen menor presencia porque ocurren en el 13% del municipio, sin embargo, son causales para que se generen múltiples daños en el territorio y en la población misma, de este modo, estas oscilan entre 1.333 mm a 1.475 mm anuales y se detonan principalmente al sur y oriente del corregimiento del Rosal, de igual forma, se dan al oriente del corregimiento de Valencia, específicamente en el límite que conecta con el municipio de Santa Rosa.

En este contexto, es importante resaltar que si estas precipitaciones se presentan de manera prolongada, inducen variaciones freáticas, debido a que saturan niveles profundos del terreno y facilitan el desencadenamiento o la reactivación de grandes inestabilidades, con superficies de rotura profundas. De igual forma, si estas son intensas de corta duración también pueden ser un agente que produzca inestabilidad superficial (Mergili et al., 2015), tal como se ha observado en algunas partes del municipio donde se han presentado deslizamientos a causa de las precipitaciones.

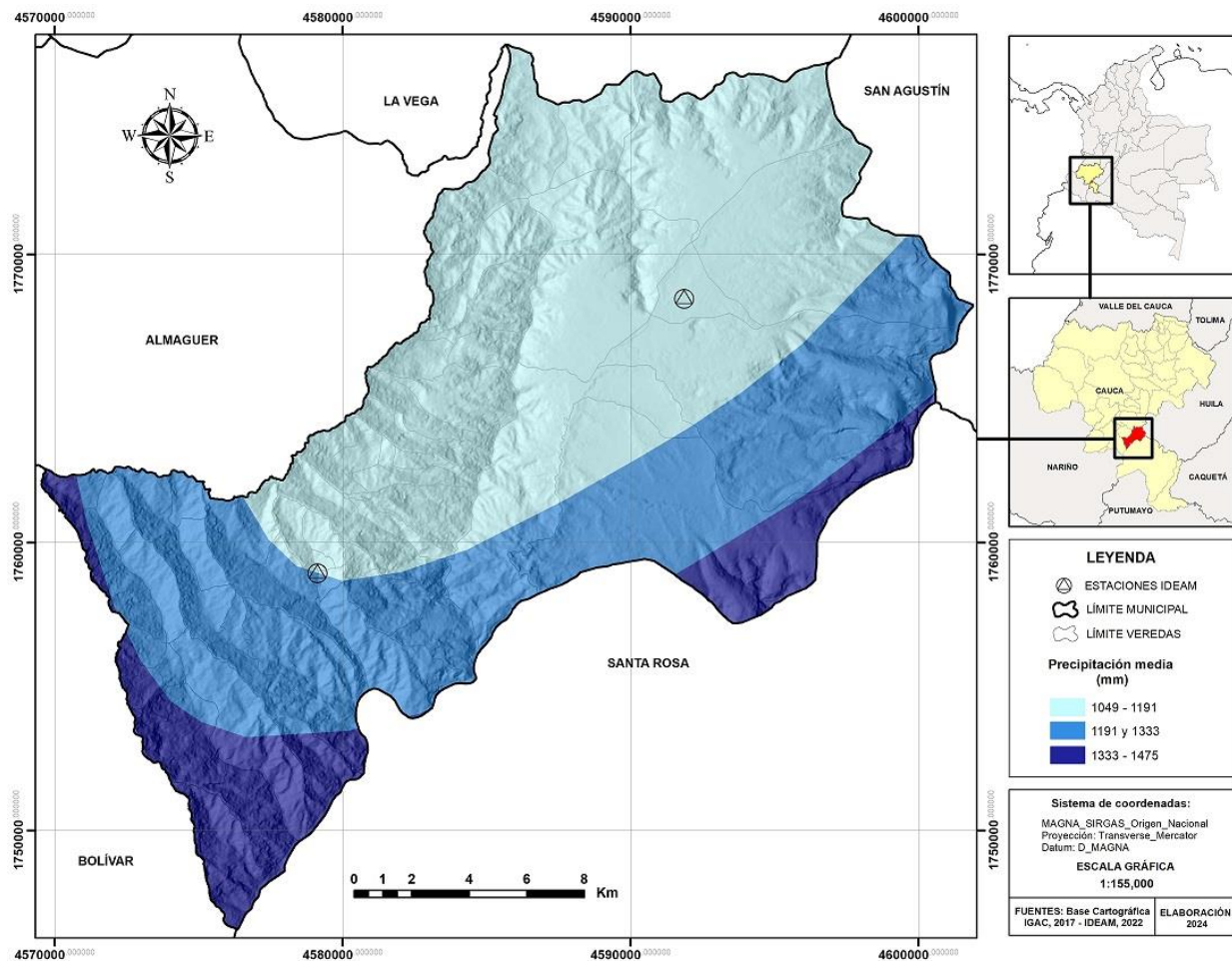


Figura 5. Precipitación media anual periodo 1983 – 2019.

Fuente: elaboración propia.

Escenarios de la amenaza

Con base en el estudio propuesto, la amenaza por movimientos en masa presente en el municipio de San Sebastián, se definió a partir de la superposición del resultado final de la susceptibilidad y el factor detonante precipitación.

En este orden de ideas, a ambas capas se les asignó un peso de acuerdo a su importancia en la zona y la experticia de algunos investigadores consultados, de este modo, la susceptibilidad cuenta con un peso del 70% debido a las dinámicas presentes en el territorio, como las

modificaciones que se han dado en el relieve a causa de procesos geológicos, pendientes del terreno, componentes del suelo, coberturas de tierra presentes y en ciertas partes la acción antrópica. Por otro lado, la precipitación recibió un peso del 30% porque a pesar de que este agente es de gran importancia para que se desarrolle un movimiento en masa, su actuar en el terreno no es constante y los niveles de pluviosidad no han sido reiteradamente altos para que se detonen fácilmente este tipo de eventos en esta zona.

Una vez realizado este procedimiento, se tiene como resultado el mapa de amenaza, el cual fue categorizado en tres rangos, alto, medio y bajo como se representa en la figura 6, por lo tanto, la información final se validó en campo con los mismos habitantes que hacen parte de este territorio y de igual forma con datos que estos aportaron de zonas donde se han presentado deslizamientos y otras donde pueden estar sujetas a este fenómeno por el grado de saturación presente en el suelo, grietas en el terreno, hundimientos, entre otros.

En este contexto, la amenaza alta en el municipio se encuentra en menor extensión, ocupa el 31% del área total, es decir, 12933,54 ha que están distribuidas principalmente hacia el occidente y una parte del sur oriente de San Sebastián. Por lo tanto, cubre gran parte de las veredas que conforman el corregimiento del Rosal y Marmato, asimismo, algunas veredas del corregimiento de Paramillos, Santiago, San Sebastián y Venecia, no obstante, se presenta en Valencia, pero en menor proporción.

De acuerdo a lo anterior, las zonas con este nivel de amenaza, se encuentra en terrenos alta y medianamente susceptibles, por estar sobre ambientes morfogenéticos de tipo estructural y denudacional, lo cual indica la formación de posibles procesos erosivos y por ende afectaciones sobre los suelos. Por otro lado, la presencia de fallas geológicas genera gran impacto sobre la litología de la zona, al incidir negativamente sobre la desestabilización de los taludes, puesto que algunos de los compuestos que hacen parte de estas unidades son de baja resistencia, así que, están más sujetos a los daños o deformaciones, como es el caso de los esquistos que conforman el Complejo Arquía. Asimismo, se presentan pendientes de gran inclinación que han reducido la estabilidad de la zona, a causa de procesos de meteorización sobre las rocas presentes, lo cual

ha producido un arrastre de este material y por ende mayor exposición de la roca a agentes como las precipitaciones, el viento, la temperatura y humedad del aire. Lo anterior es un ejemplo de la articulación de los procesos de contexto geológico de esta zona con la presencia de agentes activadores, en este caso, las precipitaciones.

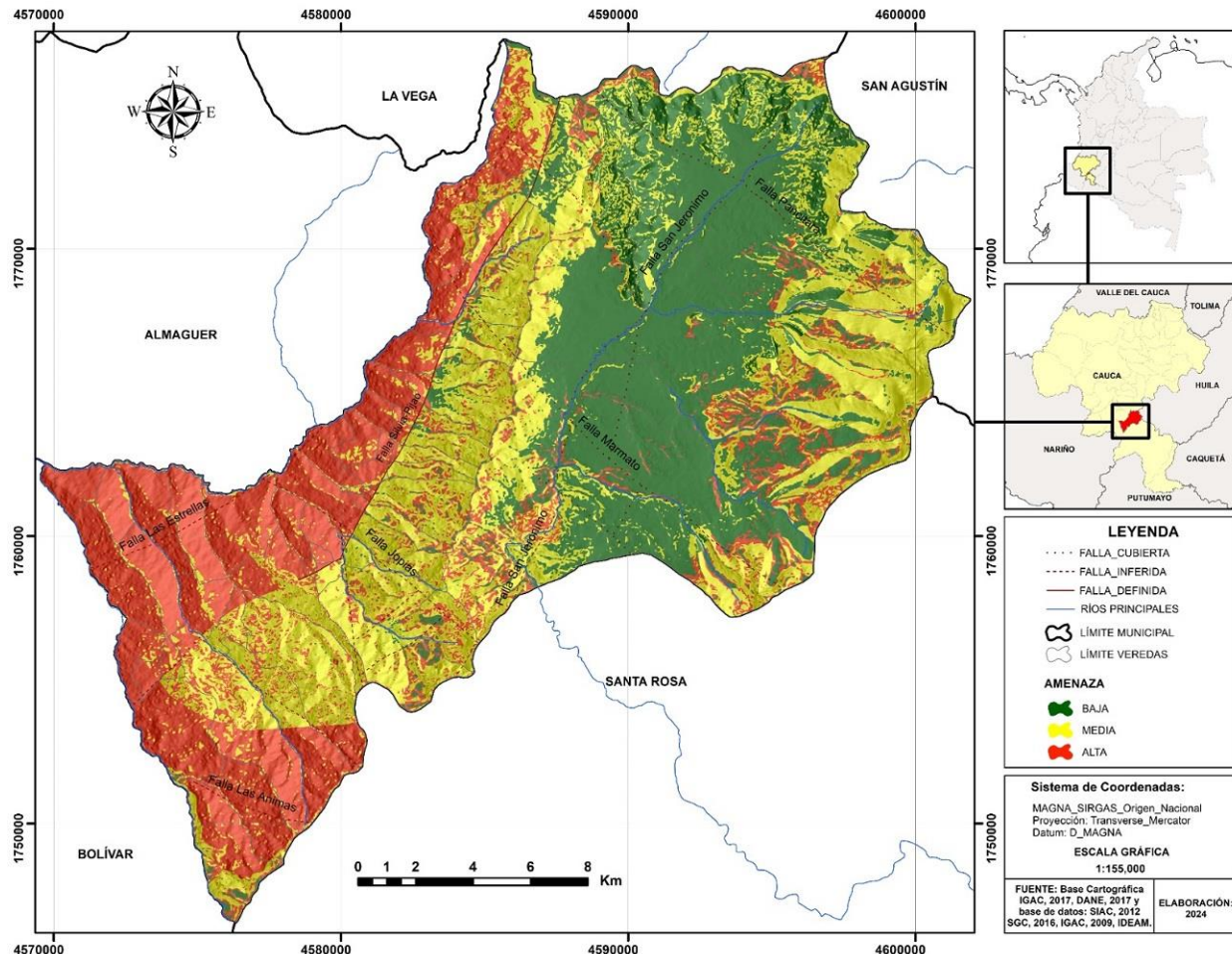


Figura 6. Amenaza por movimientos en masa en el municipio de San Sebastián.

Fuente: elaboración propia.

La amenaza media abarca 15454,91 ha que equivale al 37% del área total, está distribuida hacia el centro, suroriente y pequeñas áreas del nororiente y occidente del municipio de San Sebastián, por ende, cubre parcialmente las veredas que conforman el corregimiento del Rosal como es el

caso de Pueblo Viejo y Constancillas, asimismo, veredas del corregimiento de Paramillos, Santiago, San Sebastián, Venecia, Valencia y en menor extensión Marmato. En este sentido, las zonas con este nivel de amenaza se caracterizan por tener pendientes entre 11° y 50° de inclinación, lo cual es propicio para el desarrollo de movimientos en masa, sin embargo, pueden estar medianamente controlados por las coberturas de tierra presentes y uso del suelo mismo. Adicionalmente, está presente el Complejo Quebradagrande, que si bien, tiene suelos menos cohesivos lo cual ayuda a que haya menor retención de agua, sin embargo, la presencia de fallas puede generar inestabilidad debido a la posible meteorización presentada sobre las rocas del sitio.

Por último, la amenaza baja ocupa el 32% del área total del municipio, es decir, 13419,83 ha que se disponen principalmente en las veredas que conforman el corregimiento de Valencia, como es el caso de Río Negro Caquetá, Valencia, Guacas y Porvenir, asimismo, en pequeñas áreas del corregimiento de Santiago, Venecia y Marmato. Este nivel de amenaza coincide con zonas de baja pendiente, por lo tanto, la presencia de deslizamientos tiende a ser nula a baja, debido a los compuestos y resistencia del terreno ante agentes externos.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en relación con el análisis de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en el municipio de San Sebastián, coincide con diversas investigaciones realizadas en regiones montañosas de los Andes donde las características geológicas y geomorfológicas cumplen un papel trascendental en la generación de movimientos en masa, tal es el caso, de los estudios realizados por (Aristizábal et al., 2019; SGC, 2017) donde la topografía abrupta de la zona y, a su vez, la presencia de fallas geológicas fueron factores determinantes en la inestabilidad del terreno.

En este sentido, la susceptibilidad alta localizada en el 38% del área total de estudio, coincide con lo anteriormente mencionado, donde las pendientes pronunciadas y naturaleza de los materiales geológicos presentes son determinantes para la generación de estos eventos, de igual forma, la

presencia de fallas geológicas donde la litología está propensa a la meteorización y fracturamiento por compuestos como los esquistos.

Asimismo, la precipitación como factor desencadenante es consistente con lo reportado por Mergili et al. (2015), quienes acentúan que las lluvias prolongadas y de alta intensidad son un factor crítico en la reactivación de inestabilidades en terrenos previamente vulnerables. En este contexto, la precipitación promedio mensual de las estaciones meteorológicas del municipio presentan una variabilidad, donde muestran valores máximos de hasta 121,2 mm/mes en noviembre, lo cual refuerza la correlación entre los deslizamientos reportados y los eventos de lluvias intensas.

Con respecto a la validación de los modelos de susceptibilidad y amenaza, los deslizamientos históricos reportados por el SIMMA y el SGC tienen gran correspondencia con las áreas de alta susceptibilidad identificadas, lo que corrobora el acierto de los modelos propuestos, tal es el caso, de la eficacia de los modelos heurísticos y análisis multicriterio como el Analytic Hierarchy Process (AHP) utilizados y recomendados en los estudios metodológicos previos de zonificación de susceptibilidad en Colombia (IDEAM, 2012).

Por otra parte, se considera pertinente que para futuros estudios se incorpore factores detonantes, como la sismicidad, la cual no pudo incluirse en este análisis debido a la falta de datos locales. Es así que la integración del factor sismo en la zona podría mejorar considerablemente la evaluación del riesgo. Asimismo, es importante generar estudios más exhaustivos sobre los cambios en el uso del suelo y la influencia de la actividad antrópica en la susceptibilidad a movimientos en masa, tal cual lo sugiere Castillo & Zúñiga (2017) en sus estudios de análisis de coberturas de tierra.

En síntesis, los resultados de esta investigación no solo se ajustan a la literatura existente, sino que también aporta al conocimiento sobre los movimientos en masa en zonas andinas, generando datos valiosos para la gestión de riesgos del municipio de San Sebastián y áreas similares.

5. Conclusiones

El presente estudio permitió tener un acercamiento a la amenaza por movimientos en masa en el municipio de San Sebastián, lo cual fue propicio para establecer las zonas que dada sus condiciones físicas están más expuestas al desarrollo de este tipo de eventos, del mismo modo, reconoce la influencia del factor precipitación para que estos se detonen y de alguna forma impacten a la población.

De la cartografía elaborada se pudo contemplar que el 38% del área total del municipio responde a niveles altos de susceptibilidad, lo cual está orientado principalmente a la inclinación de sus pendientes, por estar mayormente por encima de los 15 grados, es decir, inclinadas, muy inclinadas a abruptas, asimismo, se atribuye a las discontinuidades presentes en terreno por la incidencia litológica de la zona que con el tiempo han generado diferentes rupturas sobre los taludes como es el caso del Sistema de Fallas Romeral que atraviesa gran parte del municipio, asimismo, los cambios en la cobertura de la tierra, a causa de la intervención antrópica por el uso indiscriminado o intromisión con cultivos que se han ido instalando con el tiempo.

Si bien lo anterior permite conocer las condiciones del terreno y los factores que inciden para que este sea susceptible, la información obtenida por el SIMMA, Servicio Geológico Colombiano y población misma, fue un importante insumo para correlacionar y a su vez, validar la cartografía elaborada, sin embargo, es indispensable que a nivel municipal se consolide un registro oficial de los movimientos en masa que se han desarrollado hasta el momento.

Por otro lado, contar con la distribución de la precipitación en un periodo de 36 años (1983 a 2019) permite reconocer las zonas en estado de amenaza, dado el factor detonante que incide sobre el terreno, por lo tanto, es factible para este caso, realizar un estudio a detalle que permita intervenir activamente sobre la población que sea susceptible a estos procesos.

Los resultados obtenidos en este estudio son de gran aporte al municipio, porque posibilita identificar las zonas más vulnerables frente a estos eventos. Asimismo, es pertinente para la gestión del riesgo y planificación territorial en zonas donde la geología, topografía y factores

climáticos, tiene gran incidencia a presentar movimientos en masa. Por lo tanto, facilita la toma de decisiones para implementar medidas de mitigación o planes de contingencia más efectivos que permitan prevenir futuros desastres, sin embargo, es necesario que en futuras investigaciones se genere una cartografía más detallada como es el caso de variables como la geomorfología, geología, cobertura de tierra y geotecnia.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

6. Referencias

Alcaldía Municipal de San Sebastián. Esquema de Ordenamiento Territorial – municipio de San Sebastián (2010). <https://www.yumpu.com/es/document/read/15580800/capitulo-2-corporacion-autonoma-regional-del-cauca>

Alcaldía Municipal de San Sebastián Cauca (2024). *Plan de Desarrollo Municipal 2024-2027*.

https://alcaldia-de-san-sebastian-cauca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldia-de-san-sebastian-cauca/content/files/000546/27275_pdt-ss-202427.pdf

Aristizábal, E., López, S., Sánchez, O., Vásquez, M., Rincón, F., Ruiz-Vásquez, D., Restrepo, S., y Valencia, J. S. (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>

Castillo Gonzáles, M., & Zúñiga, G. (2017). *Elementos para el análisis del riesgo por movimientos en masa en el sector “El Campito” del municipio Santander de Quilichao* [Tesis de pregrado]. Universidad del Valle.

Castro Llanos, D.A. y Carvajal Escobar, Y. (2013). Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca. *Memorias*, 11 (20), 9-17.

Changnon, S., Pielke, R.J., Changnon, D., Sylves, R., y Pulwarty, R. (2000). Human factors explain the increased losses from weather and climate extreme. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (3), 437 – 442.

Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres - CMGRD (2012). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de San Sebastián*. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/458/PMGR%20San%20Sebastian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2018). *DANE - Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

Hoppe, P. and Pielke Jr., R. A.: Workshop Summary Report, in: " Workshop on Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projections, edited by: Hoppe, P. and Pielke Jr., R. A., Hohenkammer, Germany, 4–12, 2006. http://sciencepolicy.colorado.edu/sparc/research/projects/extreme_events/munich_workshop/in

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS (2010). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, Escala 1:500.000*. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B8/21003050024427/Documento/Pdf/2105244271101000.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa*. Bogotá D.C. http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152732/Metodologia+suscept+FRM_oficial_final.pdf/6ded04e2-9378-440f-8902-2e6c92fcc745

Mergili, M., Santiago, C. I. M., y Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131.

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/59564/CONICET_Digital_Nro.36ddc4f0-3dc1-4ec6-8439-29a1c72ca525_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Morss, R.E., Wilhelmi, O.V., Meehl, G.A., y Dilling, L. (2011). Improving societal outcomes of extreme weather in a changing climate: An integrated perspective. *Annual Review of Environment Resources*, 36, 1-25. doi: 10.1146/annurev-environ-060809-100145.

Oficina Asesora para la Gestión del Riesgo de Desastres Cauca - OAGRD (2019). *Estrategia departamental para la respuesta a emergencias Departamento del Cauca*. http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28885/EDRE_%20Cauca_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas PMA-GCA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*, 4. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Geral-96.pdf>

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia. Una visión a escala 1:100.000* (1ra ed.). <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/36885?show=full&locale-attribute=en>

Servicio Geológico Colombiano – SGC - y Universidad Nacional de Colombia - UNAL (2013). Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa, escala 1:100.000. Plancha 37 Bolívar. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003010028417/Documento/Pdf/2105284171101000.pdf>