



**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS EN MASA
MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO
APOYO A LA GESTIÓN DEL RIESGO. CASO DE ESTUDIO BARRIO EL PABLÓN
DE LA COMUNA 1 PARA EL AÑO 2023**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**LEIDI CARINA PLATA ROPERO
CC 1098808659**

**LISANDRO ENRIQUE MANTILLA PEÑA
CC 1095947074**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA 06/12/2023**



**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A MOVIMIENTOS EN MASA
MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO
APOYO A LA GESTIÓN DEL RIESGO. CASO DE ESTUDIO BARRIO EL PABLÓN
DE LA COMUNA 1 PARA EL AÑO 2023**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**LEIDI CARINA PLATA ROPERO
CC 1098808659**

**LISANDRO ENRIQUE MANTILLA PEÑA
CC 1095947074**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero en topografía**

**DIRECTOR
CARLOS ESTEBAN MORA CHAVES**

Grupo de investigación – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
INGENIERIA EN TOPOGRAFÍA
BUCARAMANGA 06/12/2023**

Nota de Aceptación

El proyecto de grado cumple con todos los criterios e indicadores de evaluación. Aprobado de acuerdo al acta N° 35 del 29 de noviembre de 2023 del comité de proyectos de grado del programa de Ingeniería en Topografía.

Firma del Evaluador

Firma del Director

DEDICATORIA

A nuestras familias,

En este camino que hemos recorrido para alcanzar nuestra meta de graduación, ustedes han sido fuente de apoyo, inspiración y amor incondicional. Cada logro, cada desafío superado y cada lección aprendida han sido posibles gracias a su constante respaldo.

Hoy, dedicamos este logro a ustedes, como testimonio de que los lazos familiares son el motor que impulsa nuestros sueños. Cada página de este proyecto lleva consigo el amor, el esfuerzo y el compromiso que compartimos como familia.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible la culminación de este proyecto de grado. En primer lugar, agradecemos a los profesores Carlos Mora y Clara Inés por su invaluable orientación, apoyo y conocimientos compartidos a lo largo de este proceso. Sus consejos expertos y su compromiso han sido fundamentales para alcanzar este logro.

También deseamos extender un gran reconocimiento a las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) por brindarnos la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniería en Topografía. El ambiente de aprendizaje y la calidad educativa de la institución han sido un pilar fundamental en nuestra formación académica.

Asimismo, queremos agradecer a todo el cuerpo de docentes de la Ingeniería en Topografía de la UTS, cuyo arduo trabajo y dedicación han sentado las bases para nuestro desarrollo como profesionales.

Por último, pero no menos importante, queremos expresar nuestra gratitud a nuestras familias y amigos, cuyo apoyo inquebrantable ha sido mi fuente de inspiración y motivación durante este proceso.

Este proyecto de grado es un testimonio del trabajo en equipo, la dedicación y la pasión que hemos encontrado en este camino académico.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u>	10
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	11
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	18
1.4.1. INTERNACIONALES.....	18
1.4.2. NACIONALES	19
1.4.3. REGIONAL.....	22
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	23
2.1. MARCO TEÓRICO	23
2.1.1. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	23
2.1.2. VARIABLES DE ESTUDIO	23
2.2. MARCO LEGAL.....	32
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u>	33
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	35
4.1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.	35
4.1.1. RECOPIRAR INFORMACIÓN CATASTRAL DE LA ZONA.	35
4.1.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	35
4.1.3. ORGANIZAR DATOS ESPACIALES	36
4.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA DESARROLLAR UN PROCESAMIENTO ESPACIAL CON SUS CORRESPONDIENTES VARIABLES.	39
4.2.1. PONDERACIÓN DE CADA VARIABLE DE ACUERDO A SU GRADO DE IMPORTANCIA.	39
4.2.2. HALLAR EL FACTOR CONDICIONANTE MEDIANTE ALGEBRA DE VARIABLES.....	40
4.2.3. HALLAR EL FACTOR DETONANTE MEDIANTE ALGEBRA DE VARIABLES	42
4.2.4. APLICAR LA METODOLOGÍA DE SUPERPOSICIÓN DE CAPAS PARA GENERAR UN SHAPEFILE CON LOS VALORES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	44

4.2.5.	ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN LOS VALORES DE SUPERPOSICIÓN DE CAPAS.....	46
5.	<u>RESULTADOS</u>	<u>48</u>
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>50</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES.....</u>	<u>51</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>52</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de la inferencia de las lluvias en una ladera	30
Figura 2. Datos de variables	35
Figura 3. Shapefile variable pendiente	36
Figura 4. Shapefile variable cobertura vegetal	36
Figura 5. Shapefile variable geomorfología	37
Figura 6. Shapefile variable litología	37
Figura 7. Shapefile variable precipitación	38
Figura 8. Shapefile variable sismicidad	38
Figura 9. Intersect variables de factor condicionante.....	41
Figura 10. Shapefile factor condicionante	41
Figura 11. Aplicación de la fórmula para FC	42
Figura 12. Intersect variables de factor detonante.....	43
Figura 13. Shapefile factor detonante	43
Figura 14. Aplicación de la fórmula para FD	44
Figura 15. Superposición de capas para generar shapefile de susceptibilidad.....	45
Figura 16. Aplicación de la fórmula para S.....	46
Figura 17. Asignación de rangos según la susceptibilidad	47
Figura 18. Nivel de susceptibilidad a movimientos en masa.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de pendientes SGC	24
Tabla 2. Leyenda Land Cover	29
Tabla 3. Relación entre intensidad sísmica y movimientos en masa	31
Tabla 4. Diseño de la investigación	33
Tabla 5. Fuentes de información de las variables.....	35
Tabla 6. Ponderación de las variables.....	39
Tabla 7. Niveles de susceptibilidad.....	46
Tabla 8. Resultados niveles de susceptibilidad.....	48

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto de grado tuvo como objetivo principal la identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa en el Barrio El Pablón, empleando sistemas de información geográfica como una herramienta fundamental para respaldar la gestión del riesgo. Para lograr este propósito, se llevaron a cabo tres objetivos específicos. Primero, se identificaron las variables que inciden en la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de estudio. Luego, se generó una base de datos geoespacial que permitió analizar las áreas con alto, mediano y bajo riesgo de movimientos en masa. Por último, se desarrolló una cartografía de gestión del riesgo que facilita la identificación de zonas vulnerables.

Los resultados obtenidos revelan que aproximadamente el 49.96% del territorio del Barrio El Pablón se encuentra en la categoría de índice de susceptibilidad bajo, indicando un menor riesgo de movimientos en masa. El 30.81% del área se encuentra en la categoría de índice de susceptibilidad medio, lo que señala un nivel moderado de riesgo, mientras que el 19.24% del territorio se considera de alto riesgo. Estos hallazgos proporcionan una guía esencial para la planificación y la toma de decisiones en la gestión del riesgo en el barrio.

En conclusión, la identificación de variables influyentes, la generación de una base de datos geoespacial y el desarrollo de una cartografía de gestión del riesgo son elementos clave para comprender, prevenir y mitigar los movimientos en masa en el Barrio El Pablón. Este proyecto no solo mejora la seguridad de los habitantes de la zona, sino que también brinda una sólida base para futuros estudios y acciones en la gestión de riesgos geológicos.

PALABRAS CLAVE. Gestión del Riesgo, Ordenamiento Territorial, Geodesia, Geomática, Sistemas de información geográfica.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los eventos de movimientos en masa han sido una preocupación creciente en todo el mundo. Estos eventos, que incluyen deslizamientos de tierra, avalanchas, desprendimientos de rocas y otros fenómenos similares, representan una amenaza significativa para las comunidades y el medio ambiente (Reinoso, 2022). Es por ello que la identificación temprana de zonas susceptibles a movimientos en masa se ha convertido en una tarea prioritaria para la gestión del riesgo y la planificación del desarrollo sostenible (Goyes, 2021).

En este contexto, los sistemas de información geográfica (SIG) han emergido como una herramienta invaluable para la evaluación y la gestión de los peligros asociados a los movimientos en masa. Los SIG integran datos espaciales y atributos relacionados en una plataforma digital, permitiendo el análisis y la visualización de la información geográfica de manera eficiente y efectiva (Cartaya Rios, 2015). Esta tecnología proporciona a los investigadores y profesionales una visión holística de las áreas propensas a los movimientos en masa, lo que a su vez contribuye a la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo (Batista, Carmenates, & Camacho Ortegón, 2014).

Esta investigación contribuirá de manera significativa a la planificación y toma de decisiones en la gestión del riesgo de movimientos en masa para el barrio El Pablón de la comuna 1 de la ciudad de Bucaramanga; los resultados obtenidos proporcionarán información detallada sobre las áreas de mayor peligro, lo que permitirá la implementación de medidas preventivas y la adopción de políticas de desarrollo sostenible. Además, esta tesis servirá como base para futuros estudios y proyectos relacionados con la reducción del riesgo de movimientos en masa en otras áreas geográficas similares.

El proyecto de grado se ha desarrollado siguiendo un enfoque metodológico, dividido en tres fases interrelacionadas. Cada una de estas etapas ha sido diseñada para interactuar y complementarse entre sí, con el objetivo de generar un análisis completo y detallado.

La primera fase se centró en la recopilación y definición de variables clave, estableciendo así una base sólida para la implementación del estudio. Esta etapa de inicio proporcionó los cimientos necesarios para la posterior aplicación de la metodología, identificando los elementos críticos que influirían en los movimientos en masa para la zona de estudio.

La segunda fase involucró la aplicación de herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), para el procesamiento y análisis detallado de los datos recopilados en la fase inicial. Esta etapa permitió la interacción entre las variables identificadas, explorando su correlación y efecto en la problemática estudiada.

Finalmente, la tercera fase se enfocó en la síntesis de los hallazgos obtenidos en las etapas previas, materializándolos en la generación de productos finales, como mapas detallados y conclusiones claras.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bucaramanga se encuentra localizada al nororiente de Colombia, en una de las zonas con mayor sismicidad en el mundo debido a las fallas activas que la cruzan. La sismicidad desencadena fenómenos naturales que afectan la integridad de las personas, siendo los movimientos en masa uno de los más comunes. La geomorfología del suelo, los factores climáticos y la continua actividad sísmica aumentan la susceptibilidad a movimientos en masa en distintas zonas de la ciudad (PMGRD Bucaramanga, 2013), por esto, el ordenamiento territorial es una herramienta fundamental para la adecuada gestión del riesgo, la clasificación del uso del territorio permite reducir y evitar la construcción de escenarios expuestos a amenazas (POT Bucaramanga, 2014).

La zonificación de restricciones de la ocupación de uso del suelo según el plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga, incluye la clasificación de áreas urbanas y el estudio de acuerdo a las condiciones físicas relacionadas con amenazas o riesgos naturales y factores limitantes para la ubicación de construcciones y asentamientos humanos. Esta zonificación está compuesta por 13 zonas siendo el barrio el Pablón una de las susceptibles a movimientos en masa (POT Bucaramanga, 2014).

La ausencia de información detallada sobre la susceptibilidad a movimientos en masa en esta zona ha generado una situación crítica en términos de gestión del riesgo y planificación urbana por parte de las entidades gubernamentales pertinentes (PMGRD Bucaramanga, 2013). Esta carencia de datos se atribuye a la falta de una planificación integral por parte del municipio, lo que ha dejado a la población desprotegida frente a los posibles peligros asociados a estos fenómenos.

La ausencia de información sobre la susceptibilidad expone a la comunidad a riesgos desconocidos, dificultando la implementación de estrategias preventivas y medidas de respuesta efectivas. La falta de conciencia de los riesgos a los que están expuestos los habitantes aumenta la vulnerabilidad y la exposición a eventos de movimientos en masa, resaltando la urgencia de este proyecto para proporcionar información valiosa que respalde la toma de decisiones en la gestión del riesgo y la seguridad comunitaria.

La incidencia de la localización del barrio, las condiciones socio-económica de la población y sumada a la vulnerabilidad de gran parte de las edificaciones contribuye un riesgo importante para la comunidad en general. Por esta razón es importante plantear la siguiente pregunta: ¿Es posible identificar zonas susceptibles a movimientos en masa mediante el uso de sistemas de información geográfica como apoyo a la gestión del riesgo en el barrio el Pablón de la comuna 1 para el año 2023?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la problemática que se presenta en el área de estudio, se busca presentar un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a la población del sector del Pablón sobre las zonas que son más propensas a estos eventos y así concientizar a la comunidad de que la indebida ocupación del uso del suelo aumenta la vulnerabilidad al riesgo de deslizamientos y posibles pérdidas humanas (Vargas Cuervo, 1994).

Con la identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa mediante el uso de los sistemas de información geográfica como apoyo a la gestión del riesgo, se pretende analizar el impacto de los deslizamientos en el barrio el Pablón con el fin de minimizar los efectos de este fenómeno natural y en algunos casos de incidencia humana.

El desarrollo de este trabajo se basa en tres pilares; en primer lugar, el sector de Pablón es una zona propensa a los movimientos en masa, debido a su topografía y al estado de sus suelos. En segundo lugar, el barrio el Pablón es una zona especialmente vulnerable a este tipo de fenómenos naturales, por desconocimiento de la población y falta de infraestructura apropiada para hacer frente a estas situaciones (Delgado Sánchez, 2020). Y, en tercer lugar, el uso de sistemas de información geográfica es una herramienta de gran utilidad para la identificación de las zonas susceptibles a movimientos en masa, así como para la planificación y la gestión del riesgo (Jiménez Jara, 2011).

Por lo tanto, el presente trabajo de grado se justifica tanto por la necesidad de identificar las zonas susceptibles a movimientos en masa. Asimismo, este proyecto contribuirá al desarrollo de la investigación en el área de la gestión del riesgo, como

al conocimiento sobre el uso de sistemas de información geográfica como herramienta de identificación y gestión de este tipo de fenómenos naturales.

La propuesta es relevante para las UTS porque alimenta la línea de investigación de Geomática y Gestión territorial del grupo GRIMAT Grupo de investigación en medio ambiente y territorio, lo cual hace reforzar la actividad investigativa del programa académico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar zonas susceptibles a movimientos en masa mediante el uso de sistemas de información geográfica como apoyo a la gestión del riesgo del barrio el Pablón de la comuna 1 para el año 2023.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que inciden en la ocurrencia de los movimientos en masa, mediante una revisión bibliográfica para el apoyo en la toma de decisiones de la gestión del riesgo.
- Generar una base de datos geoespacial para el análisis de zonas con alto, mediano y bajo riesgo de movimientos en masa con el uso de sistemas de información geográfica.
- Desarrollar una cartografía de gestión del riesgo que permita la identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa para el barrio el Pablón con el uso de sistemas de información geográfica.

1.4. ESTADO DEL ARTE

1.4.1. Internacionales

Las zonas más susceptibles a ocurrencia de deslizamientos en la cordillera de Guaniguanico en Cuba. La metodología utilizada para la recolección de la información fue por métodos de modelación de la susceptibilidad en SIG, centrándose en la fotointerpretación y el trabajo de campo, estableciendo una correlación entre los deslizamientos y los factores causales, permitiendo una ponderación de las variables que intervienen en el movimiento de tierras. Los resultados obtenidos fortalecerán la cartografía de futuros planes de ordenamiento territorial; se presentaron planes para el manejo de la cordillera en función al uso de la superficie y a los niveles de susceptibilidad de deslizamientos (Cueto Gil, 2018).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Uso del suelo actual
2. Conformación geológica del suelo
3. Inventario de deslizamientos

Por otra parte, los aspectos que influyen en la estabilidad del terreno, de esta manera se identifica la susceptibilidad del mismo a deslizamientos. En este caso se trata del pueblo Tapacocha en Lima, Perú. La metodología utilizada fue el diseño exploratorio secuencial, analizando la geomorfología del terreno y las descripciones obtenidas por los ensayos de laboratorio de la mecánica del suelo. Los resultados obtenidos demostraron que la susceptibilidad del pueblo se debe a la conformación geológica del suelo y la baja permeabilidad del mismo (Manrique, 2017).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Localización de la zona de estudio
2. Conformación geológica del suelo

Y finalmente desde el campo internacional, elaboraron un mapa de susceptibilidad a desplazamientos del terreno, identificando los factores que influyen en la estabilidad del mismo. En este caso se trata del distrito San Miguelito en Panamá. La metodología utilizada fue el diseño exploratorio secuencial, la recolección de los datos se realizó mediante un SIG, en donde se analizaron los diferentes parámetros que influyen en la inestabilidad del suelo, y se correlacionaron teniendo en cuenta su grado de importancia. Los resultados permitieron conocer las áreas con mayor susceptibilidad a deslizamiento, clasificándola en categorías que se encuentran en rangos de moderada a extremadamente alta (Díaz, Acosta, 2019).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Mapa de elevaciones
2. Información de pendientes
3. Información de proximidad de ríos

1.4.2. Nacionales

Exponen las técnicas para la predicción espacial mediante modelos probabilísticos, modelos estadísticos y modelos de estadística espacial; estos modelos infieren entre sí, según la cualidad y cantidad de las variables. Conociendo estas técnicas y según las variables presentes en la zona, se toma la más indicada para su proceso (Florez García, 2019).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Modelos probabilísticos
2. Modelos estadísticos
3. modelos de estadística espacial

De igual forma, se estimaron las variables morfométricas de los deslizamientos presentados, para obtener una correlación estadística entre ellas. La metodología utilizada fue obtener una base de datos de los eventos ocurridos en cierto periodo de tiempo y compararlos para hallar las variables que los relacionan. Los resultados arrojaron que las variables morfométricas son: Superficie de ruptura y masa de desplazamiento (Santa Ramírez, 2020).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Modelos digitales del terreno
2. Histórico de deslizamientos

Se analizaron la susceptibilidad a deslizamiento con relación a los parámetros de precipitación, pendiente, usos del suelo y geología, y mediante apoyo de un SIG correlacionar las variables según su grado de importancia. Con cada una de las variables se genera un mapa para posteriormente cruzar capas (formato ráster) y con modelos de ponderación de parámetro del programa ArcGIS hallar las zonas susceptibles (Berrio Morales & Sanchez Gomezjurado, 2019).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Modelos digitales del terreno

2. Histórico de deslizamientos
3. Mapa de vías
4. Mapa de ríos

A demás, se estudiaron la reacción de las lluvias y los deslizamientos en un periodo de tiempo, de esta manera poder conocer la influencia de las lluvias en los procesos de remisión de masa. En el caso se trata del departamento de Antioquia en los años 1929 y 1999. La metodología utilizada para la recolección de la información se realizó mediante un SIG, en donde se analizaron las precipitaciones presentadas, en escalas interanual y diaria, y sobre el desencadenamiento de movimientos en masa en estas diferentes escalas de tiempo. Los cambios macro climáticos presentes en el departamento generan periodos húmedos y secos denominados fenómenos de la Niña y del Niño (ENSO), en los resultados obtenidos se puede identificar que estos fenómenos infieren en el número de deslizamientos que se presentan, concluyendo que el número de deslizamientos es mayor en épocas de la Niña (Moreno, 2006).

estos fenómenos afectan el número de deslizamientos que ocurren en el departamento, conociéndose de un mayor número de deslizamientos por año en épocas de La Niña y una disminución de ellos en la fase de El Niño.

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Precipitaciones
2. Inventario de deslizamientos

Y finalmente, se generó una base cartografía a escala 1:10.000 sobre la susceptibilidad y amenaza relacionada al movimiento en masa. La metodología

utilizada para el desarrollo del trabajo fue la implementación del documento del Servicio Geológico Colombiano para zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 (Velasquez Ortiz, 2019).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Guía metodológica del servicio Geológico Colombiano para zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.

1.4.3. Regional

En cuanto al ámbito regional, se tienen pocos estudios relacionados al tema. (Rodriguez Beltran & Rueda Posada, 2014) aplicaron herramientas SIG para realizar la zonificación y evaluación de las amenazas a deslizamientos, esto en la comuna 14 de la ciudad de Bucaramanga. La metodología utilizada fue el uso de técnicas de geo-información mediante SIG donde se determina la susceptibilidad con criterios multivariados teniendo en cuenta factores del terreno y los deslizamientos que han ocurrido en la zona (inventario).

Condiciones útiles para la implementación al proyecto trabajadas en el artículo mencionado:

1. Mapa de pendientes
2. Características geomorfológicas
3. Características geológicas
4. Características geotécnicas
5. Inventario de deslizamientos

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. *Susceptibilidad a movimientos en masa*

La susceptibilidad a movimientos en masa se refiere a la predisposición de un área o terreno a experimentar eventos de deslizamiento o movimiento de tierras. Se trata de la capacidad del terreno para sufrir cambios en su estabilidad y desplazamientos debido a diversos factores geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. La susceptibilidad a movimientos en masa se determina mediante la evaluación de características físicas y geotécnicas del terreno, como la composición del suelo, la estructura geológica, la topografía, la pendiente, la presencia de agua subterránea, la vegetación, entre otros factores. Estos elementos influyen en la estabilidad del terreno y pueden aumentar o disminuir la probabilidad de que ocurran movimientos en masa (Caviedes & Chaparro, 2021).

Es importante destacar que la susceptibilidad a movimientos en masa no indica la ocurrencia inminente de un evento, sino la predisposición del terreno a experimentar dicho fenómeno. Es necesario realizar estudios específicos, análisis detallados y considerar otros factores, como las condiciones climáticas y la actividad humana, para evaluar completamente el riesgo y la amenaza de movimientos en masa en una determinada área.

2.1.2. *Variables de estudio*

2.1.2.1 Pendiente

Esta variable se caracteriza por marcar el ángulo de inclinación de una ladera con respecto a la horizontal, donde sus unidades se expresan en valores angulares de 0° a 90°. Según autores, la pendiente se considera como un factor de incidencia

para la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC, 2017) de igual forma, está también influye en la distribución de las aguas sobre las laderas (Santacana, 2001).

La pendiente se analiza como una variable cuantitativa continua y se extrae del DEM, a continuación, se presentan los valores presentados por el SGC (2017).

Tabla 1. Rangos de pendientes SGC

Inclinación (°)	Condiciones del terreno
0-2	Plano a casi plano. No hay denudación apreciable
2-4	Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (soliflucción) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.
4-8	Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8-16	Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente soliflucción periglaciara, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos.
16-35	Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35-55	Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.
>55	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente "denudación de escarpe"; susceptible a rodamiento de rocas.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017)

2.1.2.2 Litología

La litología, que se refiere a la composición y características geológicas de las rocas y suelos en una determinada área, juega un papel crucial en la susceptibilidad a movimientos en masa. A continuación, se explican algunos aspectos en los que la litología afecta la susceptibilidad a estos movimientos (Vargas Cuervo, 2000):

- **Resistencia al corte:** La resistencia al corte de los materiales geológicos es fundamental para su estabilidad. Algunas rocas y suelos son más resistentes al corte, lo que significa que tienen una mayor capacidad para mantener su integridad frente a las fuerzas de la gravedad. Por el contrario, materiales

menos cohesivos o más débiles serán más propensos a deslizarse o colapsar bajo la acción de las fuerzas externas.

- **Porosidad y permeabilidad:** La porosidad y la permeabilidad son características que influyen en la capacidad de los materiales para absorber y transportar agua. Los suelos y rocas altamente porosos y permeables tienen una mayor capacidad para retener el agua, lo que puede debilitar su estructura y aumentar la susceptibilidad a movimientos en masa, especialmente cuando se satura el suelo.
- **Estructura geológica:** La disposición y orientación de las capas geológicas en una ladera pueden influir significativamente en la estabilidad. Las rocas y suelos con estratos inclinados o fracturas pueden facilitar la ocurrencia de deslizamientos a lo largo de esas superficies débiles.
- **Tipo de roca y suelo:** Diferentes tipos de rocas y suelos tienen diferentes propiedades físicas y mecánicas. Por ejemplo, las rocas ígneas y metamórficas suelen ser más resistentes que las rocas sedimentarias. Los suelos arenosos son más propensos a la licuefacción durante terremotos, lo que puede desencadenar flujos de lodo y deslizamientos.
- **Inestabilidad de la ladera:** La litología puede influir en la inclinación y estabilidad natural de una ladera. Por ejemplo, una ladera formada por materiales sueltos o poco cohesivos será más propensa a sufrir derrumbes o deslizamientos que una ladera formada por rocas duras y estables.
- **Acción geológica y climática:** La interacción entre la litología y la acción geológica y climática a lo largo del tiempo puede alterar la estabilidad de una

ladera. Por ejemplo, la presencia de fallas geológicas, la erosión causada por ríos o glaciares, y la influencia de eventos climáticos extremos pueden desencadenar movimientos en masa en áreas específicas.

2.1.2.3 Geomorfología

Colombia presenta una gran diversidad de características geomorfológicas, las cuales se deben a procesos endógenos en cuanto a la formación del relieve y exógenos en la modelación del relieve (Chaparro, 2014)

La geomorfología, que estudia las formas y procesos del relieve terrestre, también juega un papel importante en la susceptibilidad a movimientos en masa. La interacción entre la topografía y los procesos geodinámicos puede influir significativamente en la estabilidad de una ladera y aumentar o disminuir el riesgo de deslizamientos y otros movimientos en masa. A continuación, se describen algunos aspectos en los que la geomorfología incide en la susceptibilidad a estos fenómenos (Aristizabal, 2005):

- **Pendiente de la ladera:** Las laderas con pendientes pronunciadas son más susceptibles a los movimientos en masa porque la fuerza de la gravedad actúa con mayor intensidad en estas áreas.
- **Forma del terreno:** La configuración geomorfológica de una ladera puede influir en la acumulación o el drenaje del agua. Por ejemplo, las cuencas y depresiones en la ladera pueden actuar como trampas para el agua, aumentando la saturación del suelo y, por ende, la susceptibilidad a movimientos en masa.

- **Erosión y sedimentación:** Los procesos de erosión y sedimentación pueden alterar la estabilidad de una ladera. La remoción del material superficial puede debilitar la estructura del suelo o roca, mientras que la acumulación de sedimentos puede aumentar la carga en la ladera, incrementando el riesgo de deslizamientos.
- **Acción de los cuerpos de agua:** La presencia de ríos, arroyos o lagos cerca de una ladera puede contribuir a la susceptibilidad a movimientos en masa. La erosión causada por el agua y las fluctuaciones del nivel del agua pueden debilitar la base de una ladera, lo que puede desencadenar deslizamientos o derrumbes.
- **Influencia de eventos naturales:** Los eventos naturales, como terremotos, volcanes o intensas precipitaciones, también pueden afectar la geomorfología de una región y aumentar temporalmente la susceptibilidad a movimientos en masa.

2.1.2.4 Uso del suelo

El uso del suelo tiene un impacto significativo en la susceptibilidad a movimientos en masa. Los cambios en la cobertura vegetal pueden aumentar o disminuir la estabilidad del terreno, lo que afecta directamente la probabilidad de que ocurran movimientos en masa como deslizamientos, derrumbes, flujos de lodo y otros fenómenos relacionados. A continuación, se describen cómo diferentes usos del suelo pueden incidir en la susceptibilidad a movimientos en masa (Vargas Cuervo, 2000):

- **Deforestación y pérdida de vegetación:** La remoción de la vegetación, ya sea por deforestación o por actividades humanas, disminuye la capacidad del suelo para mantener los taludes. La vegetación actúa como un anclaje

natural y ayuda a prevenir la erosión, sin vegetación, la ladera se vuelve más vulnerable los movimientos en masa.

- **Urbanización y pavimentación:** El desarrollo urbano implica la pavimentación y construcción de infraestructuras, lo que altera la capacidad natural del suelo para absorber y drenar el agua. Las superficies pavimentadas reducen la infiltración y aumentan el escurrimiento superficial, lo que puede llevar a la saturación del suelo y aumentar el riesgo de deslizamientos y colapsos.
- **Actividades agrícolas:** La agricultura también puede tener un impacto en la susceptibilidad a movimientos en masa, especialmente cuando se practican técnicas agrícolas inadecuadas, como el uso intensivo de maquinaria en laderas empinadas o la falta de prácticas de conservación del suelo. La remoción de la vegetación natural y la alteración del suelo pueden debilitar la estabilidad del terreno y aumentar el riesgo de movimientos en masa.
- **Cambios en el uso del suelo:** Los cambios en el uso del suelo pueden alterar la distribución del peso y las tensiones en el terreno. Por ejemplo, el relleno de áreas bajas y la excavación en laderas pueden cambiar la geomorfología y aumentar la susceptibilidad a movimientos en masa.

En Colombia se utiliza la metodología Land Cover, para la clasificación de coberturas.

Tabla 2. Leyenda Land Cover

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
		1.1.3. Construcciones rurales	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.2.1. Zonas industriales o comerciales
			1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
			1.2.3. Zonas portuarias
			1.2.4. Aeropuertos
			1.2.5. Obras hidráulicas
	2. Territorios agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	1.3.1. Zonas de extracción minera
1.3.2. Zonas de disposición de residuos			
2.1.1. Otros cultivos transitorios			
2.1.2. Cereales			
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas			
2.2. Cultivos permanentes		2.1.4. Hortalizas	
		2.1.5. Tubérculos	
		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	
2.3. Pastos		2.2.4. Cultivos agroforestales	
		2.2.5. Cultivos confinados	
		2.3.1. Pastos limpios	
		2.3.2. Pastos arbolados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		2.3.3. Pastos enmalezados	
		2.3.4. Pastos degradados	
		2.4.1. Mosaico de cultivos	
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	
		2.4.3. Mosaico de cultivos y pastos	
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	
		3.1.2. Bosque abierto	
		3.1.3. Bosque fragmentado	
		3.1.4. Bosque de galería o ripario	
		3.1.5. Plantación forestal	
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal	
		3.2.2. Arbustal	
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales	
		3.3.2. Afloramientos rocosos	
		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	
		3.3.4. Zonas quemadas	
3.3.5. Zonas glaciales y nivales			
4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Humedales y zonas pantanosas	
		4.1.2. Turberas	
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpo de agua	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	
		5.1.3. Canales - (vallados y acequias)	
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	
	5.2. Aguas marítimas	5.2.1. Lagunas costeras	
		5.2.2. Mares y océanos	
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina	

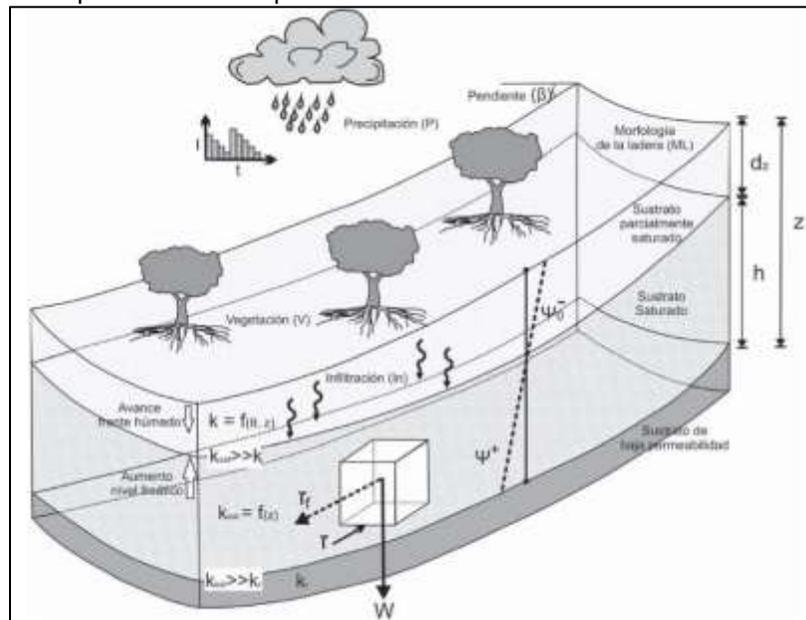
Fuente: IDEAM 2010

2.1.2.5 Precipitación

La precipitación actúa como un factor detonante en la incidencia de los movimientos en masa, la cantidad y la intensidad de las precipitaciones pueden desencadenar estos eventos, especialmente en áreas con topografía pronunciada o suelos susceptibles. Los principales tipos de movimientos en masa que pueden ser desencadenados por la precipitación son los deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo (SGC, 2017).

Es importante destacar que no solo la cantidad de precipitación es relevante, sino también la intensidad y la duración. Lluvias intensas y prolongadas pueden saturar el suelo más rápidamente y aumentar la probabilidad de deslizamientos y derrumbes. Además, en áreas con suelos poco permeables o pendientes pronunciadas, el agua de lluvia puede acumularse rápidamente y generar flujos de lodo (Aristizabal, 2005).

Figura 1. Representación esquemática de la inferencia de las lluvias en una ladera



Fuente: (Aristizabal, 2005)

2.1.2.6 sismicidad

Al igual que la precipitación, esta variable actúa como un factor detonante en la incidencia de movimientos en masa. La sismicidad, que se refiere a la actividad sísmica o la ocurrencia de terremotos en una región, puede tener un gran impacto en los movimientos en masa (Salinas, 2017).

Es importante señalar que la relación entre la sismicidad y los movimientos en masa es compleja y depende de varios factores, como la intensidad y duración del terremoto, la geología y topografía local, la saturación del suelo, la presencia de fallas geológicas y otros elementos. No todos los terremotos provocan movimientos en masa, y la susceptibilidad puede variar según las condiciones del lugar (Salinas, 2017).

(Keefer, 2002) correlaciona la magnitud de un sismo y la tipología de movimientos que este puede desencadenar.

Tabla 3. Relación entre intensidad sísmica y movimientos en masa

Magnitud mínima (Escala de Richter)	Tipología de movimiento en masa
4.0	Caida y deslizamientos someros de roca y detritos
4.5	Deslizamientos rotacionales
5.0	Expansiones laterales y flujos de suelos
6.0	Avalanchas de roca
> 6.5	Avalanchas de suelo

Fuente: (Keefer, 2002).

2.2. MARCO LEGAL

- Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1809 de 2013: Reglamenta la Ley 1523 y establece las disposiciones específicas para la identificación y delimitación de áreas de amenaza y riesgo.
- Ley 388 de 1997: Establece las normas para el ordenamiento territorial y la gestión del suelo en Colombia, incluyendo aspectos relacionados con la prevención y mitigación de riesgos naturales.
- Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres de Santander: Documento que establece las políticas, estrategias y acciones para la gestión del riesgo en el departamento.
- Ordenanza Departamental de Santander: Normativa regional relacionada con el ordenamiento territorial, la prevención de desastres y la protección del ambiente en Santander.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD): Entidad encargada de coordinar y liderar las acciones de gestión del riesgo a nivel nacional.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB): Autoridad ambiental encargada de la protección y conservación del medio ambiente en Santander.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El presente proyecto de investigación cuyo objetivo principal es identificar zonas susceptibles a movimientos en masa mediante el uso de sistemas de información geográfica como apoyo a la gestión del riesgo del barrio el Pablón de la comuna 1 para el año 2023, con vistas a mejorar significativamente la gestión del riesgo en dicha área. Para lograr este fin, se ha determinado el empleo de una metodología exploratoria con un enfoque cuantitativo. Se hará uso de sistemas de información geográfica, para aplicar técnicas geoespaciales que permita aplicar el método de análisis, para generar información precisa sobre la distribución, extensión y probabilidad de estos eventos. La elección del enfoque cuantitativo se justifica en su capacidad para abordar aspectos numéricos y medibles de manera objetiva, lo cual favorece la obtención de resultados confiables y estadísticamente fundamentados. Mediante el método de análisis, se podrá realizar una evaluación exhaustiva de diversos factores que influyen en la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa.

Tabla 4. Diseño de la investigación

Fase I	Actividades	Fuente de información	Métodos de Investigación			Herramientas	Entregables
			Análítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Estadístico		
Definición de las variables para la aplicación de la metodología con el fin de implementar la identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa.	1. Recopilar información catastral de la zona.	Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, Archivos Shapefile, áreas prediales, edificabilidad y valor de la tierra, Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Bucaramanga				Herramientas computacionales y Sistemas de Información Geográfica.	Shapefile de cada variable de estudio, DEM.
	2. analizar información						
	3. Organizar datos espaciales						
Fase II	Actividades		Métodos de Investigación			Herramientas	Entregables

		Fuente de información	Análítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Estadístico		
Aplicación del sistema de información geográfica para desarrollar un procesamiento espacial con sus correspondientes variables.	1. Ponderación de cada variable de acuerdo a su grado de importancia.	Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, Archivos Shapefile, áreas prediales, edificabilidad y valor de la tierra, Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Bucaramanga				Herramientas computacionales y Sistemas de Información Geográfica.	mapa de factores condicionantes, mapa de factores detonantes y valores de susceptibilidad
	2. Hallar el factor condicionante mediante algebra de variables $FC=(Pe*Li*Ge*Cv)/4$						
	3. Hallar el factor detonante mediante algebra de variables $FD=(Pr+Si)/2$						
	4. Aplicar la metodología de superposición de capas (punto 2 y 3) para generar un shapefile con los valores de susceptibilidad a movimientos en masa $S=(FC*FD)/2$						
	6. Asignación del nivel de susceptibilidad según los valores de superposición de capas						
	7. Cuantificar la información obtenida						
Fase III	Actividades	Fuente de información	Métodos de Investigación			Herramientas	Entregables
Mapas finales			Análítico-Sintético	Inductivo-Deductivo	Estadístico		
	1. Analizar los elementos obtenidos de la metodología implementada.	Tesis, shapefile, SIG				herramientas computacionales, Sistemas de Información Geográfica.	mapa de susceptibilidad a movimientos en masa
	2. Creación de mapas con las áreas de susceptibilidad a movimientos en masa						
	3. Análisis de resultados.						

Fuente: autor

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. Definición de las variables para la aplicación de la metodología.

4.1.1. Recopilar información catastral de la zona.

Se procede a realizar la recopilación de la información de los diferentes sitios catastrales, en donde se hace uso de las siguientes páginas web:

Tabla 5. Fuentes de información de las variables

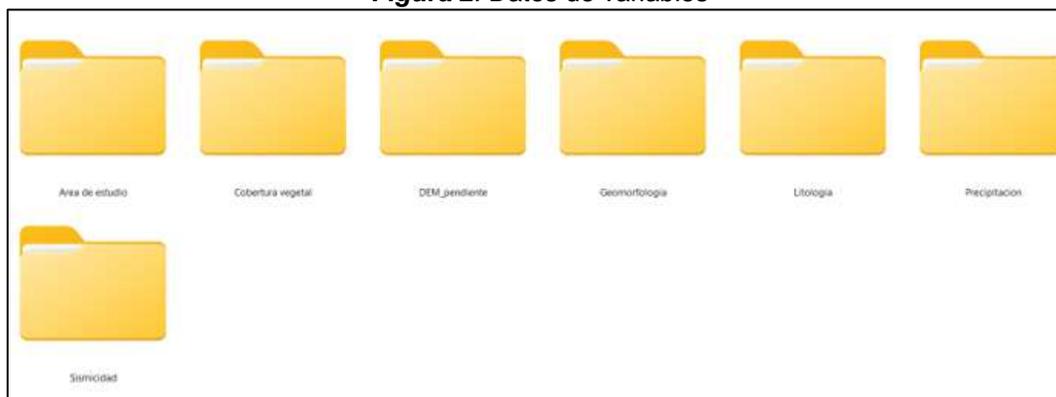
Variable	Fuente de la información	Link
Cobertura vegetal	METODOLOGÍA CORINE LAND COVER - IDEAM	http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover
DEM	EARTH DATA (NASA)	https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface/topography/terrain-elevation/digital-elevation-terrain-model-dem
Geomorfología	MAPA GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO H-12, BUCARAMANGA	https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac
Litología	DATOS ABIERTOS IGAC	https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac
Precipitación	PRECIPITACIÓN ANUAL SANTANDER - IDEAM	http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html
Sismicidad	MAPA SISMICO DE COLOMBIA - SGC	https://www.sgc.gov.co/

Fuente: autor

4.1.2. Análisis de la información

Una vez obtenido los archivos de las variables se procede a realizar el análisis de los datos, como tipo de formato y metadatos.

Figura 2. Datos de variables



Fuente: autor

4.1.3. Organizar datos espaciales

Los datos obtenidos se presentan en una escala mayor, debido a que el proyecto cubre un menor porcentaje de área, se procede a realizar los recortes para ajustarlos al área de estudio.

Figura 3. Shapefile variable pendiente

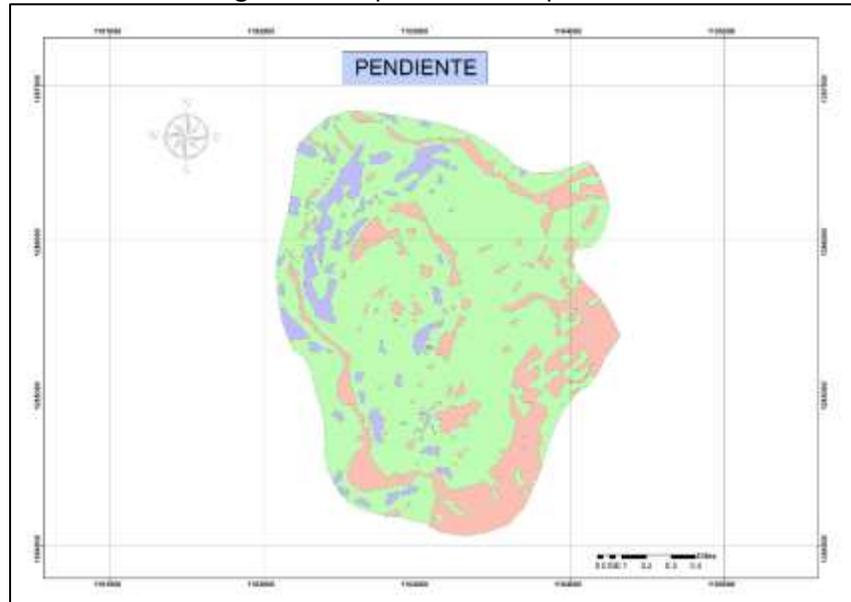


Figura 4. Shapefile variable cobertura vegetal

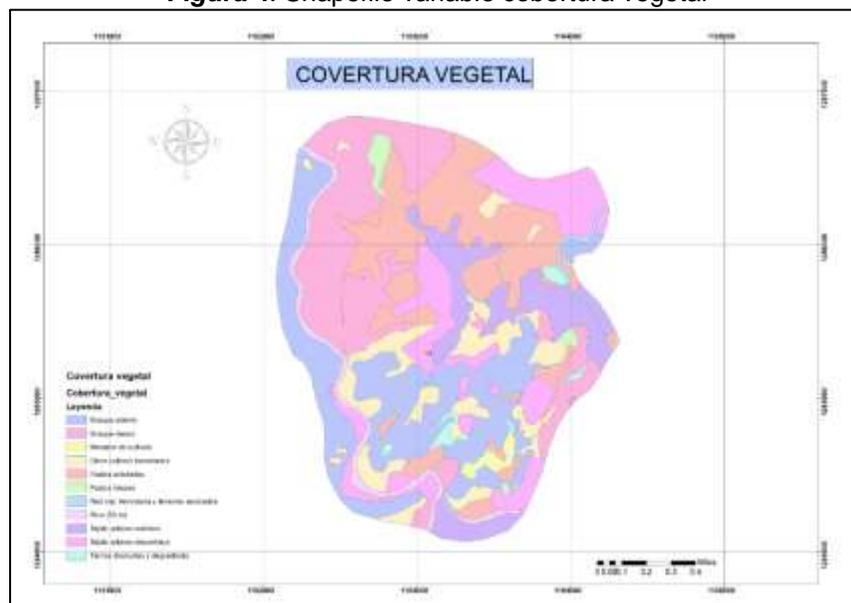


Figura 5. Shapefile variable geomorfología

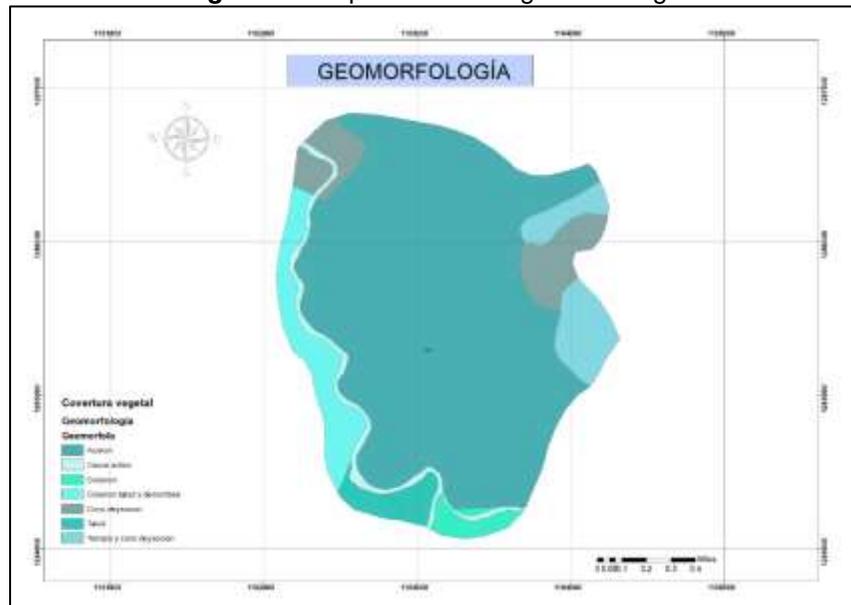


Figura 6. Shapefile variable litología

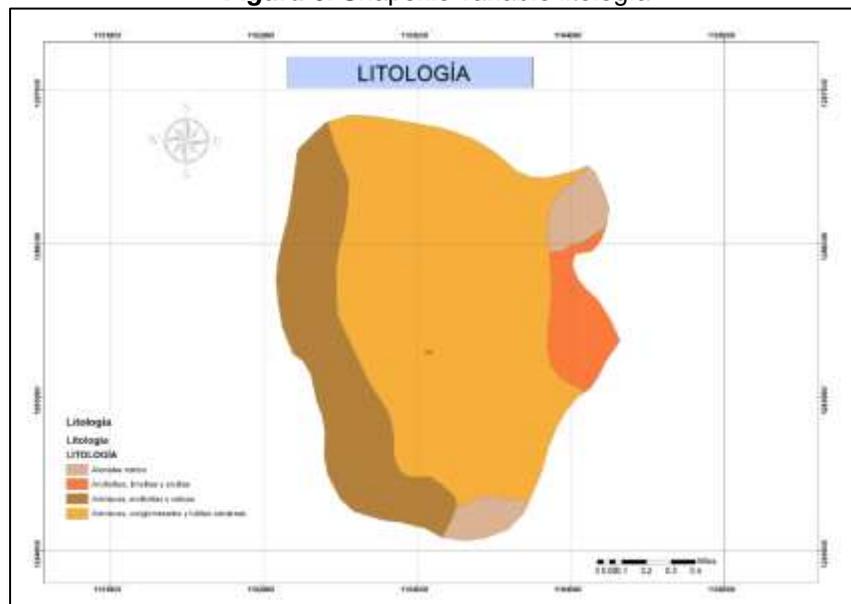


Figura 7. Shapefile variable precipitación

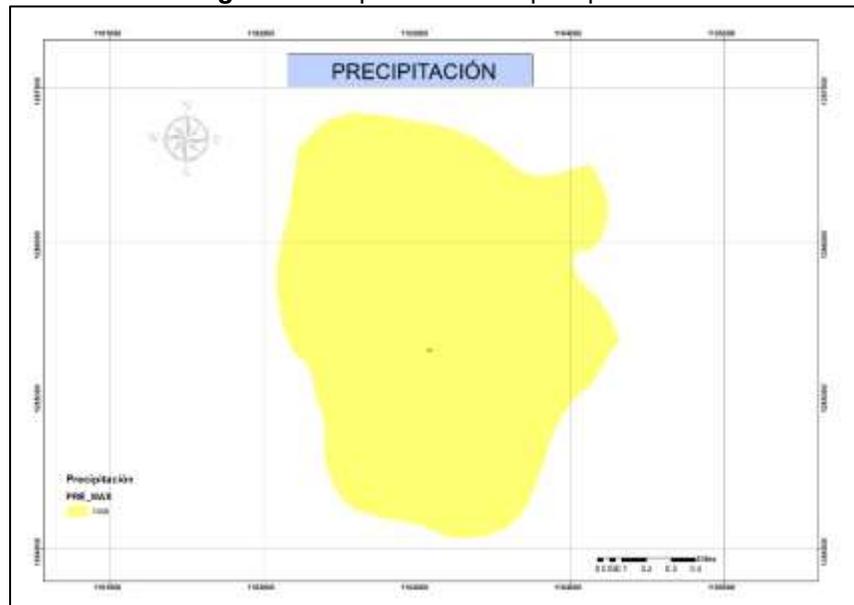
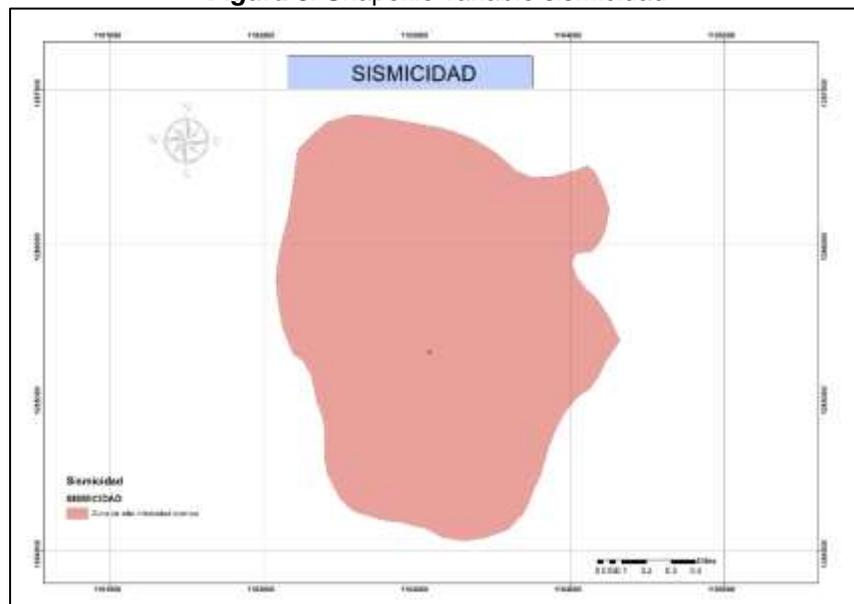


Figura 8. Shapefile variable sismicidad



4.2. Aplicación del sistema de información geográfica para desarrollar un procesamiento espacial con sus correspondientes variables.

4.2.1. Ponderación de cada variable de acuerdo a su grado de importancia.

El peso de las variables en un estudio de susceptibilidad a movimientos en masa suele asignarse en función de su grado de importancia relativa para el fenómeno que se está investigando. Establecer estos pesos es una tarea crucial, ya que determinará cómo se ponderan y se combinan las diferentes variables para evaluar la susceptibilidad.

Tabla 6. Ponderación de las variables

Factor	Variable	Escala	Ponderación	
			Cualitativo	Peso
Condicionante	Pendiente	De 0% a 12%	Baja	1
		De 13% a 40%	Media	2
		>41%	Alta	3
	Litología	Areniscas, arcillolitas y calizas	Baja	1
		Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas	Media	2
		Aluviales mixtos	Alta	3
		Arcillolitas, limolitas y arcillas	Alta	3
	Geomorfología	Terraza y cono deyección	Baja	1
		Cono deyección	Media	2
		Coluvión	Media	2
		Talud	Alta	3
		Coluvión, Talud y derrumbes	Alta	3
		Aluvión	Alta	3
		Cauce activo	Alta	3
	Cobertura vegetal	Bosque abierto	Baja	1
		Bosque denso	Baja	1
		Pastos arbolados	Baja	1
		Pastos limpios	Media	2
		Otros cultivos transitorios	Media	2
		Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Media	2
Tejido urbano		Media	2	
Tierras desnudas y degradadas		Alta	3	
Ríos		Alta	3	
Detonant ^e	Precipitación	<400 mm	Baja	1
		400 - 800	Media	2
		>800	Alta	3

Factor	Variable	Escala	Ponderación	
			Cualitativo	Peso
	Sismicidad	Zona de baja intensidad sísmica	Baja	1
		Zona de media intensidad sísmica	Media	2
		Zona de Alta intensidad sísmica	Alta	3

Fuente: autor

4.2.2. Hallar el factor condicionante mediante algebra de variables

Mediante el software ArcMap, se aplica algebra de variables para obtener el factor condicionante (FC), donde se aplica la siguiente formula:

$$FC = (Pe * Li * Ge * Cv) / 4$$

Donde:

Fc: factor condicionante

Pe: Peso de la variable pendiente

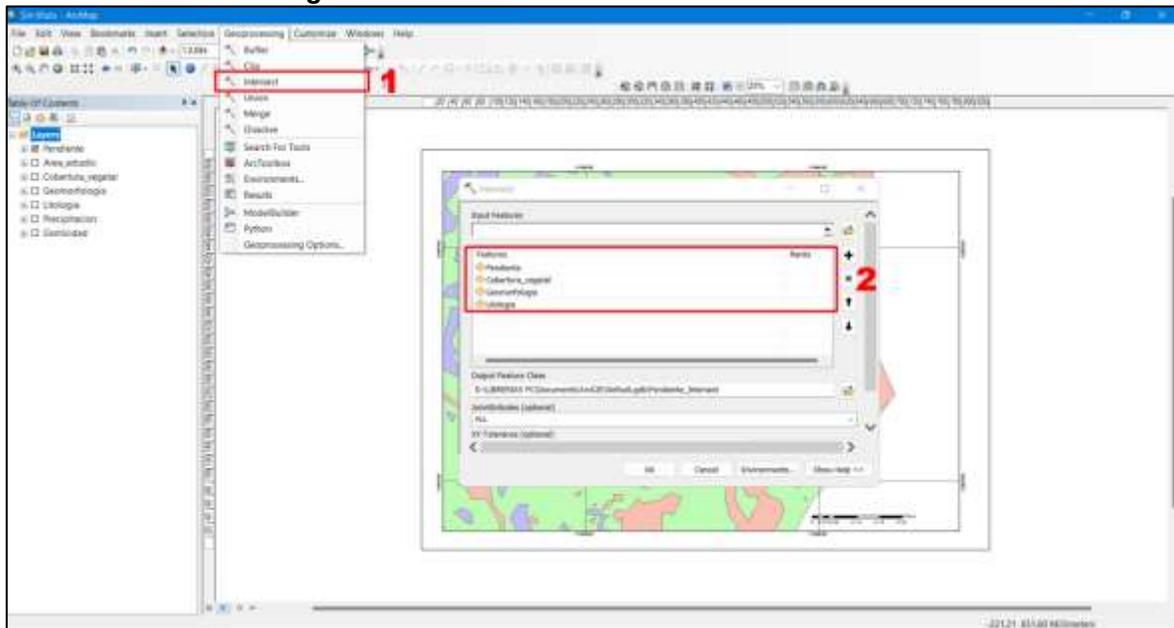
Li: Peso de la variable litología

Ge: Peso de la variable geomorfología

Cv: Peso de la variable cobertura vegetal

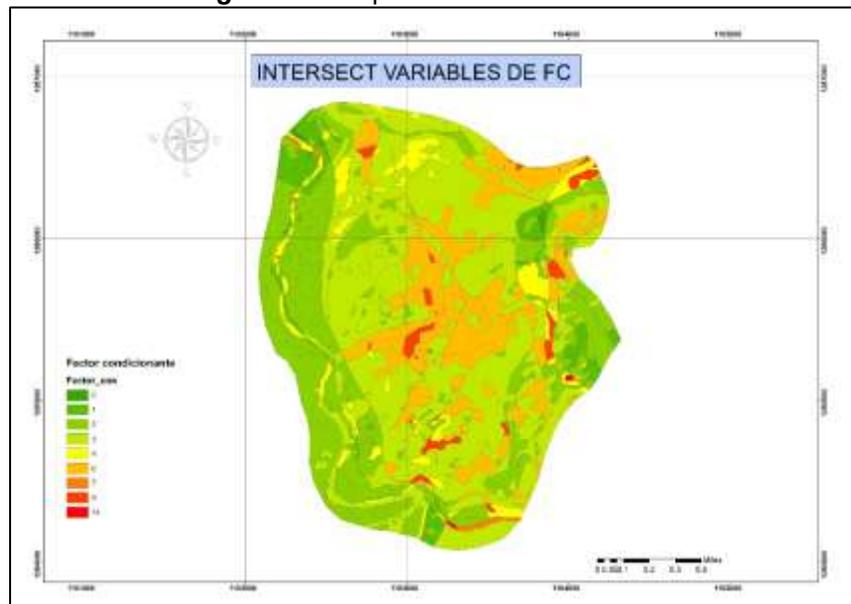
Mediante la herramienta de geo proceso (Intersect) se combinan las capas de factor condicionante para obtener un solo shapefile y posteriormente aplicar la formula anteriormente descrita.

Figura 9. Intersect variables de factor condicionante



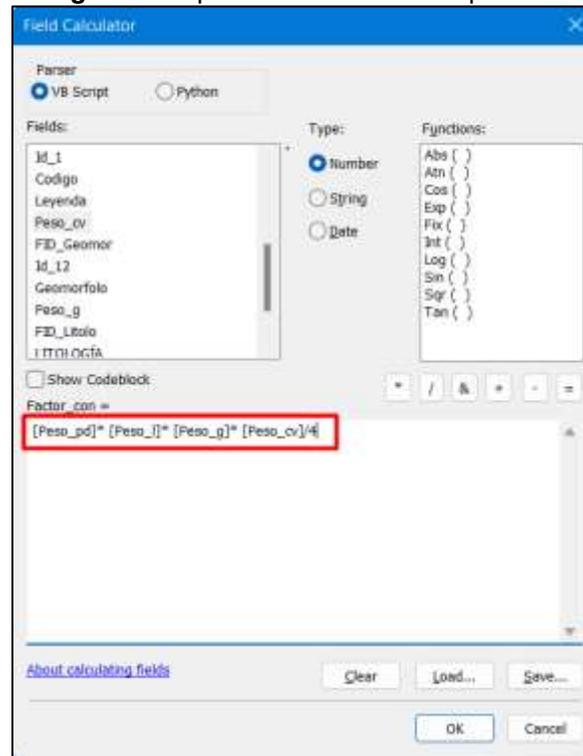
Fuente: autor

Figura 10. Shapefile factor condicionante



Fuente: autor

Figura 11. Aplicación de la fórmula para FC



Fuente: autor

4.2.3. Hallar el factor detonante mediante algebra de variables

Mediante el software ArcMap, se aplica algebra de variables para obtener el factor detonante (FD), donde se aplica la siguiente formula:

$$FD = (Pr + Si)/2$$

Donde:

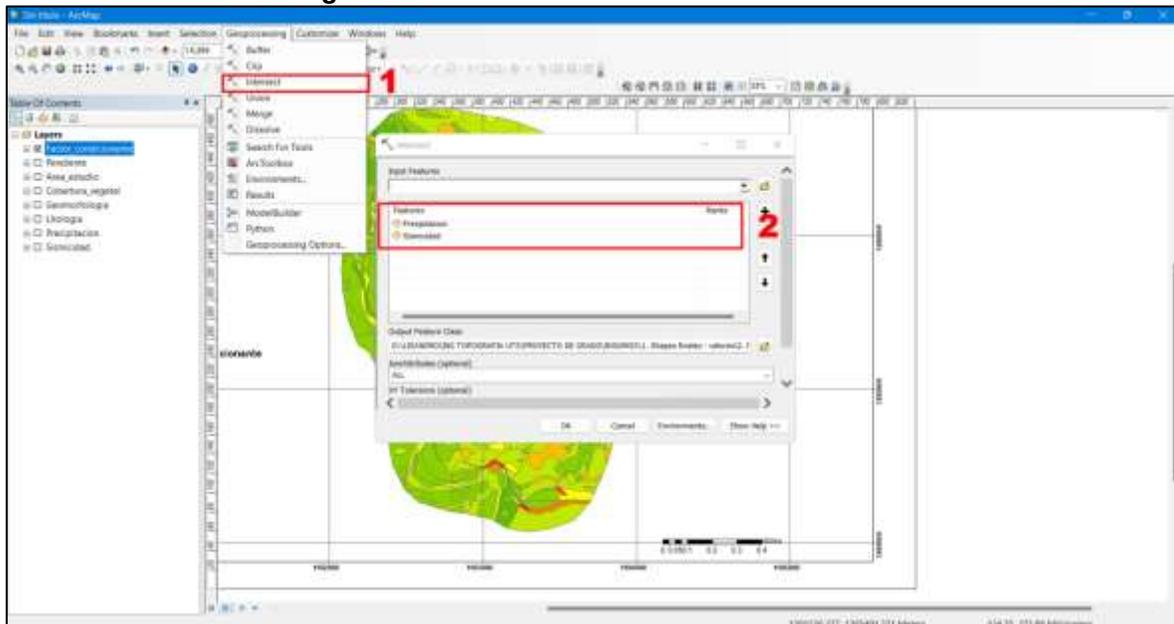
FD: factor detonante

Pr: Peso de la variable precipitación

Si: Peso de la variable sismicidad

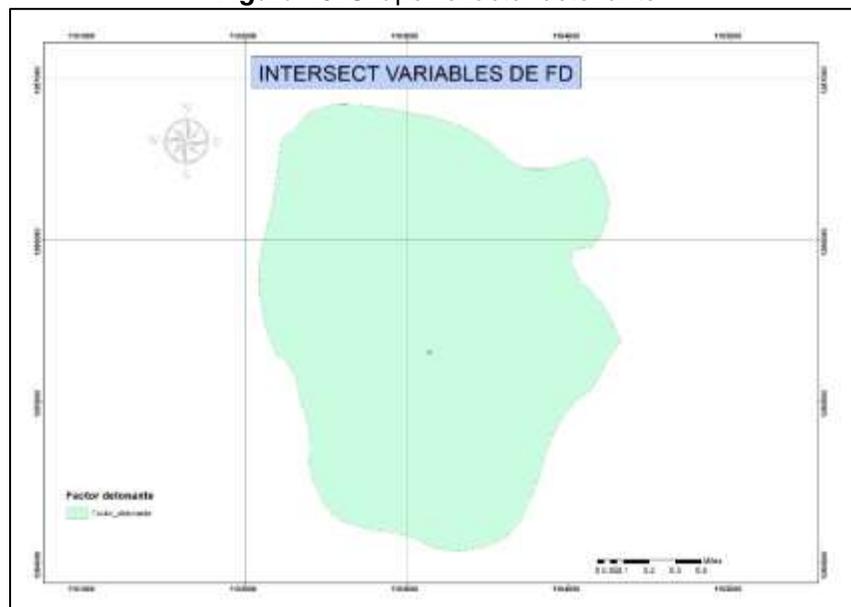
Mediante la herramienta de geo proceso (Intersect) se combinan las capas de factor detonante para obtener un solo shapefile y posteriormente aplicar la formula anteriormente descrita.

Figura 12. Intersect variables de factor detonante



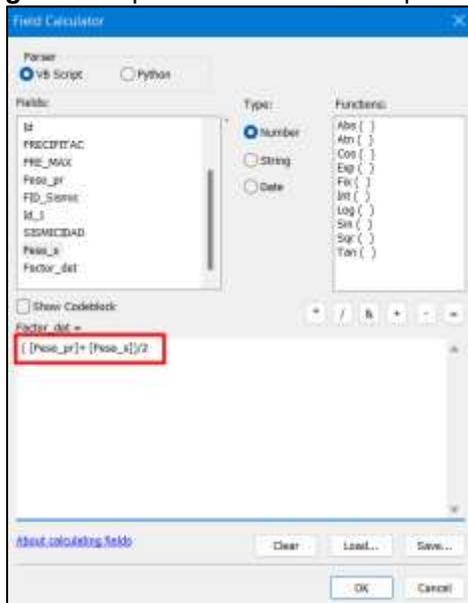
Fuente: autor

Figura 13. Shapefile factor detonante



Fuente: autor

Figura 14. Aplicación de la fórmula para FD

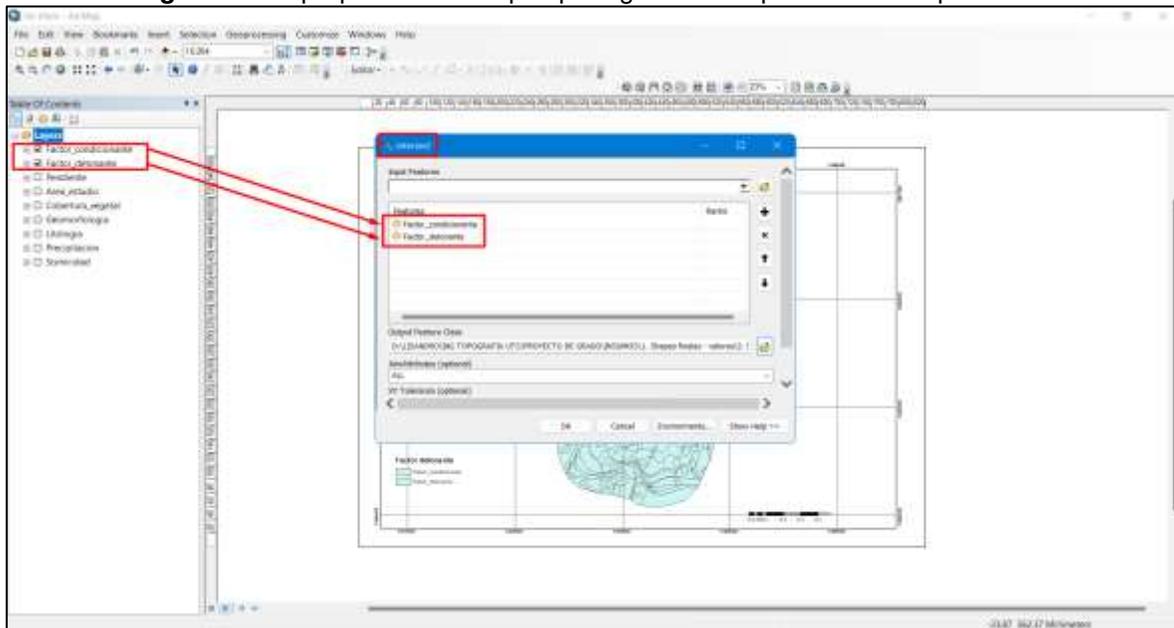


Fuente: autor

4.2.4. Aplicar la metodología de superposición de capas para generar un shapefile con los valores de susceptibilidad a movimientos en masa

Una vez obtenidos los archivos shapefile correspondientes a los mapas de factor condicionante y factor detonante, se procede a realizar una superposición de capas para hallar los valores de susceptibilidad a movimientos en masa.

Figura 15. Superposición de capas para generar shapefile de susceptibilidad



Fuente: autor

Con el nuevo shapefile se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la susceptibilidad

$$S = (FC * FD)/2$$

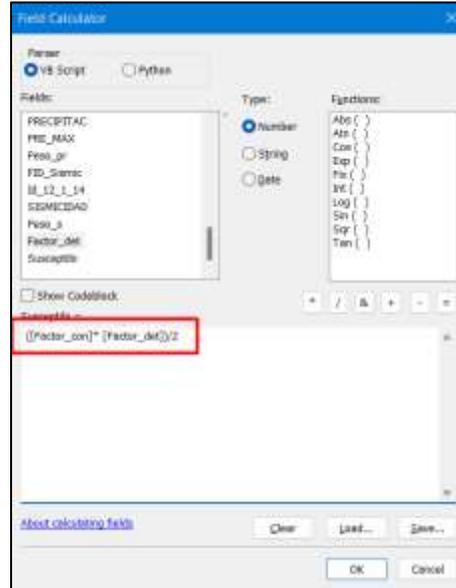
Donde:

S: Susceptibilidad

FC: Factor condicionante

FD: Factor detonante

Figura 16. Aplicación de la fórmula para S



Fuente: autor

4.2.5. Asignación del nivel de susceptibilidad según los valores de superposición de capas

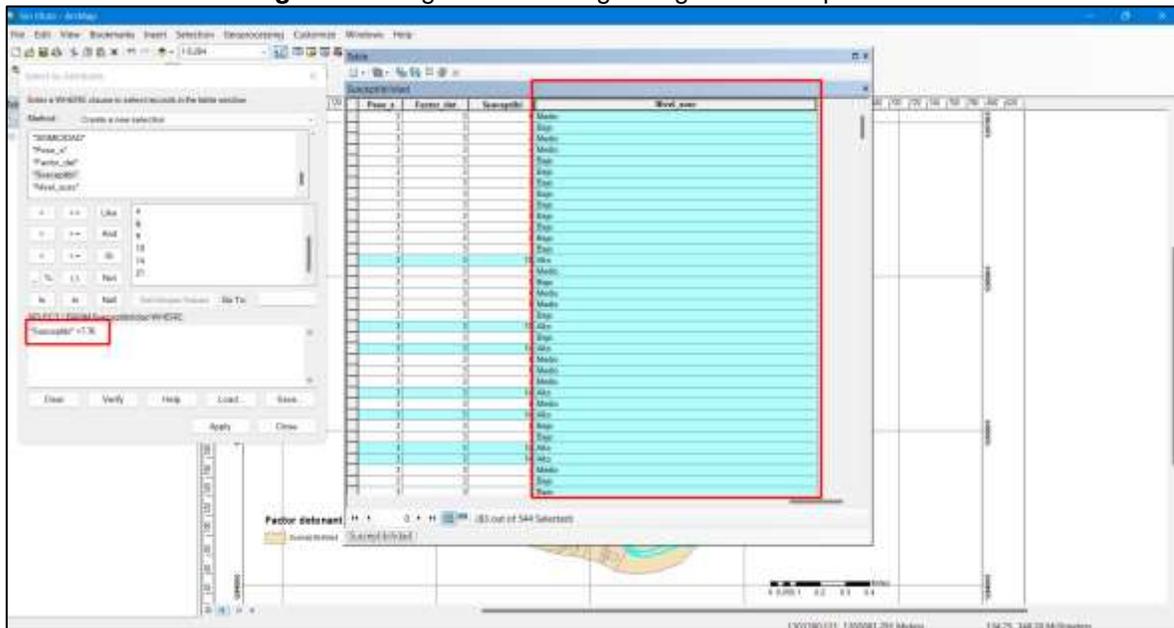
Con los valores resultantes se le asigna un grado de susceptibilidad a movimientos en masa a los polígonos del shapefile "S"

Tabla 7. Niveles de susceptibilidad

Susceptibilidad a movimientos en masa	
Nivel	Valores
Bajo	0 a 3.87
Medio	3.88 a 7.75
Alto	> 7.76

Fuente: autor

Figura 17. Asignación de rangos según la susceptibilidad



Fuente: autor

5. RESULTADOS

Para llevar a cabo la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa en el Barrio El Pablón, se utilizó un índice de susceptibilidad que se clasificó en tres categorías principales: bajo, medio y alto. Estas categorías se determinaron en función de las condiciones geológicas, topográficas y otros factores relevantes para la generación de movimientos en masa en la zona de estudio.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 8. Resultados niveles de susceptibilidad

Resultados de susceptibilidad a movimientos en masa		
Nivel de susceptibilidad	Rango de susceptibilidad	área (Ha)
Bajo	0 a 3.87	226.59
Medio	3.88 a 7.75	139.72
Alto	> 7.76	87.25
Total		453.56

Fuente: autor

Índice de Susceptibilidad Bajo

El índice de susceptibilidad bajo abarca un área del 49.96% del territorio del Barrio El Pablón, lo que equivale a 226.59 hectáreas. Esta categoría indica que las zonas con un índice bajo de susceptibilidad tienen una probabilidad relativamente menor de experimentar movimientos en masa. Estas áreas son consideradas como las menos vulnerables dentro del barrio.

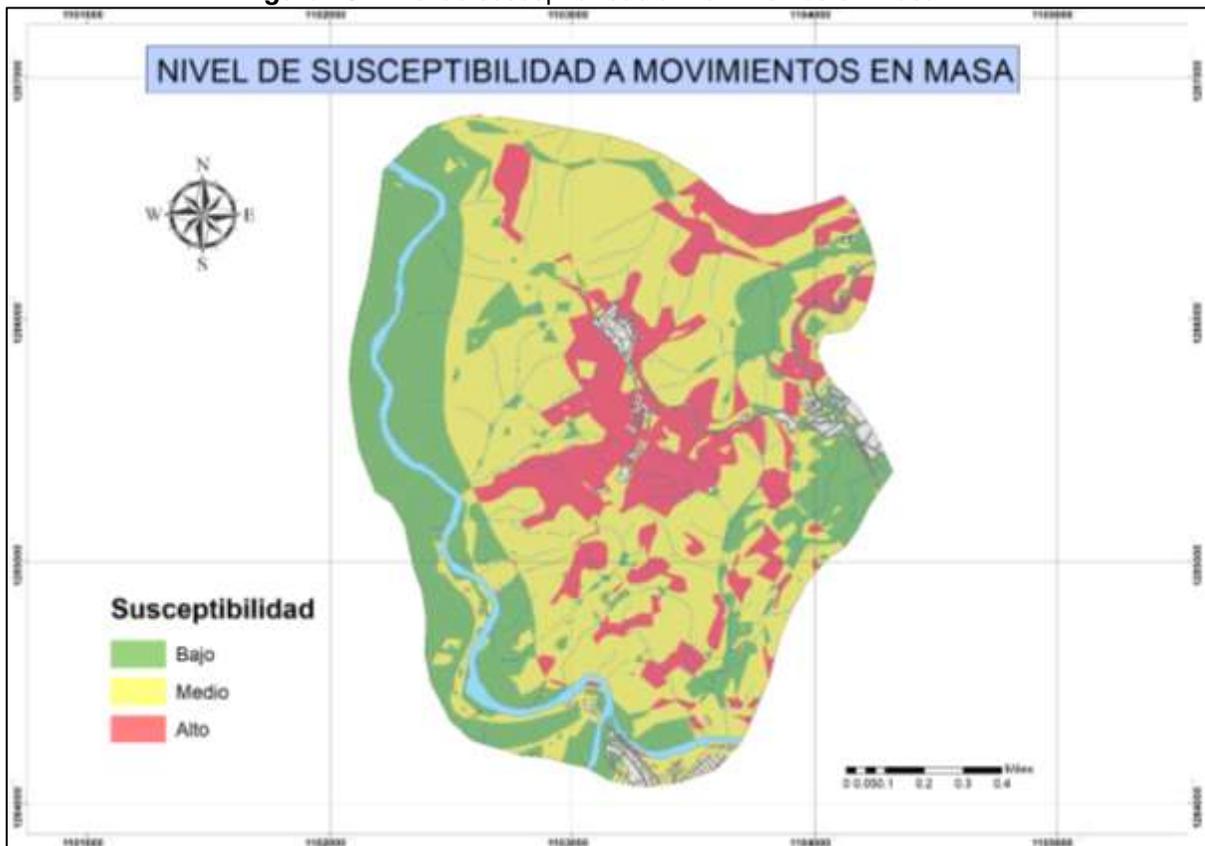
Índice de Susceptibilidad Medio

El índice de susceptibilidad medio cubre aproximadamente el 30.81% del territorio del Barrio El Pablón, equivalente a 139.72 hectáreas. Esta categoría señala que las zonas con un índice medio de susceptibilidad presentan un nivel moderado de riesgo de movimientos en masa. Estas áreas requieren una atención especial en términos de gestión del riesgo y medidas preventivas.

Índice de Susceptibilidad Alto

El índice de susceptibilidad alto comprende un 19.24% del territorio del Barrio El Pablón, lo que corresponde a 87.25 hectáreas. Esta categoría identifica las áreas con un alto riesgo de movimientos en masa y requiere una atención inmediata en términos de planificación y mitigación del riesgo. Estas zonas son las más vulnerables y críticas en el barrio.

Figura 18. Nivel de susceptibilidad a movimientos en masa



Fuente: autor

6. CONCLUSIONES

- Se identificaron las variables que inciden en la ocurrencia de los movimientos en masa, mediante una revisión bibliográfica que permitió identificar de manera precisa y contextualizada las variables clave que desencadenan los movimientos en masa en la zona de estudio, brindando una base sólida y actualizada para la toma de decisiones en la gestión del riesgo.
- Se generó una base de datos geoespaciales que permite evaluar y categorizar las zonas con diferentes niveles de riesgo de movimientos en masa lo cual permite el análisis detallado y la implementación de estrategias específicas de prevención y mitigación.
- Se desarrolló una cartografía específica del barrio El Pablón mediante sistemas de información geográfica que brinda una representación visual precisa de las zonas susceptibles a movimientos en masa, facilitando así una planificación efectiva y dirigida para la gestión del riesgo en la zona de estudio.

7. RECOMENDACIONES

Para estudios de movimientos en masa se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Definición clara de los objetivos, que estos estén bien definidos para lograr identificar las zonas susceptibles a movimientos en masa y cómo se utilizará la información para respaldar la gestión del riesgo.
- Establecer la metodología que mas se acomode a la zona de estudio, esto incluye la recopilación de datos, el análisis, las herramientas de SIG que se utilizarán.
- La recopilación de los datos, asegurarse de que estos sean confiables y actualizados sobre la zona de estudio, que incluyan información geológica, topográfica, climática y cualquier otro factor relevante para la identificación de zonas susceptibles a movimientos en masa.
- Implementar procesos de validación y verificación de los resultados obtenidos a través de SIG. Esto puede incluir visitas de campo para confirmar la precisión de los datos y resultados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cueto Gil, C. J., Ordaz Hernández, A., & Estévez Cruz, E. (07 de 02 de 2018). Zonificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en la Cordillera. Madrid, España.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2014). *Plan de ordenamiento territorial 2014-2027*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.
- Aristizabal, E. (2005). *Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá*. Medellín: Area Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Batista, J., Carmenates, Y., & Camacho Ortegón, L. (2014). Importancia del uso de los SIG en la enseñanza de las geociencias. *Ciencia Cierta*, 16-17.
- Benavides, R. A. (2021). Susceptibilidad a Deslizamiento de Ladera mediante el Sistema de Información Geográfica. *Scientific Research Journal CIDI*, 54 55. doi:10.53942/srjci.v1i2.62
- Cartaya Rios, S. (2015). *La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Algunas Consideraciones*. Madrid: Soluciones Geoambientales.
- Caviedes, L., & Chaparro, F. (2021). *zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa en el área urbana del sector este de la UPZ Verbenal*. Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Chaparro, J. (2014). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, UIS.
- Delgado Sánchez, C. I. (29 de enero de 2020). Estas son las zonas de riesgo en el Área Metropolitana. *Vanguardia*, pág. 1. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/estas-son-las-zonas-de-riesgo-en-el-area-metropolitana-NN1942582>
- Díaz, A., Acosta, D., & Sáez, D. (2019). Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica. *Revista de I+D Tecnológico*, 59-70.
- Florez García, A., & Pérez Castillo, J. (2019). Técnicas para la predicción espacial de zonas susceptibles a deslizamientos. *Avances Investigación en Ingeniería*, 20-48.
- Goyes, P. (2021). *Doble evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa basada en redes neuronales artificiales y pesos de evidencia*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, UIS.

- Jiménez Jara, D. Y. (2011). *Sistema de información geográfica de deslizamientos inducidos por sismo*. Bogotá: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Manrique, E., Gonzales, G., Marique, S., & Bravo, F. (24 de 03 de 2017). Riesgo geológico que afectará al poblado Tapacocha. Lima, Perú.
- Moreno , H. A., Velez, M. V., Montoya, J. D., & Rhenals, R. L. (2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intranual y diaria. *EIA, ISSN 1794-1237*, 59-69.
- PMGRD Bucaramanga. (2013). *Plan municipal de gestión del riesgo de desastre*. Bucaramanga : Alcaldía de Bucaramanga.
- Reinoso, G. (26 de 11 de 2022). Informe de la Personería de Bogotá identifica 22 polígonos en el borde de la cordillera Oriental. *El Tiempo*, pág. 1.
- Rodriguez Beltran, L., & Rueda Posada, P. (2014). *Aplicación de SIG para la zonificación y evaluación de amenazas por deslizamientos en la comuna 14 del municipio de Bucaramanga*. Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga.
- Santa Ramírez, G., Cuevas González, J., Leal Villamíl, J., & Muñoz Ramos, J. (2020). Correlación de variables morfométricas para deslizamientos en la cuenca del río Combeima, Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 165-168.
- Salinas, A. (2017). *Movimientos en masa inducidos por sismicidad en la porción NNE de la Sierra Madre Oriental*. Nuevo León, Mexico: Universidad Autonoma de Nuevo León
- SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000* . Bogotá: Servicio Geologico Colombiano.
- Vargas Cuervo, G. (1994). *Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y SIG*. Bogotá: Ministerio de minas y energia.
- Vargas Cuervo, G. (2000). *Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander UIS.
- Velasquez Ortiz, V. (2019). *Mapas de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:10.000, en un sector de la vía de la vereda balmoral del municipio de filadelfia, caldas*. Manizales: Univerisdad de Caldas.