

**Zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masas en  
el Resguardo de Guambia, municipio de Silvia, departamento del  
Cauca.**

**Julieth Hurtado Tunubala**

**Jhon Sebastián Losada Suárez**

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Magister en teledetección, Ana María Giraldo Patiño

Línea de Investigación

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Programa Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

## Resumen

El proyecto de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en el Resguardo de Guambia, municipio de Silvia, Cauca, aplica la metodología Mora Vahrson (1992) para identificar y evaluar áreas vulnerables a deslizamientos y otros eventos de remoción en masa. Utilizando técnicas de análisis geoespacial, se integran diversas capas temáticas para crear un modelo detallado de zonificación, proporcionando herramientas esenciales para la gestión sostenible del territorio. La metodología se desarrolla en dos fases: primero, se recopila información cartográfica; luego, se lleva a cabo la zonificación de amenaza por remoción en masa, considerando factores de susceptibilidad (geología, pendiente, geomorfología, cobertura vegetal) y desencadenantes (sismicidad, precipitación). El resultado final es un mapa de zonificación que, además de identificar áreas de amenaza, permite un análisis de las posibles afectaciones a la infraestructura existente, identificando y caracterizando las construcciones por tipo en cada una de las zonas de amenaza.

**Palabras clave:** Amenaza, Remoción en masas, Zonificación de amenaza, Sistemas de Información Geográfica (SIG)

## **Abstract**

The zoning project for mass removal threat in the Guambia Indigenous Reserve, located in the municipality of Silvia, Cauca, applies the Mora Vahrson methodology (1992) to identify and assess areas vulnerable to landslides and other mass removal events. Using geospatial analysis techniques, various thematic layers are integrated to create a detailed zoning model, providing essential tools for sustainable land management. The methodology is developed in two phases: first, cartographic information is collected; then, the zoning of mass removal threat is carried out, considering susceptibility factors (geology, slope, geomorphology, vegetation cover) and triggers (seismicity, precipitation). The final result is a zoning map that, in addition to identifying threat areas, allows for an analysis of potential impacts on existing infrastructure by identifying and characterizing constructions by type within each threat zone.

**Keywords: Risk, Mass Removal, Threat Zoning, Geographic Information Systems (GIS)**

# Contenido

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>10</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
4.1    OBJETIVO GENERAL .....	14
4.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>5. ANTECEDENTES</b> .....	<b>15</b>
<b>6. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL</b> .....	<b>20</b>
<b>7. REFERENTE TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
7.1    GESTIÓN DEL RIESGO .....	21
7.1.1 <i>Vulnerabilidad</i> .....	21
7.1.2 <i>Amenaza</i> .....	22
7.2    FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASAS .....	22
7.2.1 <i>Deslizamiento Rotacional</i> .....	23
7.2.2 <i>Deslizamiento Traslacional</i> .....	24
7.3    LITOLOGÍA .....	25
7.4    GEOMORFOLOGÍA .....	25
7.5    PENDIENTE .....	25
7.6    COBERTURA DEL SUELO .....	26
7.7    PRECIPITACIÓN .....	26
7.8    SISMICIDAD .....	26
7.9    MÉTODO MORA VAHRSON .....	27
7.9.1 <i>Factores de susceptibilidad</i> .....	27
7.9.2 <i>Factores de disparo</i> .....	28
7.10    FOTOINTERPRETACIÓN .....	28
7.11    SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	28
7.11.1 <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> .....	29
<b>8. METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
8.1    UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	30
8.2    FASE I: IDENTIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	31
8.3    FASE II: ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA EN EL RESGUARDO DE GUAMBIA .....	32
8.3.1 <i>Factores y parámetros utilizados para la Zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masas</i> .....	32
8.3.2 <i>Descripción de Factores para Zonificar el Resguardo de Guambia por Fenómenos de Remoción en Masa</i> .....	34

8.3.3	<i>Afectación en la infraestructura por Amenaza de Remoción en Masa en el Resguardo Indígena de Guambia en Silvia Cauca.</i>	44
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>47</b>
9.1	PARÁMETROS Y VARIABLES DE AMENAZA POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASAS EN EL RESGUARDO DE GUAMBIA	48
9.1.1	<i>Geología.</i>	48
9.1.2	<i>Geomorfología.</i>	49
9.1.3	<i>Pendiente.</i>	50
9.1.4	<i>Cobertura de suelo.</i>	50
9.1.5	<i>Precipitación.</i>	51
9.1.6	<i>Sismicidad.</i>	52
9.2	MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASAS EN EL RESGUARDO DE GUAMBIA	52
9.2.1	<i>Análisis de afectación en la infraestructura por Amenaza de Remoción en Masa en el Resguardo Indígena de Guambia.</i>	54
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>11.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>60</b>
<b>12.</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>61</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> <i>Deslizamientos rotacionales simples y múltiples</i> .....	23
<b>Figura 2.</b> <i>Deslizamiento traslacional</i> .....	24
<b>Figura 3.</b> <i>Mapa de localización</i> .....	31
<b>Figura 4.</b> <i>Plancha 343, Silvia - Cauca</i> .....	35
<b>Figura 5.</b> <i>Plancha Geomorfológica 343</i> .....	37
<b>Figura 6.</b> <i>Mapa de Pendientes</i> .....	39
<b>Figura 7.</b> <i>Cobertura de Suelo</i> .....	41
<b>Figura 8.</b> <i>Mapa de Precipitación Resguardo de Guambia</i> .....	42
<b>Figura 9.</b> <i>Mapa Intensidad Sísmica</i> .....	44
<b>Figura 10.</b> <i>Resultado del “Select by Attributes” y “Calculate Geometry”</i> .....	46
<b>Figura 11.</b> <i>Resultado del “Spatial Join”</i> .....	46
<b>Figura 12.</b> <i>Extensión del “Create Chart”</i> .....	47
<b>Figura 13.</b> <i>Zonificación de Amenaza por remoción en masa</i> .....	53
<b>Figura 14.</b> <i>Gráfico de áreas por el nivel de amenaza</i> .....	54
<b>Figura 15.</b> <i>Mapa de Análisis de Infraestructura por Amena</i> .....	55
<b>Figura 16.</b> <i>Gráficos de porcentaje de construcciones por tipo</i> .....	56
<b>Figura 17.</b> <i>Gráficos de infraestructura por nivel de amenaza</i> .....	57
<b>Figura 18.</b> <i>Gráficos del nivel de amenaza por área y tipo de construcción</i> .....	58

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Insumos cartográficos</i> .....	32
<b>Tabla 2.</b> <i>Parámetros susceptibilidad litológica</i> .....	36
<b>Tabla 3.</b> <i>Clasificación de la geología según parámetros de la susceptibilidad litológica de Mora Vahrson</i> .....	48
<b>Tabla 4.</b> <i>Clasificación capa geomorfológica</i> .....	49
<b>Tabla 5.</b> <i>Clasificación pendiente</i> .....	50
<b>Tabla 6.</b> <i>Atributos capa de uso de suelos</i> .....	51
<b>Tabla 7.</b> <i>Valores clasificación precipitación</i> .....	51
<b>Tabla 8.</b> <i>Valores clasificación Sismicidad</i> .....	52

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>UNGRD</i>	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
<i>SIG</i>	Sistemas de Información Geográfica
<i>SGC</i>	Servicio Geológico Colombiano
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>MDT</i>	Modelo Digital de Terreno



# 1. Introducción

El Resguardo de Guambia, ubicado en el municipio de Silvia, Cauca, se caracteriza por su compleja geografía y su exposición a fenómenos naturales como los deslizamientos de tierra. Estos eventos, conocidos como fenómenos de remoción en masa, representan una amenaza significativa para la seguridad de las comunidades indígenas que habitan la región, así como para la infraestructura local. Dada la importancia de prevenir desastres y mitigar sus efectos, se hace necesario un análisis y una zonificación precisa de las áreas de amenaza.

El presente estudio tiene como objetivo principal la identificación y zonificación de las áreas de amenaza por remoción en masa en el Resguardo de Guambia, utilizando la metodología de Mora Vahrson (1992) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través de la integración de datos geológicos, topográficos y climáticos, se busca generar un mapa de amenaza que sirvan como una herramienta fundamental para la planificación territorial y la gestión del riesgo en la región.

La metodología empleada en este estudio incluye un análisis de factores como la pendiente del terreno, la litología, y las precipitaciones, que son determinantes en la ocurrencia de deslizamientos. Los resultados obtenidos permitirán fortalecer la capacidad de la comunidad para enfrentar y reducir la vulnerabilidad ante desastres naturales. Además, sienta las bases para la integración de la zonificación de amenaza en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y en las políticas de gestión del riesgo a nivel regional y nacional.

## 2. Planteamiento del Problema

A nivel mundial entre el 2000 y el 2019 ha ocurrido la pérdida de vidas de 1.5 millones de personas y cuatro mil millones se han visto afectadas por desastres, generando una pérdida económica mundial de US\$2.97 billones aproximadamente (ONU, 2023), según las cifras recopiladas por la Base de Datos sobre Situaciones de Emergencia (EM-DAT). Además, de ser testigos del aumento en la frecuencia y severidad de los desastres a causa de diversos factores, entre ellos el cambio climático, sistemas de producción agrícola y consumo de los recursos naturales.

A nivel nacional, Colombia por sus características geográficas enfrenta altos niveles de riesgo de desastres, donde la magnitud del impacto de estos desastres varía dependiendo de su tipo, siendo las inundaciones la principal fuente de devastación en las áreas de menor altitud. Por otro lado, en las regiones montañosas del país, la amenaza de deslizamientos es constante, y factores como la deforestación y la erosión están contribuyendo a su creciente frecuencia (Ayala & Ospino, 2023) Aunque los movimientos en masa tienen efectos normalmente locales, han generado de manera acumulada un número de víctimas fatales superior a las producidas por sismos. De acuerdo con datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en los últimos 100 años en Colombia se han registrado más de 11.800 eventos asociados a movimientos en masa. Debido a estos, cerca de 7.590 personas han perdido la vida y aproximadamente 239.740 familias se han visto afectadas (UNGRD, 2020), en departamentos como Antioquia cuenta con el mayor número de registros por eventos de deslizamiento (1.393), seguido por Cundinamarca (1.068), Nariño (1.046), Tolima (957), Boyacá (800), Santander (785), Valle del Cauca (781) y Cauca (736).

---

El Resguardo de Guambia, situado en la región andina del municipio de Silvia, se caracteriza por experimentar abundantes lluvias a lo largo de todo el año. Esta condición climática ha sido identificada como el principal desencadenante de deslizamientos. Según los datos recopilados por la Alcaldía de Silvia durante la última década (2013-2023), se registraron un total de 45 eventos de este tipo, siendo el año 2022 el periodo con mayor número de reportes; es importante señalar que esta cifra podría ser aún mayor debido a la falta de capacidad y recursos para mantener una base de datos exhaustiva. Estos deslizamientos han ocasionado daños y pérdidas significativas, especialmente en la zona rural del municipio. Su frecuente ocurrencia ha acumulado pérdidas que han obstaculizado el desarrollo económico, social y ambiental de la región. Ante esta situación, surge la necesidad urgente de llevar a cabo un estudio que identifique las áreas de mayor amenaza por fenómeno de remoción en masas mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG).

### 3. Justificación

A partir de la ley 1523 de 2012 se establece en Colombia una hoja de ruta en relación con la gestión del riesgo, en la que se busca prevenir, mitigar, atender y recuperarse de fenómenos naturales o antrópicos que puedan generar un riesgo sobre la vida, los bienes y el ambiente frente a eventos que puedan ocurrir. Se concibe como un proceso social que enmarca el conocimiento del riesgo, por ello la necesidad de adelantar estudios a nivel geoespacial y de afectación a escala nacional, regional y local sobre las condiciones o características de cada territorio y a partir de ahí continuar con los otros objetivos de la gestión del riesgo de reducir el impacto de fenómenos sobre la vida, los bienes y el ambiente. De igual forma estos estudios se convierten en una herramienta fundamental para elaborar los diagnósticos de los Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Desarrollo en las diferentes escalas aportando a la idea de sostenibilidad. (UNGRD, 2023)

Uno de los fenómenos más comunes en Colombia son los movimientos en masa, también conocidos como deslizamientos, derrumbes o fenómenos de remoción en masa. En términos generales, estos se refieren al desplazamiento del suelo. En Colombia, las lluvias intensas son el principal desencadenante de estos fenómenos (UNGRD, 2020) que causan daños a viviendas, infraestructuras, y redes de servicios públicos, afectando directamente a la población. Sin embargo, a pesar de la importancia de esta problemática, los estudios actuales se presentan de manera generalizada, siendo importante delimitar el territorio, lo que podría llevar a un conocimiento real del territorio y las acciones efectivas que se puedan implementar.

Ahora bien, sin entrar a discutir sobre el concepto de desarrollo, sus alternativas o el concepto del buen vivir adaptado por comunidades indígenas, en últimas estos buscan mejorar

las condiciones de vida de la sociedad desde diferentes dimensiones. Es así como se hace importante que la misma comunidad conozca su territorio a nivel técnico y a partir de ahí tome sus propias acciones para la prevención mitigación y atención del riesgo. Por tal motivo, al mirar las características geofísicas y climáticas donde se encuentra ubicado el resguardo indígena de Guambia en el departamento del Cauca, se hace necesario caracterizar y analizar las zonas que puedan ser susceptibles a este fenómeno y que la comunidad las identifique para tomar decisiones sobre el uso y manejo de su espacio.

Los sistemas de información geográfica (SIG) desempeñan un papel fundamental en la gestión del riesgo de desastres al posibilitar la identificación de rutas de evacuación y la ubicación estratégica de refugios. Además, facilitan la recopilación, almacenamiento y análisis de datos geospaciales relacionados con la remoción en masa, la geología y el uso de la tierra, entre otros factores cruciales para una gestión efectiva de riesgos.

De igual forma los SIG no solo permiten la identificación precisa de zonas propensas a deslizamientos, sino que también son herramientas esenciales para planificar respuestas a las amenazas presentadas, con enfoques orientados a la mitigación a largo plazo. Además, proporcionan valiosos insumos para las autoridades, brindándoles herramientas y técnicas que les permiten definir áreas seguras y generar proyectos destinados al desarrollo social y facilitando la transmisión de la información a las comunidades convirtiéndose en aliados estratégicos que contribuyen significativamente a la preparación y protección de comunidades ante posibles desastres.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Realizar la zonificación de las áreas de amenaza por fenómenos de remoción en masas en el resguardo de Guambia, Municipio de Silvia - Cauca, que permita identificar las áreas prioritarias para la acción y la gestión del riesgo.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Establecer los parámetros y variables del área de estudio como base cartográfica para el desarrollo del proyecto.
- Describir y aplicar los procedimientos espaciales necesarios para la zonificación de la amenaza asociada a fenómenos de remoción en masa.
- Identificar y caracterizar las amenazas relacionadas con fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio.
- Elaborar un mapa de amenaza por remoción en masa que sirva como herramienta clave para la gestión del riesgo.

## 5. Antecedentes

A nivel internacional, los fenómenos de remoción en masa se han convertido en un problema que afecta a muchos países. La integración de los sistemas de información geográfica (SIG) ha permitido estudiar y mitigar, en cierta medida, estos fenómenos naturales. (Arumugam et al., 2023) se enfoca en la zonificación de áreas de remoción en masa utilizando imágenes satelitales y técnicas SIG, como la clasificación no supervisada, para clasificar las coberturas del suelo. Además, emplea el método de distancia ponderada inversa (IDW) y el análisis de superposición ponderada (WOA) para asignar ponderaciones basadas en la interacción con factores causales y la frecuencia de deslizamientos. Estas técnicas permiten asignar un valor numérico a cada capa del mapa temático según su importancia en el estudio, lo que facilita la creación de un mapa integral de zonificación de peligro por deslizamientos de tierra.

El estudio de, (Akintan et al., 2023) resalta la relevancia de los factores geotécnicos ambientales basados en SIG. Utilizan tanto datos primarios, obtenidos mediante mediciones y observaciones de campo, como secundarios, extraídos de satélites. Durante la investigación, se realizaron pruebas como el corte directo en muestras de suelo para determinar su resistencia, y pruebas de colapsabilidad para analizar el uso del suelo frente a cambios. También se evaluaron las precipitaciones y se llevó a cabo un inventario de deslizamientos de tierra para estudiar la susceptibilidad de la zona. Con esta información, los autores calcularon ponderaciones y reclasificaron la vulnerabilidad a deslizamientos, concluyendo que el factor clave es la infiltración excesiva de agua de lluvia en el subsuelo.

Por su parte, (Hadji et al., 2013) argumentan que la principal causa de deslizamientos de tierra es la lluvia. Proponen un método de validación utilizando controles geológicos,

topográficos y climáticos mediante modelos SIG y mapas litológicos, además de modelos digitales de terreno para obtener mapas de pendiente, exposición y elevación. Incorporaron capas de información disponibles para realizar un análisis estadístico que validara la importancia de los factores en los deslizamientos, clasificándolos en mapas individuales. Realizaron un inventario de deslizamientos para obtener información sobre su ubicación y tamaño, lo cual es crucial para evaluar la estabilidad de las pendientes. Concluyeron que los factores más influyentes son el ángulo de la pendiente, eventos pasados, y la litología, siendo la precipitación el principal desencadenante.

(Sousa et al., 2023) analizan cómo el cambio climático ha incrementado la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, aumentando los desastres naturales, especialmente en Brasil, donde las inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra han sido devastadores. Para mitigar estos efectos, Brasil desarrolló un modelo matemático innovador que predice deslizamientos de tierra basándose en datos de precipitación y humedad del suelo. Este modelo emplea umbrales de humedad para identificar riesgos, ajustando su precisión con sensores que monitorean el contenido de humedad del suelo en intervalos regulares. Los umbrales se clasifican en niveles "Alto" y "Muy Alto", y cuando estos se superan, se emiten alertas a las autoridades civiles. Aunque la metodología propuesta es efectiva y adaptable en tiempo real, la falta de datos en ciertas áreas puede afectar la precisión de las proyecciones, subrayando la necesidad de mejorar la recopilación de datos.

Por otro lado, (Badola et al., 2023) investigan la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el Himalaya, una región montañosa donde los métodos tradicionales de teledetección y SIG no son fiables debido a la complejidad del terreno. El estudio evalúa la aplicabilidad de un sistema de inferencia difusa (FIS) para crear mapas de susceptibilidad, identificando nueve

parámetros cruciales, como pendiente, orientación y profundidad del suelo. Además, se emplea el índice de vegetación (NVDI) para analizar el uso del suelo. La metodología incluye el análisis de multicolinealidad y la creación de índices relativos a través de inferencia difusa y otros modelos estadísticos. La lógica difusa se utiliza para manejar la vaguedad de los datos, permitiendo que un mismo dato pertenezca a múltiples conjuntos. Al comparar este enfoque con métodos bivariados, se demuestra que el FIS puede ser eficaz para reducir el riesgo en regiones sensibles, aunque su aplicación es más adecuada para áreas pequeñas debido a la gestión de datos imprecisos. El estudio destaca la importancia de emplear metodologías avanzadas, como el aprendizaje automático y profundo, para mejorar la precisión en la predicción y crear mapas de susceptibilidad más fiables.

(Zhao et al., 2023) presentan un innovador enfoque de razonamiento basado en casos (CBR) para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la región de Lushan, China. Este método tiene en cuenta factores cruciales como la cobertura vegetal, la pendiente, la altitud y la densidad de población. A diferencia de los métodos tradicionales, el CBR propuesto utiliza controladores espaciales para mejorar la representación del conocimiento espacial y emplea un modelo de regresión de procesos gaussianos (GPR) para revisar las soluciones de los casos recuperados, asumiendo que estos casos similares siguen una distribución gaussiana. Este enfoque fue validado mediante su comparación con un CBR tradicional, demostrando así la importancia de la inteligencia artificial (IA) en la predicción y gestión del riesgo de deslizamientos de tierra.

En un contexto más amplio, (Gupta et al., 2022) exploran cómo la IA y las plataformas colaborativas en la nube pueden mejorar la respuesta ante desastres, eventos climáticos extremos y emergencias. Estas tecnologías permiten realizar análisis temáticos y desarrollar estrategias de gestión de riesgos más efectivas al identificar y conectar los diferentes componentes de un

fenómeno. En línea con estos avances, (Alzate et al., 1999) realizaron un estudio de zonificación de amenazas por remoción en masa en la localidad de Usme, Bogotá, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cálculos de talud infinito para modificar la zonificación de amenazas en función de la cobertura de uso del suelo y la morfología del terreno.

Por su parte, (Elmoulat & Brahim, 2018) proponen un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la región de Tetouan-Ras-Mazari, Marruecos, empleando el modelo de pesos de evidencia y SIG. Su metodología incluye la recopilación de datos, la cartografía de factores controladores, la aplicación del modelo y la validación de resultados. Basu & Pal (2018) complementan esta línea de investigación utilizando tanto técnicas cuantitativas como cualitativas para evaluar los factores que contribuyen a los deslizamientos de tierra, considerando elementos como la topografía, la geología, la hidrología y los factores antropogénicos.

(Nsengiyumva & Valentino, 2020) destacan que los modelos basados en datos son más precisos y reproducibles que los cualitativos. En su estudio, el modelo de redes bayesianas (NBT) alcanzó una tasa de predicción del 81,2%, superando a otros enfoques como el modelo de árbol de decisión logístico (LMT) y el modelo de bosque aleatorio (RF). Este hallazgo refuerza la idea de que los métodos basados en datos ofrecen un mayor potencial para predecir la susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

(Althuwaynee & Pradhan, 2017) sugieren que, para la zonificación del riesgo de deslizamientos a escala media, un enfoque semi-cuantitativo es particularmente útil. Este enfoque permite detectar la exposición de los elementos en riesgo y estimar los riesgos en función del uso del suelo y la densidad de población. Paralelamente, (Sonker et al., 2022) aplican un enfoque basado en lógica difusa y SIG para mapear la susceptibilidad a deslizamientos en una región

---

específica, utilizando el método de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para evaluar la precisión de sus predicciones.

En otro ámbito, (Saha et al., 2022) presentan un conjunto de técnicas de regresión de vectores de soporte y hyperpipes para evaluar la susceptibilidad a inundaciones. Su estudio analiza factores litológicos, geomorfológicos, geológicos y de densidad de lineamientos que influyen en la formación y desarrollo de barrancos. De manera complementaria, (Liu et al., 2022) integran modelos de aprendizaje automático, como SVM y LR, en un marco heterogéneo para predecir la susceptibilidad a inundaciones en la región de la Franja y la Ruta, subrayando la importancia de la calidad de los datos en la precisión de las predicciones.

En la misma línea, (Pu et al., 2023) enfatizan la necesidad de actualizar constantemente las aplicaciones de datos para satisfacer las cambiantes necesidades de los usuarios y asegurar la seguridad y privacidad en la gestión de la información. Finalmente, (Moragues et al., 2023) describen un estudio de caso en Kohima, India, donde aplicaron técnicas de teledetección y SIG para monitorear deslizamientos de tierra. Este trabajo proporcionó información precisa sobre áreas susceptibles, lo que contribuye a la prevención y reducción de riesgos futuros, subrayando la importancia de la resolución y calidad de los datos, como también lo señalan (Fell et al., 2008) al discutir la zonificación de la estabilidad de las laderas.

## 6. Referente normativo y legal

En la última década, el gobierno colombiano ha mostrado un interés creciente en establecer e implementar políticas enfocadas en el estudio de amenazas naturales, motivado en parte por las lecciones aprendidas del desastre causado por la erupción del Nevado del Ruiz en 1985. Este evento impulsó al país a desarrollar e implementar acciones para prevenir y mitigar riesgos existentes.

La Constitución Política de Colombia de 1991 establece mecanismos para promover el desarrollo y bienestar de las comunidades, incluyendo la prevención y control de factores de deterioro ambiental, directamente relacionados con la generación de amenazas naturales(UNGRD, 2023). En este contexto, la gestión del riesgo de desastres en Colombia se rige por la Ley 1523 de 2012, que adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Esta ley define la gestión del riesgo como un proceso continuo de formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, directrices, instrumentos y acciones permanentes orientadas al conocimiento y reducción del riesgo (Ley 1523 de 2012).

El Decreto 1807 de 2014 establece las condiciones y directrices necesarias para incorporar la gestión del riesgo en la evaluación de los planes de ordenamiento territorial, destacando la importancia de contar con estudios básicos de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa (Decreto 1807 de 2014). Bajo estas premisas, el Decreto 109 de 2012, que adopta el Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (PMGRD) para el municipio de Silvia, Cauca, orienta la gestión del riesgo como una política integral para prevenir y reducir los

impactos sociales, económicos, ambientales y sobre el desarrollo colectivo derivados de fenómenos naturales o antrópicos en el municipio (Decreto 109 de 2012).

## **7. Referente teórico**

### **7.1 Gestión del Riesgo**

De acuerdo con la ley 1523 de 2012, La Gestión del Riesgo se puede definir como un proceso social que busca comprender, reducir y gestionar los riesgos para mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida, así como promover el desarrollo sostenible. Este proceso consta de tres etapas principales: análisis, evaluación y acciones de mitigación y prevención del riesgo. Cada etapa involucra elementos y procesos variables en detalle y complejidad según la evaluación realizada. Se evalúan los riesgos considerando amenazas, vulnerabilidad y el valor o cantidad de elementos afectados, lo que se traduce en estimaciones de pérdidas anuales o personas afectadas. La metodología para este cálculo se describe en el capítulo 5 e implica establecer criterios de seguridad y mapear el riesgo para definir intervenciones y el alcance de medidas de reducción del riesgo.

#### **7.1.1 Vulnerabilidad**

Por la misma línea conceptual de la ley 1523 de 2012, La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional ante eventos peligrosos. Esta vulnerabilidad indica la predisposición de sufrir pérdidas o daños en seres humanos, medios de subsistencia y sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo cuando se

enfrentan a tales eventos. De igual forma la vulnerabilidad además de ser parte de la fórmula del riesgo, se enfoca de alguna forma en la dimensión humana, reflejando la probabilidad de sufrir daños, pérdidas, lesiones o interrupción de las dinámicas sociales, ambientales y económicas. Sin embargo, también se resalta dentro de la vulnerabilidad la capacidad de enfrentar y recuperarse de dichos impactos negativos, incluyendo de manera intrínseca la susceptibilidad, la capacidad de adaptación, la exposición y la interacción con la perturbación y el estrés (Zapata et al., 2017).

### **7.1.2 Amenaza**

La probable ocurrencia de una serie o secuencia de dos o más fenómenos físicos peligrosos donde uno desencadena el otro, sucesivamente. Un ejemplo se encuentra en la forma en que un sismo puede causar la ruptura de presas y diques, generando inundaciones que rompen líneas de transmisión de productos volátiles o contaminantes con repercusiones directas en los seres humanos u otras especies de fauna o flora (UNGRD et al., 2017).

## **7.2 Fenómenos de Remoción en Masas**

Para la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, es todo movimiento de ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad, teniendo en cuenta que algunos movimientos en masa son lentos, a veces imperceptibles y difusos; en tanto que otros pueden desarrollar velocidades altas. Los principales tipos de movimientos en masa comprenden caídas, deslizamientos, reptación, flujos y propagación lateral (UNGRD et al., 2017).

De acuerdo a Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015), las causas de estos fenómenos se pueden clasificar en cuatro factores principales; el clima, la actividad sísmo-tectónica, la actividad volcánica y el crecimiento urbano en pendientes pronunciadas y

mencionan que la susceptibilidad a un evento de remoción en masa está determinada por una compleja interacción de todos los factores y que normalmente, estos fenómenos se desencadenan por eventos específicos que alteran el equilibrio dinámico de las pendientes.

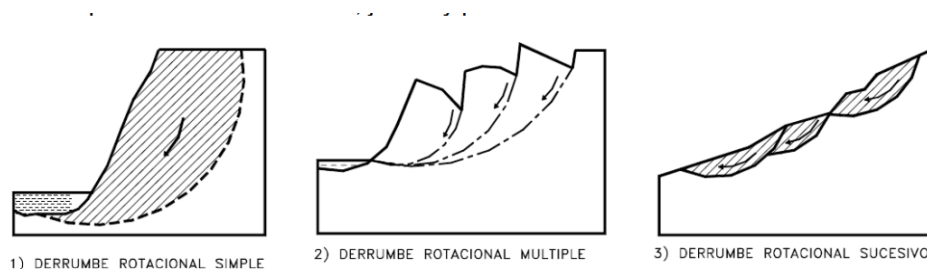
### 7.2.1 Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

El movimiento, aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación (CARN, 2015)

#### Figura 1.

*Deslizamientos rotacionales simples y múltiples.*



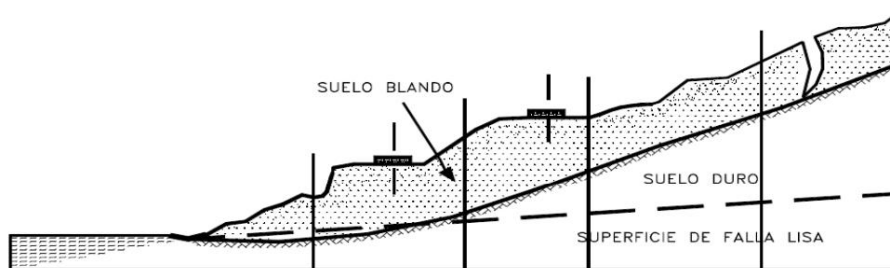
Fuente: (CARN, 2015)

### 7.2.2 Deslizamiento Traslacional

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y Traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo (CARN, 2015).

#### Figura 2.

*Deslizamiento traslacional*



Fuente: (CARN, 2015)

### **7.3 Litología**

De acuerdo a Ruiz, S., y Marquínez, G. (2003) la litología es la rama de la geología que estudia las características físicas y químicas de las rocas, enfocándose en su descripción y clasificación en función de su composición mineral, textura, estructura y origen. Esta disciplina es esencial para comprender la formación y evolución de la corteza terrestre. De igual forma como base para diferentes análisis interdisciplinarios.

### **7.4 Geomorfología**

De acuerdo a Carvajal, J. H. (2005), la geomorfología se puede definir como la ciencia de la tierra que estudia la relación entre las formas de la superficie terrestre, los materiales naturales y su disposición estructural, así como los procesos que las originaron. De esta manera, se constituye en una herramienta fundamental para evaluar y proyectar el comportamiento de los terrenos y su interrelación con obras de infraestructura, enfocándose, entre otros aspectos, en el análisis de las amenazas naturales y en los planes de ordenamiento territorial. De igual forma la geomorfología relaciona el paisaje con los procesos que lo formaron y sus condiciones ambientales.

### **7.5 Pendiente**

Según el Servicio Geológico Colombiano (2017), la pendiente se define como el ángulo entre la superficie del terreno y la horizontal, medido en grados de 0 a 90. Este parámetro es fundamental para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa en una zona, ya que está directamente influenciado por la topografía del terreno, la cual depende del relieve específico de la región.

## **7.6 Cobertura del Suelo**

La cobertura del suelo es la capa biofísica visible en la superficie terrestre, que incluye vegetación, elementos antrópicos, afloramientos rocosos y cuerpos de agua. Sin embargo, es importante mencionar el término de "uso" del suelo, el cual se refiere a la utilidad que dicha cobertura presta al ser humano, relacionado con actividades humanas o las dinámicas económicas del espacio, como uso urbano, industrial o de reserva natural. Analizar la cobertura del suelo es crucial para la gestión y toma de decisiones territoriales, permitiendo evaluar el estado ambiental y las dinámicas territoriales, y sirviendo como base para elaborar productos como mapas de riesgo y de conflictos de uso de suelo. (IDEAM, 2012).

## **7.7 Precipitación**

La precipitación se puede definir como la caída de agua en forma líquida o sólida desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, como lluvia, nieve o granizo. Es esencial para el ciclo del agua y afecta el clima, la vegetación, la agricultura y otros aspectos ambientales y sociales y por lo general, se mide en milímetros o pulgadas de agua por unidad de área y tiempo. La precipitación es un factor muy común en el detonante de los movimientos en masa más frecuentes ocurridos, como es el caso de los deslizamientos. (SGC, 2017)

## **7.8 Sismicidad**

En cuanto a la sismicidad, se habla principalmente de los movimientos vibratorios en la corteza terrestre conocidos como sismos, los cuales pueden ser causados por la liberación de energía en las fallas geológicas, actividad volcánica o actividad humana como la extracción de recursos. Estos sismos pueden desencadenar movimientos en masa como caídas de rocas, deslizamientos de suelos y rocas en laderas escarpadas. (SGC, 2017)

## **7.9 Método Mora Vahrson**

Este método se ha venido implementando en varios países con el fin de poder realizar de manera a priori un análisis y diagnóstico a partir de una zonificación las áreas con amenaza por remoción de masa a partir de la integración de factores que los autores clasifican en factores de susceptibilidad y factores de disparo. Ahora bien, esta metodología presenta varias ventajas en las que se resalta su facilidad, los bajos costos y su contribución a procesos que complementan el desarrollo de las regiones como es en la toma de decisiones para la planificación del uso del suelo urbano y/o rural, el análisis para la planificación de infraestructuras críticas y en los procesos que lleven a cabo las oficinas y los agentes encargados de la gestión del riesgo. Es una metodología que puede ser fácilmente implementada con información base y la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). (Barrantes, G. et al., 2011),

### **7.9.1 Factores de susceptibilidad**

Son aquellos que forman parte intrínseca de las propiedades y el comportamiento del medio, es decir, constituyen elementos pasivos. Un ejemplo de esto es el relieve del terreno, su composición litológica y las condiciones habituales de su humedad natural. Estos factores condicionantes o pasivos incluyen: las propiedades intrínsecas del terreno (como la litología, estratigrafía, resistencia al corte y grado de meteorización), las características morfológicas y geométricas de la ladera (como la topografía y pendiente), las condiciones hidrogeológicas (como la humedad del terreno y el nivel freático), y otros factores como las estructuras geológicas, discontinuidades y estados de tensión-deformación.

### **7.9.2 Factores de disparo**

Son aquellos que, actuando desde el exterior, inducen un comportamiento dinámico activo que, a partir de las condiciones iniciales, generan con mayor o menor intensidad los fenómenos de movilización. Estos factores incluyen la intensidad de los sismos y las lluvias. Los factores desencadenantes, activos o de disparo comprenden las precipitaciones prolongadas e intensas, los movimientos sísmicos, la actividad antrópica, como excavaciones, represas, sobrecarga de edificaciones, construcción de carreteras, rellenos de laderas e infiltraciones en áreas urbanas, y esporádicamente, el vulcanismo, que puede causar deslizamientos, lahares o avalanchas relacionados con la actividad volcánica.

## **7.10 Fotointerpretación**

La fotointerpretación implica identificar y deducir características de fenómenos en fotografías aéreas, incluyendo la “fotolectura” para reconocer objetos. Para el campo de la geografía, esta va más allá de identificar elementos espaciales, pues también involucra el poder establecer unidades establecidas, buscar relaciones y explicar mediante análisis causalidad, para lo cual se requiere utilizar fuentes bibliográficas y cartográficas junto con visitas al terreno.

(Flores, V., 2017)

## **7.11 Sistemas de información geográfica**

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que crea, administra, analiza y representa cartográficamente todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación (dónde están las cosas) con todo tipo de información descriptiva (cómo son las cosas ahí). Esto sirve como base para la representación cartográfica y el análisis que se utiliza en la ciencia y en prácticamente todos los sectores. Un SIG ayuda a los usuarios a comprender

los patrones, las relaciones y el contexto geográfico. Entre las ventajas se encuentran la mejora de la comunicación y la eficiencia, así como de la gestión y la toma de decisiones (ESRI, 2023).

Una de sus muy amplias aplicaciones se encuentra, la elaboración de mapas de amenaza por remoción en masa, mediante la superposición de capas temáticas que representan variables cartográficas clave, como la litología del terreno, las pendientes, la acumulación de flujo y las precipitaciones. (Luna Marín V, 2022).

### **7.11.1 Digital Elevation Model (DEM)**

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés Digital Elevation Model) es una representación tridimensional de la superficie terrestre que muestra las variaciones en la elevación del terreno. Este es construido a partir de datos obtenidos mediante teledetección, fotogrametría aérea y sensores LiDAR. Los DEM permiten una visualización y análisis precisos del relieve, facilitando decisiones en proyectos que requieren un conocimiento detallado de la topografía.

## **8. Metodología**

El proyecto de zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masa en el Resguardo de Guambia, ubicado en el municipio de Silvia, departamento del Cauca, se centra en la aplicación de la metodología (Mora & Vahrson, 1992) con un enfoque en Desarrollo y Gestión Ambiental. Este estudio busca identificar y evaluar las áreas más vulnerables a deslizamientos y otros eventos de remoción en masas mediante una combinación de técnicas de análisis geoespacial.

La integración de diversas capas temáticas y la asignación de pesos relativos a cada factor de amenaza permiten crear un modelo preciso de zonificación, proporcionando así herramientas esenciales para la toma de decisiones y la gestión sostenible del territorio en la región. A continuación, se describen los pasos para el desarrollo del proyecto.

## **8.1 Ubicación geográfica**

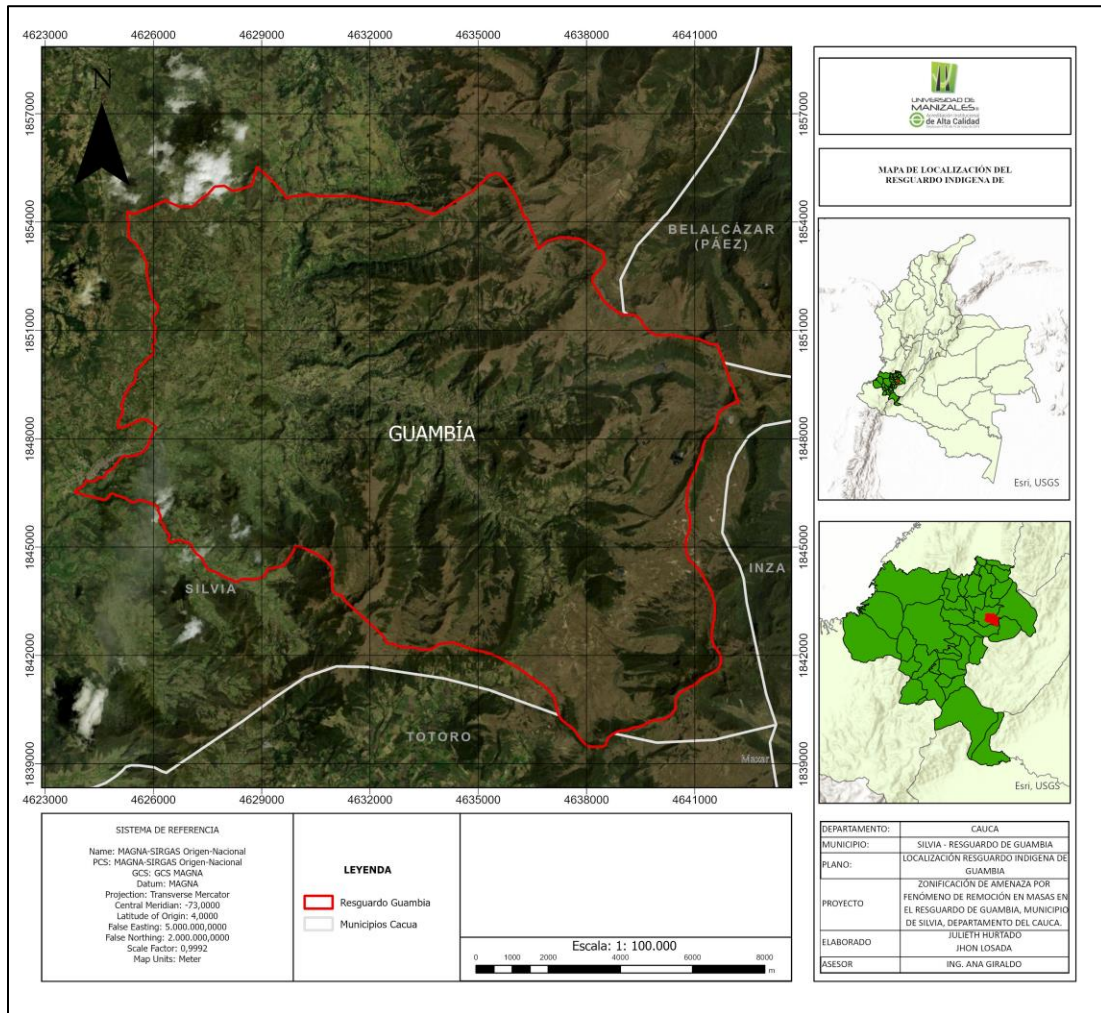
De acuerdo Artesanías de Colombia S.A. (2017), el Resguardo Indígena de Guambía, también conocido como Misak, está ubicado en el municipio de Silvia, en la región centro-oriental del departamento del Cauca, sobre el flanco occidental de la cordillera Central, a una altitud de 2.527 metros sobre el nivel del mar. Con una extensión de 178,935 km<sup>2</sup>, el resguardo es el hogar ancestral del pueblo Misak, que ha habitado la región durante siglos, preservando su rica herencia cultural y su profunda conexión con la tierra.

La población indígena está conformada principalmente por las etnias Misak, Nasa, Ambuleña y Kizweña. El resguardo de Guambía está asentado en tierras que fueron objeto de un proceso de recuperación iniciado en la década de 1970, luego de que los terratenientes expropiaran las tierras del pueblo Misak.

El territorio del resguardo se caracteriza por una notable diversidad geográfica, que incluye montañas, valles, ríos y áreas de páramo, con altitudes variables que contribuyen a un clima fresco y a una rica biodiversidad. La economía de la comunidad se basa principalmente en la agricultura, con cultivos tradicionales como papa, maíz y otros productos andinos, así como en la ganadería y la artesanía.

**Figura 3**

*Mapa de localización*



## 8.2 Fase I: Identificación y obtención de información cartográfica

Una vez definida la metodología, se procedió a recopilar la información cartográfica, temática y estadística requerida para el municipio de Silvia (consultar Tabla 1). Procurando obtener la información más precisa disponible, tanto en formato digital como analógico, teniendo en cuenta aspectos como el año de producción, la institución responsable, entre otros. En algunas

ocasiones, no fue posible hallar datos de isoyetas y pendientes, por lo que fue preciso generarlos. Dado a la información disponible se logro establecer que el estudio a nivel general tendrá una escala de detalle de 1:10.000.

**Tabla 1.**

*Insumos cartográficos*

No.	Cartografía	Fecha	Escala	Fuente
1	Litología	2009	1:100.000	Servicio Geológico Colombiano
2	Geomorfología	2014	1:100.000	Servicio Geológico Colombiano
3	Cobertura Vegetal	2018	1:100.000	Datos Abiertos
4	Pluviómetros	2022	1:10.000	IDEAM
5	MDT	2023	12.5 m	LANDSAT

### **8.3 Fase II: Zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masa en el Resguardo de Guambia**

#### **8.3.1 Factores y parámetros utilizados para la Zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masas**

Un factor se define como un criterio que puede aumentar o disminuir la idoneidad de una alternativa específica para la actividad considerada, mientras que una restricción se entiende como un criterio que limita, condiciona o excluye dichas alternativas (UPRA, 2023).

La metodología creada por (Mora & Vahrson, 1992) tiene como objetivo principal evaluar la amenaza de deslizamientos a través del análisis de los indicadores morfodinámicos del terreno, divididos en factores de susceptibilidad como pendiente, geología, fallas, unidad geomorfológica

y cobertura vegetal; factores de disparo o detonantes, como sismicidad y precipitación; y factores de carga aplicada. Estos factores, aunque importantes por sí solos, interactúan entre sí para crear un panorama de susceptibilidad. Así, la zonificación según el grado de susceptibilidad a la remoción en masa es el resultado de combinar los factores de susceptibilidad y desencadenante. La fórmula utilizada en la metodología aplicada es la siguiente:

### **Amenaza Deslizamiento (AD)**

$$AD = FS \cdot FD$$

Donde:

FS: Factor susceptibilidad

FD: Factor desencadenante

Por Tanto:

### **Factor Susceptibilidad (FS)**

$$FS = \sum f_{geol} \cdot f_{pen} \cdot f_{geom} \cdot f_{cob}$$

Donde:

Fgeol: Factor Geológico

Fpen: Factor Pendiente

Fgeom: Factor geomorfología

Fcob: Factor Cobertura de suelo

### **Factor Desencadenante (FD)**

$$FD = \sum f_{prec} + f_{sis}$$

Donde:

Fprec: Factor precipitación

Fsis: Factor Sismicidad

### **8.3.2 Descripción de Factores para Zonificar el Resguardo de Guambia por Fenómenos de Remoción en Masa**

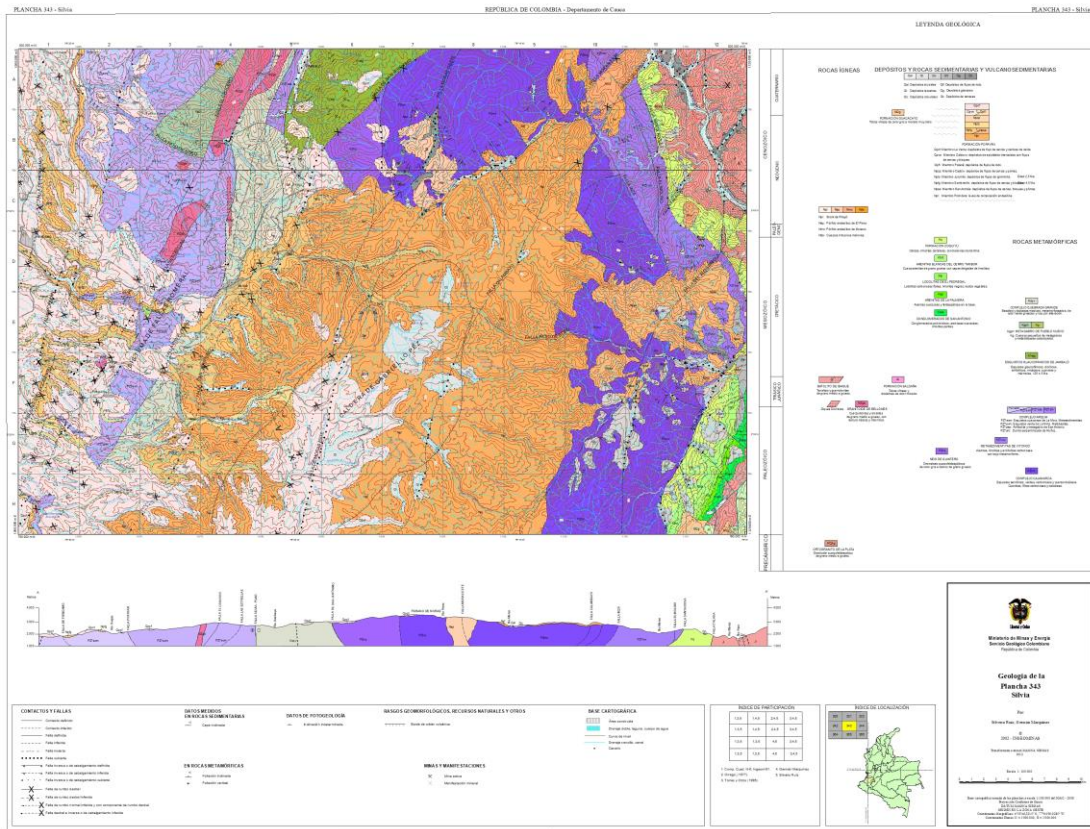
#### **6.3.2.1. Litología**

La litología, es decir, la composición geológica, desempeña un papel crucial en el análisis de la remoción en masa debido a su influencia en la resistencia y cohesión de los materiales involucrados. Los suelos blandos y las rocas no consolidadas son más susceptibles a deslizamientos que aquellos compactados o compuestos por rocas duras. Además, la litología impacta en la permeabilidad del terreno y en la circulación del agua subterránea, lo que puede aumentar la amenaza por movimientos en masa como un factor desencadenante. Es importante señalar, que las litologías descritas en este proyecto fueron identificadas, correlacionadas y comparadas a su vez con mapas geológicos del municipio de Silvia, elaborado por el Servicio Geológico Colombiano y con memorias explícitas del departamento.

A continuación, se presenta la plancha No. 343 del Servicio Geológico Colombiano correspondiente a la Geología de la zona del municipio del Silvia Cauca, para el área seleccionada como lo es el resguardo de Guambia se resaltan unidades como el Complejo Quebradagrande (Kcqy), Stock de Pitayó (Npi), Miembro Polindara (Npl), Miembro Sombrerillo (Npfg) y Miembro La Venta (Qpcf).

**Figura 4.**

*Plancha 343, Silvia - Cauca*



Fuente: (SGC, 2014a)

Una vez identificada la litología de la zona según la plancha geológica 343 (Figura 5) a escala 1:100,000 elaborada por el SGC, se procede a clasificarla de acuerdo con los parámetros establecidos por (Mora & Vahrson, 1992) (Tabla 2). El objetivo es determinar y asignar un rango de vulnerabilidad de 1 a 5, como se muestra en la Tabla 3. Esto implica asignar un valor a cada tipo de litología, considerando características como el tipo de material, la resistencia, y el grado de fracturamiento o meteorización, entre otras.

**Tabla 2.***Parámetros susceptibilidad litológica*

<b>Litología</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Factor SI</b>
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. calzadas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas ignimbritas. características físicas mecánicas, materiales sanos con poco o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, calizas duras. Características físico-mecánicas; resistencia al corte media a elevada.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen 3 casos y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos.	Muy Alto	5

Fuente: (Mora &amp; Vahrson, 1992)

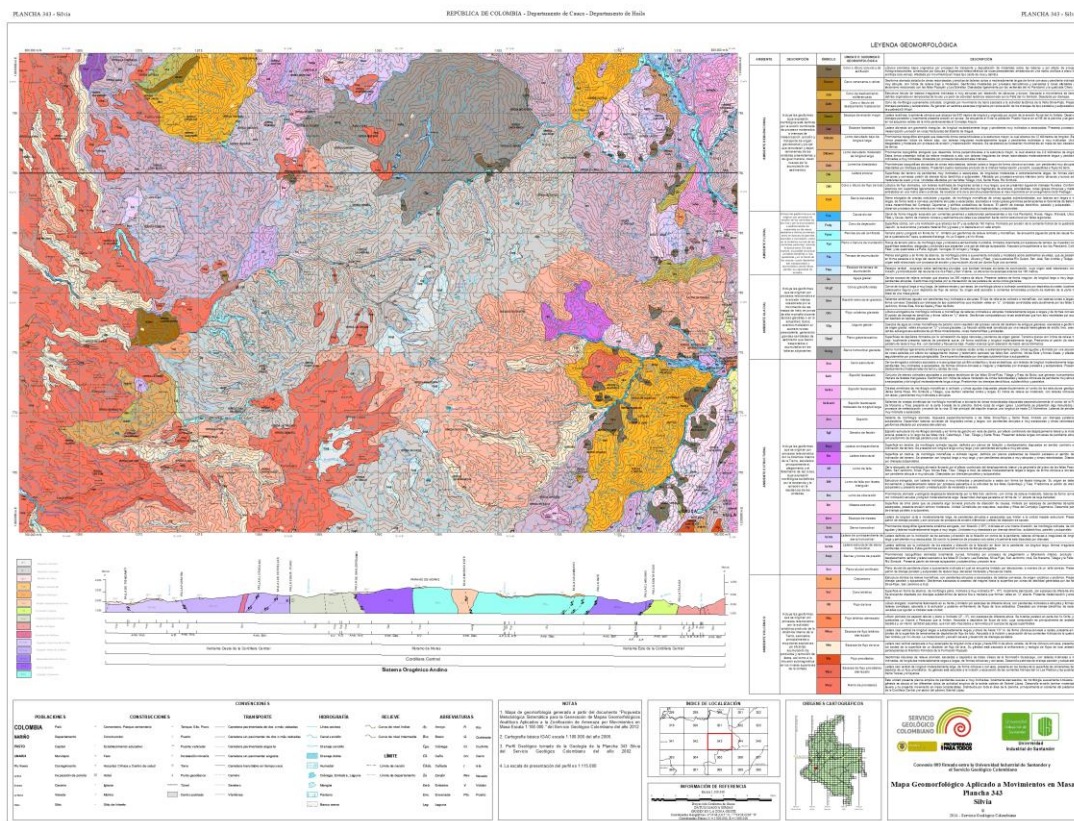
**6.3.2.2. Geomorfología**

La plancha 343-Silvia (Figura 6) se caracteriza por presentar geoformas asociadas a cinco ambientes geomorfológicos: geoformas de origen denudativo ubicadas al Oriente, Centro y Occidente de la plancha, asociadas a zonas planas y de poca inclinación con predominio de Sierra denudada (Dsd); geoformas de origen estructural distribuidas en toda la zona de estudio con predominio de Sierra homoclinal (Ssh) constituida por rocas del Paleozoico, Cretácico y Neógeno; geoformas de origen volcánico a lo largo de todo el flanco occidental de la plancha y en el área de la extinta Caldera de Gabriel López, Páramo Las Delicias y Páramo de Guanacas, con predominio de Manto de piroclastos (Vmp) y Flujo de lava

(Vfl) del Neógeno y Cuaternario; geformas de origen glacial que se encuentran en el área central de la plancha donde se localizan los páramos de Moras, Las Delicias y Gabriel López con predominio de las unidad Flujo volcánico glaciado (Gfv), en rocas del Paleozoico y Neógeno; y geformas de origen fluvial representadas por las unidades Cauce aluvial (Fca), Terraza de acumulación (Fta) y Plano o llanura de inundación (Fpi), distribuidas en toda la plancha a lo largo de ríos y quebradas y en mayor proporción al este de la zona de estudio (SGC, 2014b).

**Figura 5.**

*Plancha Geomorfológica 343.*



Fuente: (SGC, 2014a)

Para determinar el peso o valor a asignar a los atributos de este factor, se empleó la misma metodología (Mora & Vahrson, 1992) utilizada en el caso de la litología, es decir, se aplicó el método de matriz jerárquica en el que se asignan valores del 1 al 5, siendo 1 el menos susceptible y 5 el más susceptible.

Para analizar la geomorfología, se utilizó una capa temática en formato shapefile proporcionada por el SGC (Servicio Geológico Colombiano). Esta capa contenía información de toda el área del municipio de Silvia, por lo que fue necesario adaptarla para que solo mostrara la información correspondiente al Resguardo de Guambia, el área de enfoque del proyecto. Las modificaciones realizadas permitieron segmentar la información para que la nueva capa generada describiera de manera precisa la configuración geomorfológica de la zona de estudio. A continuación, se procedió a asignar valores a cada atributo de la capa, como se puede apreciar en la Tabla 4, que detalla las características de los valores asignados a la capa geomorfológica.

### **6.3.2.3. Pendiente**

La pendiente es un factor crucial en la caracterización para la zonificación de la susceptibilidad de remoción en masa, ya que ejerce una gran influencia en la estabilidad del terreno y el riesgo de deslizamientos.

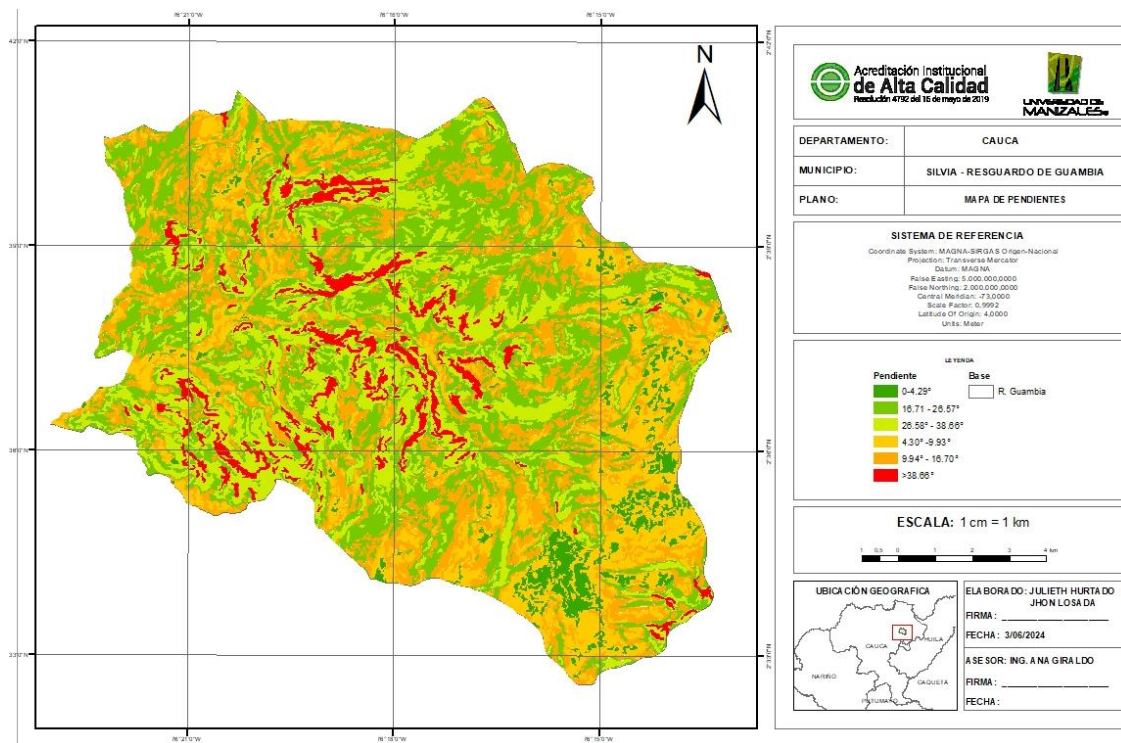
El mapa de pendientes se elaboró a partir del DEM de la NASA de 12.5 metros de tamaño de píxel, el cual se clasificó en 6 clases según el grado de inclinación en porcentaje de acuerdo con la metodología Mora y Vahrson;

Teniendo como base el Modelo Digital de Elevación (DEM), se implementó el proceso SLOPE, lo que permitió generar un mapa de las pendientes en el área de estudio. Posteriormente, se ajustaron los valores según los porcentajes específicos de pendientes correspondientes al

Resguardo de Guambia. Este mapa no solo refleja las variaciones altitudinales del terreno, sino que también proporciona una visión precisa de la inclinación, facilitando una comprensión más clara de la topografía local. (Figura 7. Mapa de Pendientes).

**Figura 6**

*Mapa de Pendientes*



Los valores de pendientes obtenidos se agruparon en distintas clases, cada una con su respectivo rango de inclinación. A cada clase de pendiente se le asignó un factor de peso relativo, considerando su influencia en la estabilidad del terreno y su contribución al fenómeno de remoción en masa. Este enfoque permite identificar áreas críticas con mayor precisión y tomar decisiones informadas sobre las medidas de mitigación necesarias para reducir la amenaza de movimientos en masa en el Resguardo de Guambia.

#### **6.3.2.4. Cobertura de suelo**

El Resguardo de Guambia se distingue por estar mayormente cubierto por bosques y áreas seminaturales, representando aproximadamente el 57% de su territorio. A pesar de que la vegetación en la región ha experimentado alteraciones debido a la intervención humana en actividades como la agricultura y la ganadería, todavía prevalece una presencia notable y abundante de bosques seminaturales en toda la extensión de la región. Estos bosques, aunque han sido afectados por la actividad humana, siguen desempeñando un papel crucial en la biodiversidad local y en la protección de los recursos naturales (Mejia, 2005).

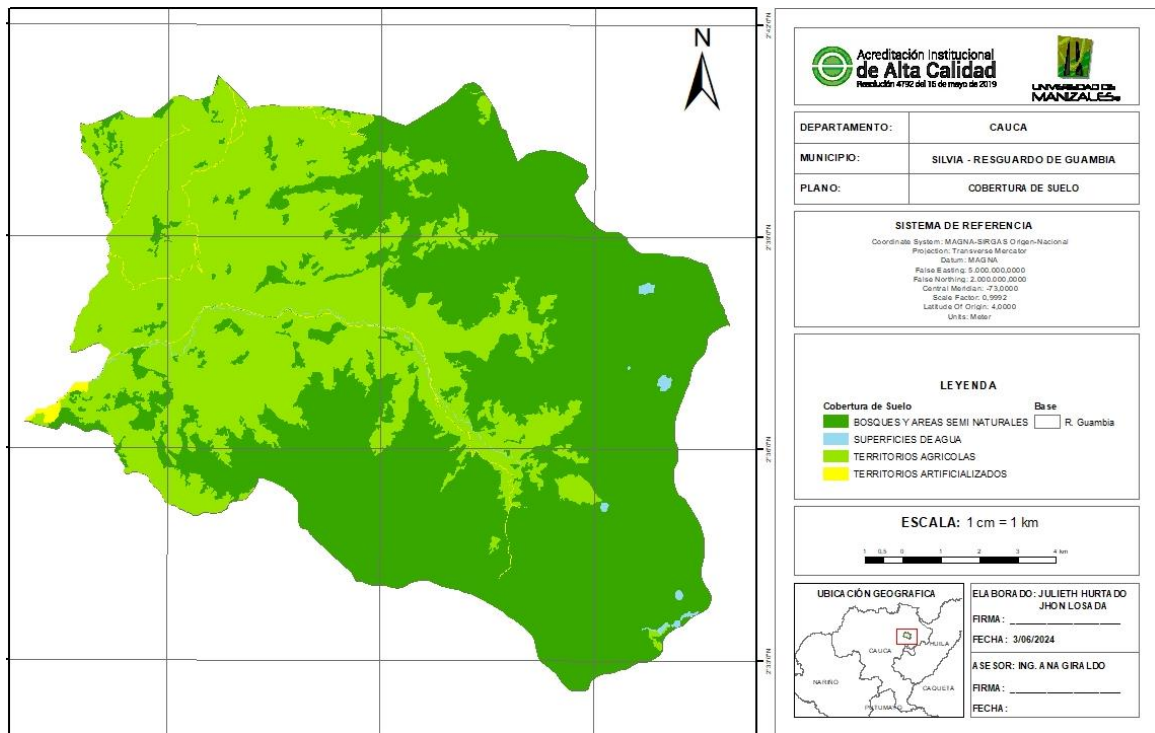
Para asignar valores a esta capa, se tuvo en cuenta el marco de valores diseñado por (Mora & Vahrson, 1992). En este proyecto, se otorgó una importancia significativa a esta capa debido a que, si bien la vegetación puede influir positivamente en la estabilidad de laderas y taludes cuando es densa y abundante, también puede tener un impacto negativo. Este efecto negativo se debe al peso que la vegetación ejerce en áreas inclinadas y escarpadas, lo cual puede desencadenar grandes deslizamientos.

La Corporación Regional del Cauca (CRC) brindó la información del año 2018, lo que permitió identificar los datos más relevantes para el proyecto y asignar valores a sus atributos de manera precisa. La tabla 6 presenta estos valores, los cuales están clasificados en una escala del 1 al 5.

El mapa de cobertura del suelo (Figura 8) revela una predominancia de bosques naturales y territorios agrícolas, un factor que puede acelerar los procesos de deslizamientos.

**Figura 7**

*Cobertura de Suelo*



**6.3.2.5. Precipitación**

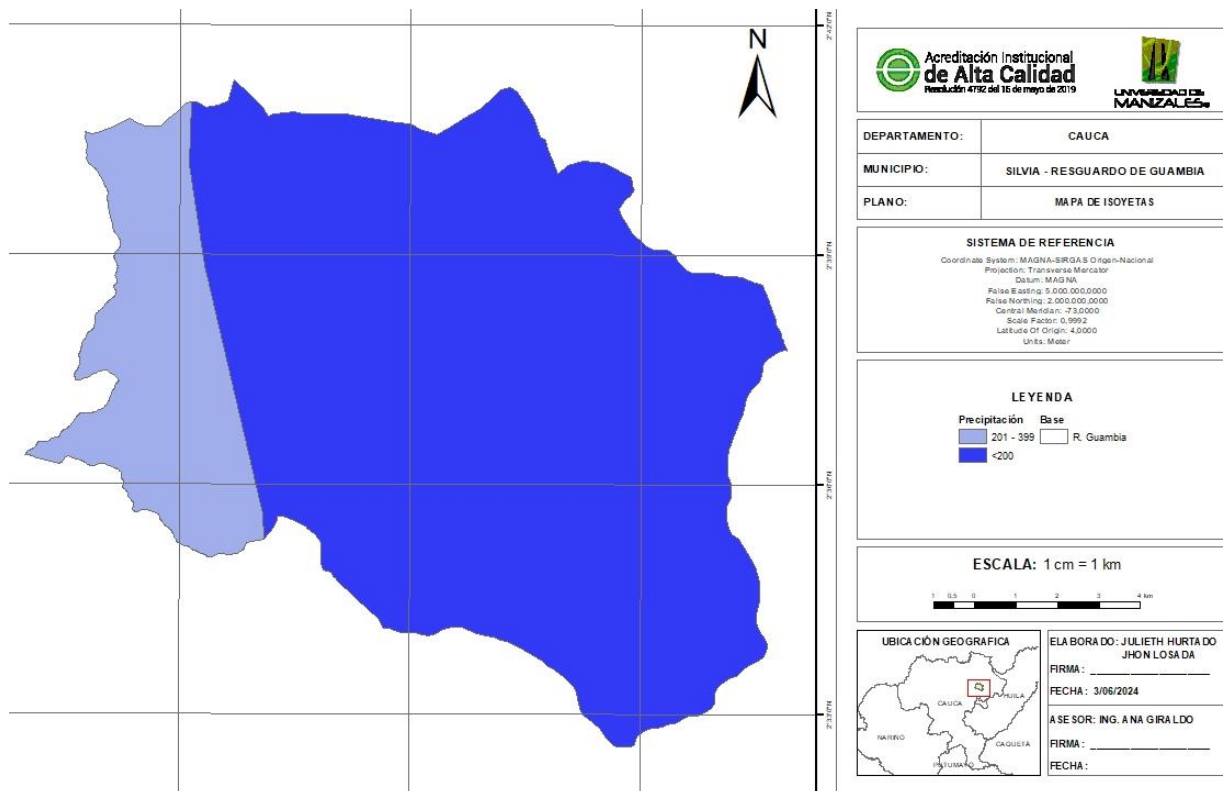
Para este parámetro, se examinaron los promedios anuales de precipitación en la zona de estudio utilizando datos proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) del municipio de Silvia. Se llevó a cabo un análisis sencillo donde se observó que las precipitaciones mensuales inferiores a 200 mm no provocan un aumento significativo en la humedad del terreno. Por otro lado, las precipitaciones que oscilan entre 201 y 399 mm por mes generan un incremento en la humedad del suelo, mientras que aquellas que superan los 400 mm mensuales provocan un aumento considerable en la humedad del terreno. Este análisis se realizó de acuerdo con los parámetros de clasificación establecidos por Mora-Vahrson.

A continuación, se presenta la Tabla 7 con los valores asignados a los promedios mensuales de lluvia según lo establecido por Mora-Vahrson en 1992.

Considerando los aspectos mencionados anteriormente, se procedió a organizar la información de precipitación media mensual en una tabla de Excel. Información debidamente georreferenciada a partir de las estaciones meteorológicas presentes y cercanas a la zona de estudio, para ser exportada al software ArcGIS. Utilizando la herramienta de análisis espacial e interpolación inversa a la distancia, se generaron las diferentes bandas de humedad del suelo, como se muestra en la figura 9.

### Figura 8.

Mapa de Precipitación Resguardo de Guambia

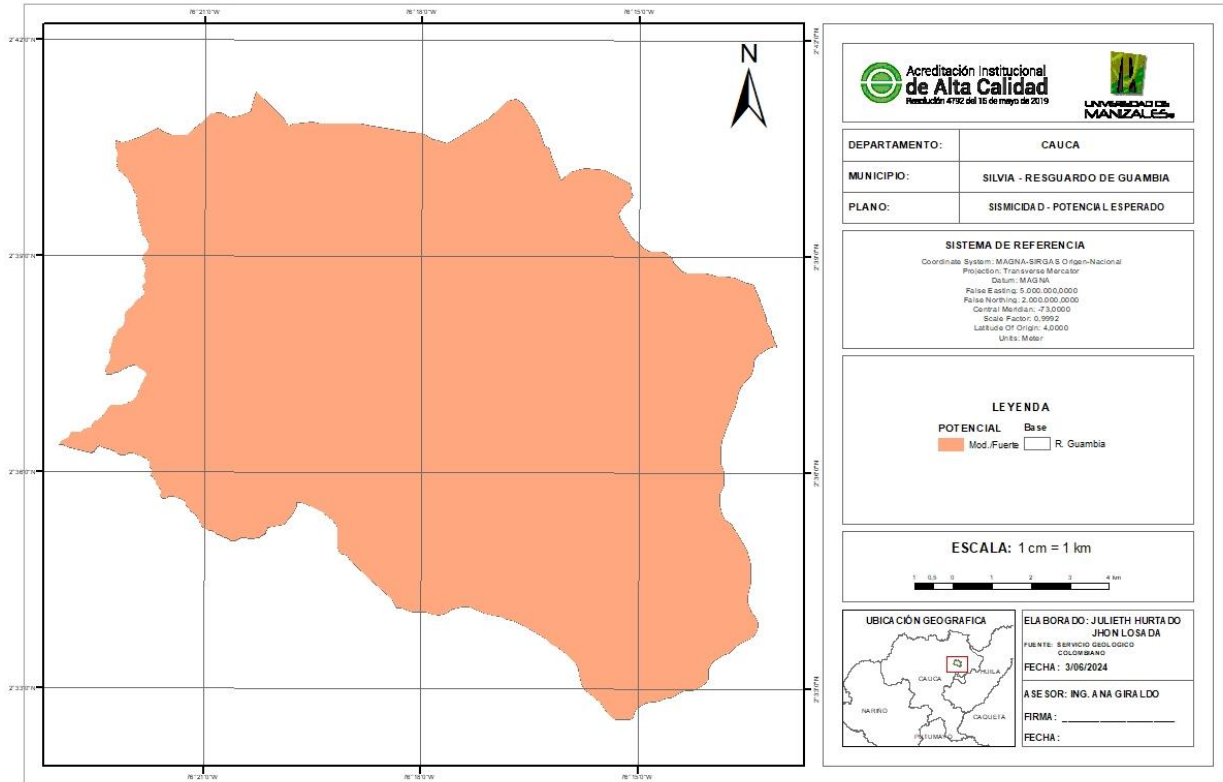


#### **6.3.2.6. Sismicidad**

Los sismos pueden desencadenar movimientos en masa al perturbar la estabilidad de laderas y pendientes, activar fallas geológicas, acelerar la erosión y proporcionar información sobre la vulnerabilidad de un área. Como su nombre lo indica, son eventos que pueden ocurrir y desencadenar una serie de acciones en la zona afectada, influenciando toda la dinámica que se desarrolle en ella. En consecuencia, los eventos sísmicos incrementan la amenaza de deslizamientos y otros fenómenos de remoción en masa.

Según la clasificación proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano (Figura 10), el municipio de Silvia se encuentra catalogado con una intensidad sísmica esperada que va desde moderada hasta fuerte, con un rango de aceleración pico en el suelo (PGA) estimado entre 34 y 65. Esta clasificación sitúa la zona dentro de una categoría de amenaza alta en términos de actividad sísmica.

Es importante destacar que la intensidad sísmica prevista y el rango de PGA mencionados son indicadores clave para evaluar la amenaza sísmica en la región. Estos valores son fundamentales para comprender el potencial impacto de los eventos sísmicos en la estabilidad del terreno y, por ende, en la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, como deslizamientos y movimientos de ladera.

**Figura 9***Mapa Intensidad Sísmica*

### 8.3.3 Afectación en la infraestructura por Amenaza de Remoción en Masa en el Resguardo Indígena de Guambia en Silvia Cauca.

El Servicio Geológico Colombiano (2016) plantea la importancia de analizar la vulnerabilidad de la amenaza por remoción de masa, en concordancia con lo estipulado en el Decreto 1807 de 2014 que estipula cuatro etapas para desarrollar el análisis las cuales son: Identificación y localización de los elementos expuestos, Caracterización de los elementos expuestos, Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad, y la Zonificación de la vulnerabilidad. Con el fin de analizar la vulnerabilidad sobre la infraestructura existente en el resguardo Indígena, ante un evento de remoción en masa, se adaptó

esta metodología con fines prácticos siguiendo las etapas anteriormente descritas, teniendo como base la información disponible para el presente estudio, caracterizado por ser a través de una metodología indirecta propuesto por (Mora & Vahrson, 1992)

Por tal motivo y con el fin de lograr identificar y caracterizar los elementos expuestos en la zona, teniendo como base la zonificación realizada en el paso anterior, se requirió consultar una base cartográfica que mostrará las construcciones de diferentes usos existentes en el territorio y teniendo en cuenta que la última actualización de la base de datos catastral del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para municipio de Silvia Cauca se llevó a cabo durante el 2002 y puesta en vigencia a partir del 01 de enero del 2003, se optó por extraer dichas capas desde Openstreetmap. Una vez extraída la información de Openstreetmap se procesa y valida la información a través de la técnica de fotointerpretación.

#### **6.2.3.1. Unión de información de capas.**

Una vez obtenido el shapefile de los polígonos de la zona de estudio, se identifican a través de consultas las características de dichos polígonos, por lo que se hace necesario a través de la herramienta “*Select by Attributes*” extraer las unidades relacionadas a infraestructura y se clasifican en: Habitacional, Acuicultura, Educativo, Cementerios, Religioso e Industrial. Seguidamente se proyecta el sistema de Coordenadas del sistema geográfico al proyectado CTM12 y utilizando el “*Calculate Geometry*” se calcula el área de las unidades de construcción.

**Figura 10.**

Resultado del “Select by Attributes” y “Calculate Geometry”

building	AreaConst
Viviendas	445031,405087
Cementerio	27815,77532
Aquicultura	35866,43543
industrial	206,977679
Educativo	48231,13994
Religioso	480,539832

De esta manera, a través de un “Spatial Join” se interrelacionan los datos de la capa de zonificación correspondiente al atributo de Nivel de Amenaza a la capa de las unidades de construcción, para el caso donde la construcción comparta 2 o a más capas de niveles de amenaza, el sistema lo relaciona donde tiene la mayor área. De esta forma cada polígono de construcción además de contar con su área en m<sup>2</sup> y de estar clasificado por tipo de uso, se le agrega la información de la zona de amenaza en la que se encuentra.

**Figura 11.**

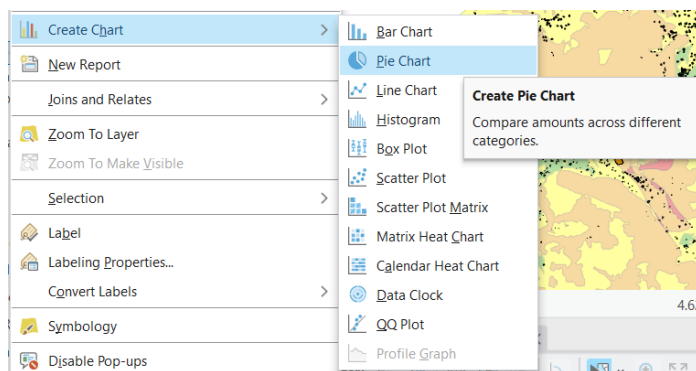
Resultado del “Spatial Join”

FID	Shape *	building	AreaConst	Nivel_Am	AreaZonas	
1	539	Polygon	Habitacional	141,420586	Alta	1806527,91254
2	543	Polygon	Habitacional	51,2823	Alta	1806527,91254
3	3516	Polygon	Habitacional	123,104614	Alta	1806527,91254
4	3518	Polygon	Habitacional	80,891676	Alta	1806527,91254
5	3768	Polygon	Religioso	182,478527	Alta	1806527,91254
6	0	Polygon	Habitacional	415,821879	Baja	18854020,6286
7	3	Polygon	Habitacional	1047,192398	Baja	18854020,6286
8	6	Polygon	Habitacional	80,724141	Baja	18854020,6286

Finalmente, con el fin de representar a través de gráficos los resultados del proceso realizado dado a los tamaños de representación en el mapa, se utilizó la extensión de “*Create Chart*” desde la aplicación de ArcgisPro, para generar una serie de gráficos que ayudaran a la interpretación de los resultados obtenidos.

**Figura 12.**

*Extensión del “Create Chart”*



## 9. Análisis y Resultados

El presente trabajo de grado tiene como objetivo realizar la zonificación de las áreas de amenaza por fenómenos de remoción en masas en el resguardo de Guambia, Municipio de Silvia - Cauca, que permita identificar las áreas prioritarias para la acción y la gestión del riesgo. A lo largo de la investigación, se llevaron a cabo una serie de pasos teniendo como base la metodología Mora Vahrson (1992), los cuales permitieron recopilar información relevante y abordar el tema. En esta sección, se presentan los resultados obtenidos, que reflejan tanto los hallazgos cuantitativos como cualitativos derivados del análisis.

## 9.1 Parámetros y variables de amenaza por fenómeno de remoción en masas en el Resguardo de Guambia

Se establecieron los parámetros necesarios para desarrollar el proyecto, para ello, teniendo como base la información base recolectada, se obtuvo como resultado las tablas de asignación de pesos sobre cada factor de acuerdo a la metodología implementada teniendo en cuenta las características de las variables.

### 9.1.1 Geología.

A nivel de geología el resguardo de Guambia presenta una variedad de litologías con diferentes características. Las lavas andesíticas del Miembro Polindara (NPL) y los flujos de ceniza gris del Miembro Sombrerillo (NPFQ), el Complejo Quebrada Grande (KCQV) compuesto por basaltos y diabasas, se les asignó un peso de 1 por tener una calificación baja, para los depósitos glaciales (Qg) y el Stock de Pitayó (Npi) un peso de 2, los flujos de ceniza del Miembro La Venta (Qpcf) y los depósitos lacustres (Ql), los cuales destacan por sus arcillas y limos se les asignó un peso de 4 con una calificación alta, mientras que los depósitos aluviales (Qal, Qt), compuestos por gravas, arenas y arcillas, se les asignó el mayor peso, correspondiente a 5 por encontrarse en una calificación de muy alta.

**Tabla 3.**

*Clasificación de la geología según parámetros de la susceptibilidad litológica de Mora Vahrson*

Litología	Peso
MIEMBRO POLINDARA (NPL): lavas andesíticas de color gris oscuro y textura porfirítica a afanítica, con fe-fenocristales de hornblenda, plagioclasa (oligoclasa maclada y zonada) y, esporádicamente, biotita.	1

MIEMBRO SOMBRERILLO (NPGF): flujos de ceniza gris gruesa, tosca, sin selección y de composición homogénea que rodea bloques con formas angulares a subredondeadas de centímetros a metros de diámetro, distribuidos caóticamente. La composición de los clastos es principalmente de andesita porfirítica, ocasionalmente se encuentran basaltos, metamórficas, pómez vesiculado y obsidiana.	1
Complejo Quebrada grande (KCQV): El conjunto volcánico está conformado por basaltos y diabasas con estructuras masivas	1
Miembro La Venta (Qpcf) : Los flujos de ceniza están representados por arcillas de color amarillo anaranjado, derivadas de la meteorización de las cenizas.	4
Depósitos lacustres (Ql): Limos en láminas de tonos claros y oscuros.	4
Depósitos glaciales (Qg): arcilla, limo, arena y cantos subangulosos estriados de pórfidos mineralizados, rocas metamórficas y andesitas.	2
Stock de Pitayó (Npi): Las rocas de este stock han sido clasificadas como pórfidos andesíticos compuestos por plagioclasa, hornblenda y opacos.	2
Depósitos aluviales (Qal, Qt); depósitos de gravas, arenas y arcillas.	5

Fuente:(Mora & Vahrson, 1992)

### 9.1.2 Geomorfología.

Para la clasificación geomorfológica la cual es crucial para entender la complejidad geomorfológica del área y su impacto en la evaluación de amenazas naturales se asignaron los pesos a las diversas formaciones quedando de la siguiente manera:

**Tabla 4.**

*Clasificación capa geomorfológica*

Característica	Detalle	Peso
Aguja glaciario (Horn)	laderas irregulares largas a muy largas pendientes abruptas (16° - 20°) a muy abruptas (21° - 30°)	3
Cerro estructural	laderas de longitud moderadamente larga de pendientes muy inclinadas (11° - 15°) a escarpadas (31° - 45°)	4
Conos glaciofluviales	pendientes inclinadas (6°-10) a muy inclinada (11° - 15), constituida por depósitos aluviales	4
Espolón estructural glaciario	Salientes simétricas agudas con pendientes muy inclinadas (6° - 10°) a abruptas (21° - 30°).	3
Flujo de lava	con pendientes inclinadas (11° - 15°) a abruptas (16° - 20°)	1
Flujo volcánico glaciario	Lóbulos elongados de morfología colinada a montañosa, de laderas inclinadas a abruptas (16° - 20°)	4
Laguna Glaciario	Cuerpos de agua en zonas montañosas como resultado del proceso natural del deshielo de antiguos glaciares,	1
Lomo de obturación	índice de relieve moderado, laderas de forma convexa con inclinación abrupta (16° - 20°) y longitud moderadamente larga.	4

Lomos de falla	pendiente abrupta (16° - 20°) a muy abrupta (21° - 30°). Se asocia a rocas muy fracturadas	4
Manto de piroclastos	pendientes suaves a muy inclinadas, localmente aterrazados, de morfología suavemente ondulada.	1
Plano o llanura de inundación	morfología baja y ondulada eventualmente inundable, índice de relieve bajo muy bajo.	2
Plano Glaciolacustrino	Morfología plana con índice de relieve muy bajo, laderas de forma rectilínea y longitud moderadamente larga.	1
Sierra homoclinal	Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología colinada, de cimas agudas y laderas de longitud moderadamente largas a muy largas	2
Sierra y lomos de presión	Prominencias topográficas alomadas a manera de franjas alargadas, localmente curvas, formadas por procesos de plegamiento y fallamiento intenso, producto del desplazamiento vertical y lateral	2

Fuente:(Mora & Vahrson, 1992)

### 9.1.3 Pendiente.

La asignación de pesos para las pendientes de acuerdo a lo establecido en la metodología implementada arroja el siguiente resultado:

**Tabla 5.**

*Clasificación pendiente*

Valor pendiente m/km <sup>2</sup>	Equivalente en grados	Clasificación	PESO
0-75	0-4.29	Muy baja	0
76-175	4.30-9.93	Baja	1
176-300	9.94-16.70	Moderada	2
301-500	16.71-26.57	Media	3
501-800	26.58-38.66	Alta	4
>800	>38.66	Muy alta	5

Fuente: (Mora & Vahrson, 1992)

### 9.1.4 Cobertura de suelo.

En relación a los pesos asignados a la capa de cobertura del suelo, se tiene que los valores más bajos, representados por el número 1, indican áreas con una menor influencia de vegetación

en la generación de deslizamientos. Estas áreas son menos susceptibles a eventos de este tipo, según el factor de vegetación analizado. Por otro lado, los valores más altos, representados por el número 5, señalan áreas donde la cantidad de vegetación aumenta significativamente la susceptibilidad a deslizamientos.

**Tabla 6.**

*Atributos capa de uso de suelos*

<b>Zona</b>	<b>Detalle</b>	<b>Peso</b>
Bosques y Áreas Semi Naturales	Áreas abiertas. sin o con poca vegetación	3
Bosques y Áreas Semi Naturales	Bosques	2
Bosques y Áreas Semi Naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	2
Superficies de Agua	Aguas continentales	5
Territorios Agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	2
Territorios Agrícolas	Pastos	2
Territorios Artificializados	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1

Fuente: Adaptada (Mora & Vahrson, 1992)

### 9.1.5 Precipitación.

La asignación de pesos para el factor desencadenante de la precipitación tuvo como resultado el siguiente cuadro en el cual se le dio el valor de 1 a la clasificación baja, 2 a la media y 3 al alta:

**Tabla 7.**

*Valores clasificación precipitación*

<b>Precipitación Máxima (mm/mes)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Peso</b>
<200	Bajo	1
201-399	Medio	2
>400	Alto	3

Fuente: (Mora & Vahrson, 1992)

### 9.1.6 Sismicidad.

El valor asignado para la zona de estudio, se encuentra en la intensidad VI, el cual corresponde a una clasificación Moderada con un valor de 4, establecido en la metodología implementada y ya descrita.

**Tabla 8.**

*Valores clasificación Sismicidad*

Intensidades MM	Aceleraciones Pico (% g)	Aceleración PGA (m/s <sup>2</sup> )	Cualificación	Valor Ts
III	1-12	0.098-1.226	Leve	1
IV	13-20	1.227-2.011	Muy Bajo	2
V	21-29	2.012-2.894	Bajo	3
<b>VI</b>	<b>30-37</b>	<b>2.895-3.679</b>	<b>Moderado</b>	<b>4</b>
VII	38-44	3.680-4.365	Medio	5
VIII	45-55	4.366-5.445	Elevado	6
IX	56-65	5.446-6.426	Fuerte	7
X	66-73	6.427-7.210	Bastante Fuerte	8
XI	74-85	7.211-8.388	Muy fuerte	9
XII	>85	>8.389	Extremadamente Fuerte	10

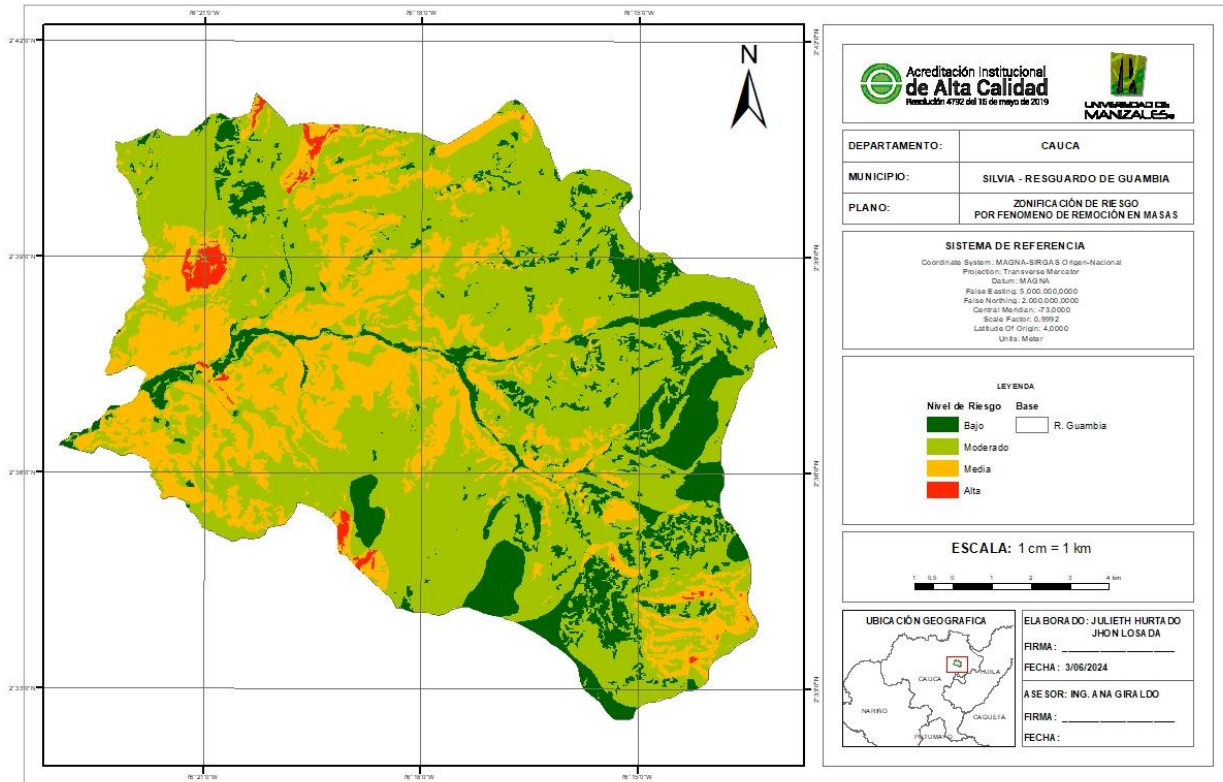
Fuente: (Mora & Vahrson, 1992)

## 9.2 Mapa de zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masas en el Resguardo de Guambia

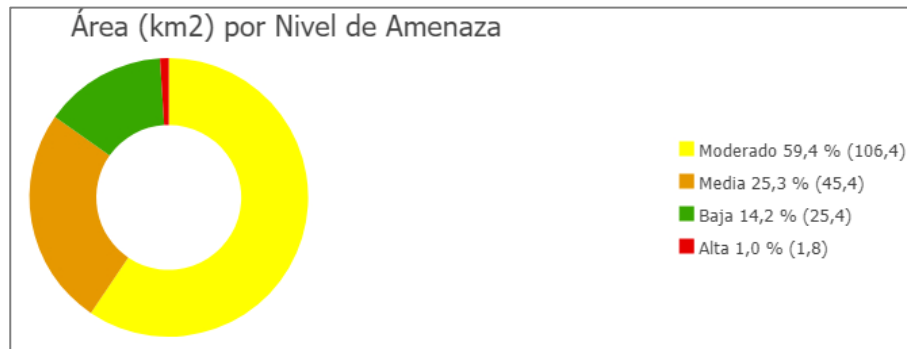
Como resultado final, se obtuvo el mapa de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa para el resguardo de Guambia. Este mapa es el producto de la integración de diversas variables, incluyendo datos geológicos, geomorfológicos, vegetativos, de pendiente, climáticos y sismológicos. La zonificación se clasificó en cinco rangos de amenaza (baja, media, moderada y alta) siguiendo la metodología de Mora y Vahrson.

**Figura 13**

*Zonificación de Amenaza por remoción en masas*



El mapa de zonificación (Figura 11) revela los escenarios de baja amenaza por fenómenos de remoción en masa en el Resguardo de Guambia. Estas zonas se encuentran hacia el noreste de la región, específicamente en las veredas Ñimbe, La Campana y Piendamó Arriga. Entre el área de susceptibilidad moderada se incluyen las veredas Las Tapias, Guambia, Bujios, Puente Real, Cacique, Peña del Corazón, Pueblito, San Pedro, Las Delicias, Cumbre H, Cumbre Nueva y Alto de los Troches. Por otro lado, el cálculo identificó áreas con alta amenaza de sufrir eventos de remoción en masa, localizadas hacia el noroeste en veredas como Villa Nueva y Guambia Nueva.

**Figura 14***Gráfico de áreas por el nivel de amenaza*

De igual forma es importante observar que si bien, a nivel general, la amenaza Alta representa solo el 1% del área del resguardo indígena de Guambia con 1 km<sup>2</sup>, existe un 25,3% de area en amenaza media con un aproximado de 45,4 km<sup>2</sup> y un 90,4% moderado equivalente a unos 106,4 km<sup>2</sup>, los cuales pueden ser tenidos en cuenta, mas aún cuando se presenten eventos de los factores detonantes como lluvias o sismos.

### **9.2.1 Análisis de afectación en la infraestructura por Amenaza de Remoción en Masa en el Resguardo Indígena de Guambia.**

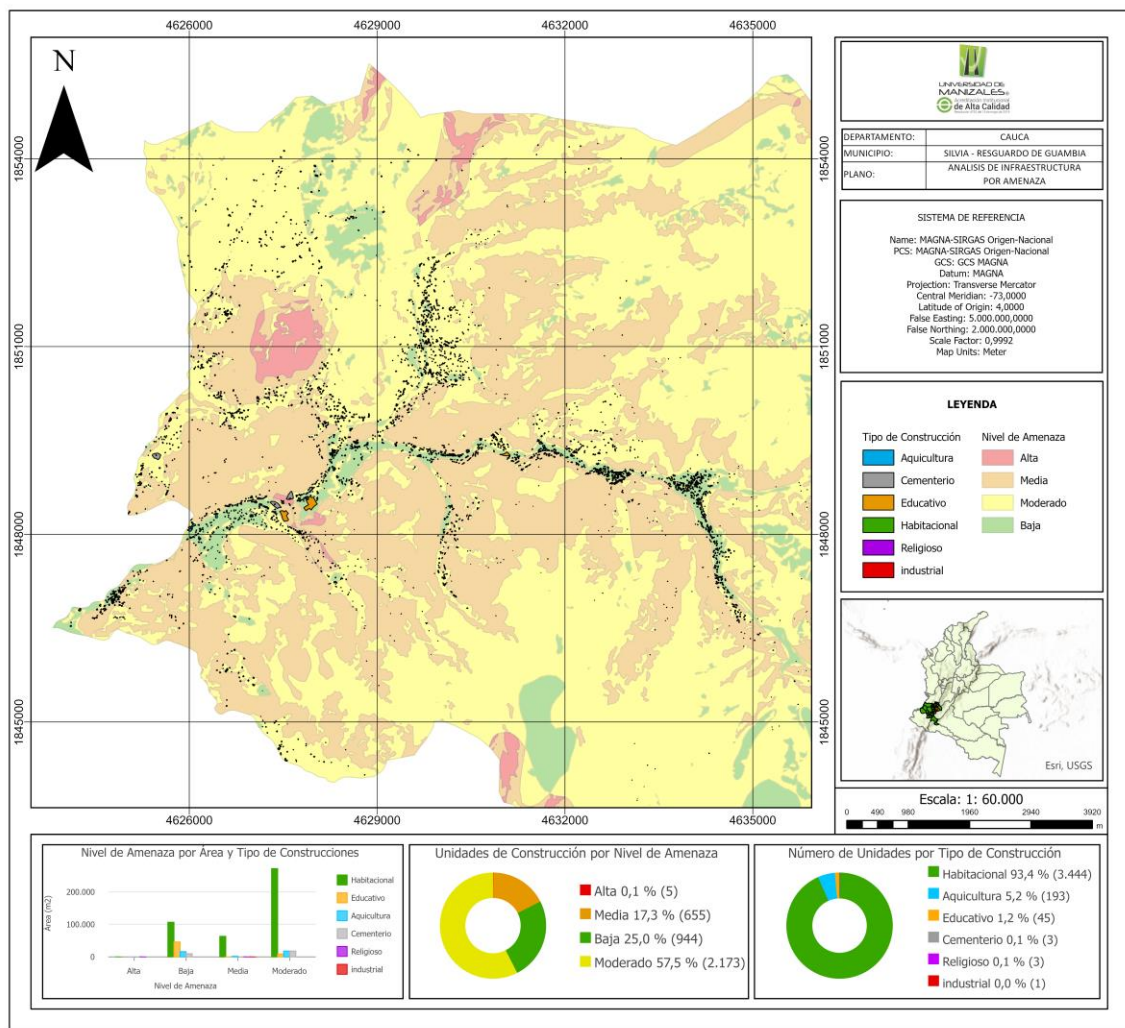
Es importante considerar que, ante eventos por fenómenos de remoción en masa, las comunidades son las principales afectadas, no solo a través de sus vidas sino las acciones que ellas han tenido sobre el territorio a través de la infraestructura que construyen para el desarrollo de diversas actividades a nivel particular como comunitario, en el que se destacan; las viviendas y construcciones anexas que soportan su cotidianidad como los galpones, enramadas y cocheras. Para este territorio en particular del resguardo de Guambia, la acuicultura es una actividad económica importante por lo que a lo largo de este espacio se encuentra una significativa

infraestructura relacionada a esta actividad. De igual forma centros educativos y encuentros de cultos a través de diferentes culturas como los parques cementerios y las capillas.

Ahora bien, al contar con un mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa, se hace necesario identificar en qué zonas se encuentra la infraestructura de la comunidad dentro del territorio permitiendo observar qué construcciones se encuentran en zona alta por fenómeno de remoción en masa. Para ello se obtiene un mapa en el que se plasman las unidades de construcción discriminadas de acuerdo a su uso.

**Figura 15.**

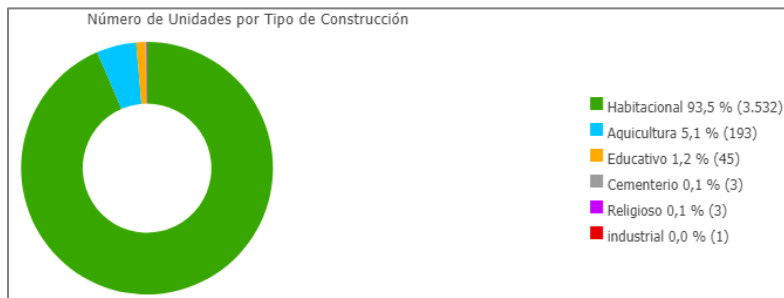
*Mapa de Análisis de Infraestructura por Amenaza*



En la gráfica No.15 se ilustra el número de unidades constructivas correspondientes a cada tipo de construcción y el equivalente en porcentaje sobre un 100%.

**Figura 16.**

*Gráficos de porcentaje de construcciones por tipo*



En un primer análisis se puede identificar que la mayor parte de la infraestructura existente en el territorio es relacionada a la habitacional (93,5%), en ella se encuentran las viviendas y sus anexos como cocheras, galpones, ramadas que soportan su entorno de vida más cercano y que de acuerdo con el resultado hay una significativa área que se encuentra en amenaza moderada y media.

Después de la tipología habitacional, la segunda con mayor área en infraestructura es la relacionada con la actividad de la acuicultura (5,1%), las cuales a nivel general emplean tanques que se encargan del depósito, almacenamiento, circulación y depuración de las aguas, las cuales se encuentra en mayor medida en zona media, moderada y baja de amenaza, respectivamente.

A nivel de infraestructura educativa, que representa el 1,2% de la infraestructura, se observa que la mayoría se encuentra en zona de baja amenaza, sin embargo, existen unidades educativas sobre zonas de amenaza media y moderada, y que se deben tener en cuenta a la hora

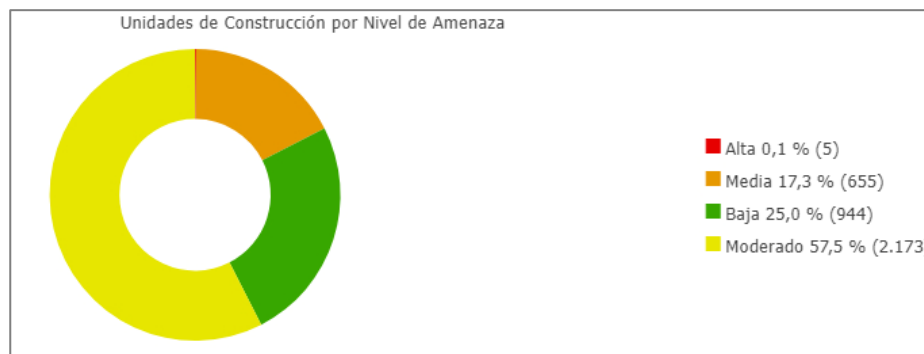
que se presenten fenómenos relacionados a los factores detonantes como las lluvias y sismos, teniendo en cuenta la población infantil y adolescente que se puede encontrar en estos espacios.

Entre la infraestructura de parques cementerios y religioso correspondiente a iglesias y o capillas, representan el 0,2% del total ubicado en zona de amenaza media y alta. Por otra parte, el área relacionada a la actividad industrial, teniendo en cuenta que es la única en el territorio, se encuentra en amenaza media lo cual se debería tener en cuenta a la hora de poder establecer protocolos ante posibles fenómenos.

En la gráfica No.16 se ilustra el número de unidades constructivas que se encuentran en cada nivel de amenaza y el equivalente en porcentaje sobre un 100%.

### Figura 17

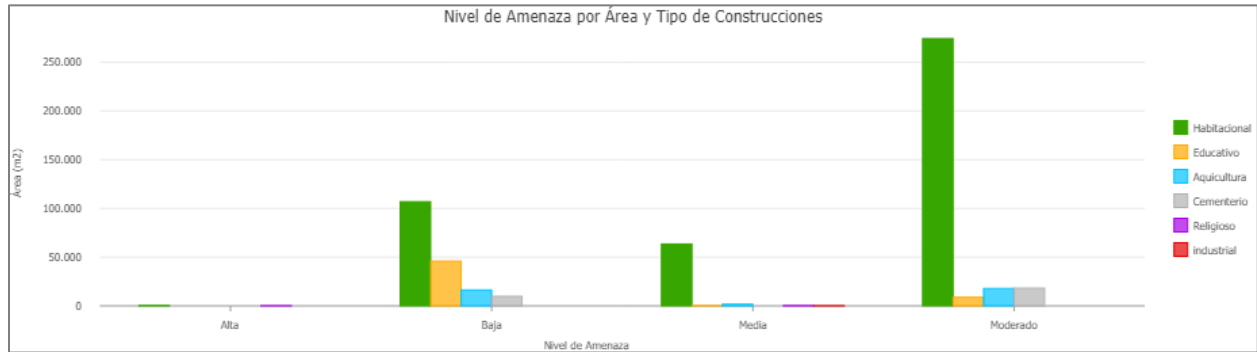
*Gráficos de infraestructura por nivel de amenaza*



A modo de síntesis se presenta la figura No. 17 que muestra el Nivel de Amenaza por Área y Tipo de Construcciones, en el cual los tipos de construcciones están categorizados por colores: Habitacional (verde), Educativo (amarillo), Acuicultura (azul), Cementerio (gris), Religioso (rosa), e Industrial (celeste), donde el eje “x” representa el Nivel de Amenaza (Alta, Baja, Media, Moderado) discriminado por el tipo de construcción y el eje “y” muestra el Área en m<sup>2</sup>.

**Figura 18**

Gráficos del nivel de amenaza por área y tipo de construcción



## 10. Conclusiones

- El mapa de zonificación del resguardo de Guambia muestra que las áreas de baja amenaza se concentran principalmente en el noreste, mientras que las zonas de amenaza moderada y alta se encuentran dispersas en varias veredas, con las de mayor amenaza ubicadas hacia el noroeste. Aunque las áreas de alta amenaza representan solo el 1% del territorio, un 25,3% del área está en amenaza media y un 59,4% en amenaza moderada.
- La mayor parte de la infraestructura en el territorio se encuentra en zonas de amenaza moderada y baja. Sin embargo, es crucial no subestimar la infraestructura ubicada en zonas de amenaza media y alta, ya que, aunque representan un porcentaje menor, su importancia es significativa. Estas áreas albergan infraestructuras esenciales, como viviendas, instalaciones acuícolas, centros educativos y lugares de culto donde la comunidad se reúne, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas de protección y gestión de riesgos específicas en estos sectores.
- Se determinó que los factores más influyentes en la ocurrencia de deslizamientos son la pendiente del terreno, la litología y las precipitaciones. La metodología Mora Vahrson, siendo un método indirecto, permitió integrar estos factores en un modelo eficaz para la zonificación de la amenaza.
- El uso de sistemas de información geográfica (SIG) es un método eficiente y simplificado para integrar valores cualitativos y cuantitativos en el cálculo de la zonificación de amenazas. Esta herramienta permite una combinación precisa y efectiva de diferentes variables, facilitando la creación de mapas.

## 11. Recomendaciones

- Es esencial validar los resultados obtenidos mediante salidas de campo. Esto no solo permitirá confirmar la precisión de los resultados, sino que también contribuirá a enriquecer la base de datos espacial sobre movimientos en masa. Cabe destacar que, en este estudio de caso, se utilizó información secundaria y gratuita, sin verificación directa en campo, lo que resalta la necesidad de corroboración en terreno.
- Se debe generar insumos cartográficos a una escala más detallada para obtener un conocimiento más preciso de las condiciones de amenaza. Es fundamental que los municipios destinen mayores recursos para mejorar la cartografía y la gestión del territorio, asegurando una planificación adecuada y preventiva frente a posibles desastres.
- Se sugiere la elaboración y difusión de protocolos de emergencia específicos para la comunidad del Resguardo de Guambia. Estos protocolos deben incluir rutas de evacuación claramente definidas, zonas seguras en caso de deslizamientos, y procedimientos de actuación en situaciones de emergencia, adaptados a las características locales y culturales de la comunidad.

## 12. Referencias

- Akintan, O. B., Olusola, J. A., Imole, O. P., & Adeyemi, M. O. (2023). Geotechnical and GIS-based environmental factors and vulnerability studies of the Okemesi landslide, Nigeria. *Regional Sustainability*, 4(3), 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.regus.2023.08.001>
- Althuwaynee, O. F., & Pradhan, B. (2017). Semi-quantitative landslide risk assessment using GIS-based exposure analysis in Kuala Lumpur City. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 706–732. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1255670>
- Alzate, B. E., Guevara, C. A., & Valero, J. A. (1999). ZONIFICACION A ESCALA GRANDE DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, EMPLEANDO LA HERRAMIENTA DEL SIG RESUMEN (Issue 1).
- Artesanías de Colombia S.A. (2017). *Programa de fortalecimiento productivo y empresarial para los pueblos indígenas en Colombia: Comunidad Misak Resguardo de Guambía (Silvia - Departamento del Cauca)*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y Artesanías de Colombia S.A.
- Arumugam, T., Kinattinkara, S., Velusamy, S., Shanmugamoorthy, M., & Murugan, S. (2023). GIS based landslide susceptibility mapping and assessment using weighted overlay method in Wayanad: A part of Western Ghats, Kerala. *Urban Climate*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101508>
- Badola, S., Mishra, V. N., Parkash, S., & Pandey, M. (2023). Rule-based fuzzy inference system for landslide susceptibility mapping along national highway 7 in Garhwal Himalayas, India. *Quaternary Science Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100093>
- CARN. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y ESCENARIOS DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES A ESCALA 1:25000. CORREGIMIENTO DEL ENCANO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.*
- Elmoulat, M., & Brahim, L. A. (2018). Landslides susceptibility mapping using GIS and weights of evidence model in Tetouan-ras-Mazari area (Northern Morocco). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1306–1325. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1505666>
- ESRI. (2023). *¿Qué son los SIG? | Tecnología de representación cartográfica con sistemas de información geográfica. ¿Qué Son Los SIG?* <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102(3–4), 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.014>
- Gupta, S., Modgil, S., Kumar, A., Sivarajah, U., & Irani, Z. (2022). Artificial intelligence and cloud-based Collaborative Platforms for Managing Disaster, extreme weather and

- emergency operations. *International Journal of Production Economics*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108642>
- Hadji, R., Boumazbeur, A. errahmane, Limani, Y., Baghem, M., Chouabi, A. el M., & Demdoum, A. (2013). Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria. *Quaternary International*, 302, 224–237. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.11.027>
- Liu, J., Wang, J., Xiong, J., Cheng, W., Li, Y., Cao, Y., He, Y., Duan, Y., He, W., & Yang, G. (2022). Assessment of flood susceptibility mapping using support vector machine, logistic regression and their ensemble techniques in the Belt and Road region. *Geocarto International*, 37(25), 9817–9846. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2025918>
- Mejia, D. (2005). *IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN LA ZONA DE PÁRAMOS DEL MUNICIPIO DE SILVIA - CAUCA* [Area de Ecosistemas Intervenidos, Universidad de la Salle]. [//efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2715&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2715&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Mora, S. C., & Vahrson, W.-G. (1992). *Determinación “a priori” de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos*. <https://www.researchgate.net/publication/283730365>
- Moragues, S., Lenzano, M. G., Jeanneret, P., Gil, V., & Lannutti, E. (2023). Landslide susceptibility mapping in the Northern part of Los Glaciares National Park, Southern Patagonia, Argentina using remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Quaternary Science Advances*, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100146>
- Nsengiyumva, J. B., & Valentino, R. (2020). Predicting landslide susceptibility and risks using GIS-based machine learning simulations, case of upper Nyabarongo catchment. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1250–1277. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1785555>
- ONU. (2023). *Informe de ONU muestra gran aumento en desastres de origen climático | UNDRR*. Naciones Unidas. <https://www.undrr.org/es/news/dirrd-informe-de-onu-muestra-gran-aumento-en-desastres-de-origen-climatico>
- Pu, P., Hao, J., Ma, D., & Yan, J. (2023). Digital Design and Data Management System for Network APP Based on GIS Technology. *Procedia Computer Science*, 228, 1110–1119. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.11.145>
- Saha, A., Pal, S. C., Chowdhuri, I., Islam, A. R. M. T., Chakraborty, R., & Roy, P. (2022). Application of neural network model-based framework approach to identify gully erosion potential hotspot zones in sub-tropical environment. *Geocarto International*, 37(26), 14758–14784. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2091042>

- SGC. (2014a). Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Plancha 343. *Servicio Geologico Colombiano*.
- SGC. (2014b). *MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA 343 SILVIA, DEPARTAMENTO DEL CAUCA Y HUILA*.
- Sonker, I., Tripathi, J. N., & Swarnim. (2022). Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio method in Sikkim Himalaya. *Quaternary Science Advances*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2022.100067>
- Sousa, I. A., Bortolozzo, C. A., Gonçalves Mendes, T. S., de Andrade, M. R. M., Neto, G. D., Metodiev, D., Pryer, T., Howley, N., Coelho Simões, S. J., & Mendes, R. M. (2023). Development of a soil moisture forecasting method for a landslide early warning system (LEWS): Pilot cases in coastal regions of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 131, 104631. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104631>
- UNGRD. (2020, August 19). *Riesgo por movimientos en masa en Colombia*. Unidad Nacional Para La Gestión Del Riesgo de Desastres (UNGRD). <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>
- UNGRD. (2023, November). *Normatividad Riesgo de Desastres*. Gobierno de Colombia. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Normatividad.aspx>
- UNGRD, DNP, IDEAM, DANE, SGC, DIMAR, & IGAC. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. In *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres* (Vol. 473).
- UPRA. (2023). *Zonificación de aptitud para los cultivos comerciales de tilapia plateada*.
- Zhao, Z., Chen, J., Yao, J., Xu, K., Liao, Y., Xie, H., & Gan, X. (2023). An improved spatial case-based reasoning considering multiple spatial drivers of geographic events and its application in landslide susceptibility mapping. *Catena*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106940>