

REPÚBLICA DEL ECUADOR



**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES UNIVERSIDAD DE
POSGRADO DEL ESTADO**

ESCUELA DE SEGURIDAD Y DEFENSA

Trabajo de titulación para obtener la Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos

ARTÍCULO CIENTÍFICO

**ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA AV. DE LOS
CONQUISTADORES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS
GEOESPACIALES.**

Autor: Stephany García Guamangallo

Tutor: PhD. Fernando Barragán Ochoa

Cotutor: PhD. Oswaldo Padilla Almeida

Quito, junio de 2024



IAEN
Universidad
de posgrado
del Estado

No. 164-2024

ACTA DE GRADO

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy 19 de junio de 2024, STEPHANY CAROLINA GARCIA GUAMANGALLO, portadora del número de cédula: 1726631920, EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS 2023 - 2024 mayo, se presentó a la exposición y defensa oral de su ARTÍCULO CIENTÍFICO DE ALTO NIVEL, con el tema: "ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL TRAMO GUÁPULO - CUMBAYÁ MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS GEOESPACIALES", dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de MAGÍSTER EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

Promedio Académico:	9.39
Trabajo Escrito:	9.00
Defensa Oral:	9.50
Nota Final Promedio:	9.30

En consecuencia, STEPHANY CAROLINA GARCIA GUAMANGALLO, se ha hecho acreedora al título mencionado.

Para constancia firman:

Fernando Remigio Barragan Ochoa
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

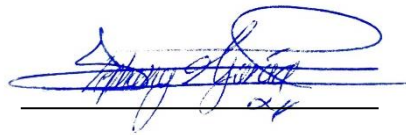
Carla Morena Álvarez Velasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Gualdemar Stefan Jiménez Pontón
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Abg. José Jaramillo Bustos
DIRECTOR DE SECRETARÍA GENERAL

AUTORIA

Yo, **Stephany Carolina García Guamangallo**, con CI **172663192-0** declaro que las ideas, juicios, valoraciones, interpretaciones, consultas bibliográficas, definiciones y conceptualizaciones expuestas en el presente trabajo; así cómo, los procedimientos y herramientas utilizadas en la investigación, son de absoluta responsabilidad de el/la autor (a) del trabajo de titulación. Así mismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.



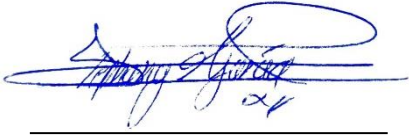
Firma

C.I 1726631920

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

"Yo, **Stephany Carolina García Guamangallo**, cedo al IAEN, los derechos de publicación de la presente obra por un plazo máximo de cinco años, sin que deba haber un reconocimiento económico por este concepto. Declaro además que el texto del presente trabajo de titulación no podrá ser cedido a ninguna empresa editorial para su publicación u otros fines, sin contar previamente con la autorización escrita de la universidad"

Quito, junio, 2024



STEPHANY CAROLÍNA GARCÍA GUAMANGALLO

C.I. 172663192-0

DEDICATORIA

La presente investigación la dedico a mis padres por su apoyo incondicional. Y a mí difunto abuelito Manuel Guamangallo, cuya dedicación y vocación profesional son una constante fuente de inspiración. Espero, algún día, seguir sus huellas y alcanzar la grandeza de su ejemplo.

“El que busca el cielo en la tierra se ha dormido en clase de geografía.”

- Stanisław Jerzy Lec escritor polaco 1909–1966

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis primos Sofi y Dani, cuyas palabras y gestos fueron la fuerza que me alentó a seguir esta maestría. Al PhD. Padilla, mi guía en esta investigación, le agradezco no solo por su impecable conocimiento técnico y su constante presencia, sino también por la amistad que surgió en el intersticio de nuestras conversaciones. Al PhD. Barragán, mi gratitud por cada día compartido, por cada lección y conocimiento impartido.

INDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN:	2
1.1. HISTÓRICOS DE DESLIZAMIENTOS EN QUITO	2
1.2. TECNICAS GEOESPACIALES ENFOCADAS HACIA LOS DESASTRES	4
II. ÁREA DE ESTUDIO	5
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
IV. METODOLOGÍA	7
4.1. VARIABLES.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2. MÉTODO DE ANÁLISIS JERARQUICO DE SAATY (AHP)	14
4.3. DETERMINACIÓN DE FACTORES CAUSALES	16
4.4. NORMALIZACIÓN DE DATOS.....	17
4.5. METODOLOGÍA FUZZY.....	17
4.6. GENERACIÓN DE MODELO DE PROBABILIDAD MEDIANTE LÓGICA DIFUSA	19
V. RESULTADOS	22
5.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIABLES CUALITATIVAS	22
5.2. RESULTADOS DE ANÁLISI DE VARIABLES CUANTITATIVAS	28
1.2. PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO	32
1.3. ANÁLISIS FUZZY	32
1.4. ANÁLISIS DEL MODELO.....	33
1.5. ANÁLISIS DE POBLACIÓN AFECTADA	34
1.6. ANÁLISIS DEL MODELO SEGÚN EL USO Y GESTIÓN DEL SUELO	39
VI. CONCLUSIONES	42
VII. RECOMENDACIONES	44
VIII. BIBLIOGRAFÍA	45

FIGURAS

Figura 1 Área de estudio.....	6
Figura 2 Esquema de la metodología de la investigación.....	8
Figura 3 Función de pertenencia curva Seno rango de 0 a $\pi/2$ radianes.....	18
Figura 4 Función de pertenencia curva coseno rango de 0 a $\pi/2$ radianes.....	18
Figura 5 Modelo Cartográfico.....	20
Figura 6 Cobertura vegetal.....	22
Figura 7 Cobertura vegetal normalizada.....	23
Figura 8 Geomorfología.....	24
Figura 9 Geomorfología normalizada.....	24
Figura 10 Tipo de suelo.....	25
Figura 11 Tipo de suelo normalizado.....	26
Figura 12 Litología.....	27
Figura 13 Litología normalizada.....	28
Figura 14 Topografía-Pendiente.....	29
Figura 15 Pendiente normalizada.....	29
Figura 16 Precipitación normalizada.....	30
Figura 17 Distancia a elementos hidrográficos normalizados.....	31
Figura 18 Influencia de la distancia a vías en la zona de estudio.....	31
Figura 19 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la metodología Fuzzy.....	34
Figura 20 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Cebollar.....	35
Figura 21 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Guápulo.....	36
Figura 22 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Jardines del Este.....	36
Figura 23 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - La Floresta.....	37
Figura 24 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - La Vicentina.....	37
Figura 25 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Nueva Floresta.....	38
Figura 26 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Santa Lucía.....	38
Figura 27 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Zona de protección Monjas.....	39
Figura 28 Tratamientos de los PITs de la AEI.....	42

TABLAS

Tabla 1 Base de datos.....	10
Tabla 2 Rangos de pendientes en grados.....	13
Tabla 3 Técnicos que realizaron la ponderación de las variables.....	16
Tabla 4 Análisis-Cobertura vegetal.....	23
Tabla 5 Análisis-Geomorfología.....	24
Tabla 6 Análisis-Tipo de suelo.....	25
Tabla 7 Análisis-Litología.....	27
Tabla 8 Ponderación Saaty-Variables.....	32
Tabla 9 Casos Fuzzy.....	33
Tabla 10 Zonificación de susceptibilidad a deslizamiento de acuerdo al modelo de lógica difusa.....	33
Tabla 11 Personas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por un deslizamiento.....	35
Tabla 12 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Cebollar.....	35
Tabla 13 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por deslizamiento en el barrio Guápulo.....	36
Tabla 14 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por deslizamientos en el barrio Jardines del Este.....	36
Tabla 15 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio La Floresta.....	37
Tabla 16 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio La Vicentina.....	37
Tabla 17 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Nueva Floresta.....	38
Tabla 18 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Santa Lucía.....	38
Tabla 19 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en la Zona de protección Monjas.....	39
Tabla 20 Relación entre tratamientos urbanos y modelo de deslizamientos.....	41

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en estimar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la Avenida Conquistadores mediante técnicas geoespaciales. El área de estudio abarca desde el Hotel Quito hasta la intersección con la Avenida Oswaldo Guayasamín, incluyendo zonas indirectas como Cebollar, Guápulo, Jardines del Este, La Floresta, La Vicentina, Nueva Floresta, Santa Lucía y la Zona de Protección Monjas. La evaluación integral de la susceptibilidad se llevó a cabo analizando factores como la topografía, cobertura vegetal, litología, geomorfología, tipo de suelo, precipitación y proximidad a carreteras y elementos hidrológicos. Utilizando una combinación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lógica difusa y análisis multicriterio, este estudio ofrece valiosos conocimientos para la gestión de riesgos y la planificación urbana, subrayando la necesidad de un enfoque holístico para mitigar los peligros de deslizamientos y garantizar la seguridad y el bienestar comunitario.

Palabras clave: Susceptibilidad a deslizamientos, Sistemas de Información Geográfica, Análisis multicriterio, Lógica difusa, Gestión del riesgo.

ABSTRACT

This research focuses on estimating landslide susceptibility on Conquistadores Avenue using geospatial techniques. The study area extends from Hotel Quito to the intersection with Oswaldo Guayasamín Avenue, including indirect areas such as Cebollar, Guápulo, Jardines del Este, La Floresta, La Vicentina, Nueva Floresta, Santa Lucía, and the Monjas Protection Zone. The comprehensive susceptibility assessment was conducted by analyzing factors such as topography, vegetation cover, lithology, geomorphology, soil type, precipitation, and proximity to roads and hydrological features. By utilizing a combination of Geographic Information Systems (GIS), fuzzy logic, and multicriteria analysis, this study provides valuable insights for risk management and urban planning, emphasizing the need for a holistic approach to mitigate landslide hazards and ensure community safety and well-being.

Keywords: Landslide susceptibility, Geographic Information Systems, Multicriteria analysis, Fuzzy logic, Risk management.

I. INTRODUCCIÓN:

Los deslizamientos son el resultado de una compleja interacción entre la geomorfología local, la hidrología y las condiciones geológicas, influenciadas por factores como los cambios en la geodinámica, la vegetación, el uso del suelo y la actividad humana. Estos procesos pueden desencadenar movimientos lentos, que son a menudo imperceptibles debido a la gradual disminución de las propiedades mecánicas del terreno, pero pueden convertirse en rápidos desplazamientos de masa debido a eventos como la precipitación intensa y la actividad sísmica (Soeters & Westen, 1996). En un contexto global, a inicios del siglo XX alrededor del 5% de la población total, equivalente a unos 300 000 000 habitantes, reside en un área de 3 700 000 km² que es susceptible a deslizamientos de tierra (Dilley, Chen, Deichmann, Lerner-Lam, & Arnold, 2005)

Los deslizamientos en zonas urbanas constituyen un fenómeno antrópico que presenta desafíos significativos en términos de planificación y gestión urbana, ya que significa una amenaza constante para la seguridad de las personas e infraestructura. Además, se prevé que el impacto de los desastres por deslizamiento de suelo aumentará dramáticamente debido al cambio climático, el crecimiento demográfico y los procesos de urbanización. Estos factores conducirán al establecimiento de asentamientos humanos regulares e irregulares en zonas inestables (Sassa, Mikoš, & Yin, 2015)

1.1. HISTÓRICOS DE DESLIZAMIENTOS EN QUITO

Los deslizamientos son uno de los fenómenos más recurrentes en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) debido a las condiciones naturales y la intervención antrópica, siendo la infraestructura la más afectada. “Los eventos que conforman la época lluviosa y que se reportaron en Pichincha durante los años 2019 al 2021 fueron: aluvión, colapso estructural, deslizamiento, granizada, hundimiento, inundación, socavamiento, tormenta eléctrica y vendaval. La suma de todos ellos da un total de 907 eventos, 474 reportados en el año 2021, 233 reportados en el año 2020 y 200 eventos reportados en el en el año 2019” (Coordinación Zonal 9 del SNGRE, 2021). Es así que se corrobora los deslizamientos como los eventos más significativos

El barrio de Guápulo se encuentra ubicado en la zona centro-norte de Quito, pertenece a la parroquia urbana Itchimbía, cuenta con valiosas quebradas y espacios verdes cruciales

para su entorno y especialmente para la población del centro-norte de Quito. Sin embargo, estas áreas naturales han experimentado cambios debido al desarrollo urbano que acompaña el crecimiento de la ciudad. “El principal problema que aqueja a varios lugares de esta zona son las construcciones en laderas de marcada pendiente y en consecuencia la pérdida de la protección de la cobertura vegetal y el riesgo consecuente para la población” (García M. , 2015). “Estos casos se han visto en las zonas aledañas a la Avenida Los Conquistadores y en la vía El Camino de Orellana” (Agencia Publica de Noticias Quito, 2011).

La avenida de Los Conquistadores, es aquella encargada de conectar a la Av. Simón Bolívar con los valles de Cumbayá y Tumbaco, esta se ha visto afectada a lo largo de su historia de acuerdo a los archivos del periódico El Comercio, por daños ocasionados por deslizamientos en sus taludes, desde noviembre del 2018 hasta el último que sucedió en el mes de junio del presente año 2023, dejando en claro que es un grave riesgo para la población (El Comercio, 2018-2023).

De esta manera, el presente trabajo plantea el siguiente cuestionamiento:

¿Cómo se puede determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el tramo Guápulo-Cumbayá del cantón Quito utilizando herramientas geoespaciales, para proporcionar información valiosa a las autoridades y contribuir a la planificación territorial efectiva?

Para poder contestar esta pregunta se planteó como objetivo general: Determinar la susceptibilidad de deslizamientos en el tramo Guápulo-Cumbayá en el cantón Quito, empleando herramientas geoinformáticas, con el fin de proporcionar información útil a las autoridades y facilitar una planificación territorial efectiva, así como la implementación de medidas para la mitigación y prevención de riesgos. Al mismo tiempo, se plantearon tres objetivos específicos: i) Ponderar las variables a utilizar en el modelamiento de deslizamiento, mediante el criterio de profesionales en el tema. ii) Generar un modelo de predicción actualizado del fenómeno con el uso de la lógica difusa y el análisis multicriterio; iii) Identificar las áreas pobladas que se verían afectadas por el deslave.

1.2. TECNICAS GEOESPACIALES ENFOCADAS HACIA LOS DESASTRES

Como se menciona en Salcedo (2017):

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) como: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS - GPS), Sensores Remotos (RS) e Infraestructura de Datos Espaciales (IDE); permiten la evaluación, identificación y manejo del riesgo por deslizamientos. El uso de los SIG se ha posicionado debido a su facilidad de recopilación y análisis de datos espaciales (Bayes, 2015) (Pradhan, 2013). Su combinación con análisis de decisión multicriterio, como: proceso de jerarquía analítica (AHP), combinación lineal ponderada (WLC), promedio ponderado ordenado entre otros, constituyen poderosas técnicas para el análisis y predicción de riesgos (Feizizadeh y Blaschke, 2013) (Salcedo, et al., 2017).

Las técnicas geoespaciales desempeñan un papel importante en el estudio de las ciencias de la Tierra y el ambiente. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que facilitan la compilación, análisis y divulgación de los datos geográficos. Ofrecen ventajas en comparación con la cartografía convencional, ya que permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital. Los SIG se definen como una colección de tecnología de la información, datos y procedimientos para la recolección, actualización y análisis de datos. Son esenciales para la investigación urbana y regional, análisis de políticas, simulación de actuaciones, planificación, etc. (Sarría, 2014).

Las aplicaciones de los (SIG) en el manejo de fenómenos naturales y planificación del desarrollo son amplias y están en constante expansión y evolución. La efectividad de estas herramientas depende de la cantidad y calidad de la información disponible, así como de la habilidad y creatividad del analista. Afortunadamente, en la actualidad existe una gran cantidad de información fácilmente accesible sobre eventos naturales pasados, investigación científica y cartografía de amenazas, lo que proporciona un material suficiente para llevar a cabo una evaluación preliminar del estado de los peligros naturales y orientar las actividades de planificación del desarrollo (Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993).

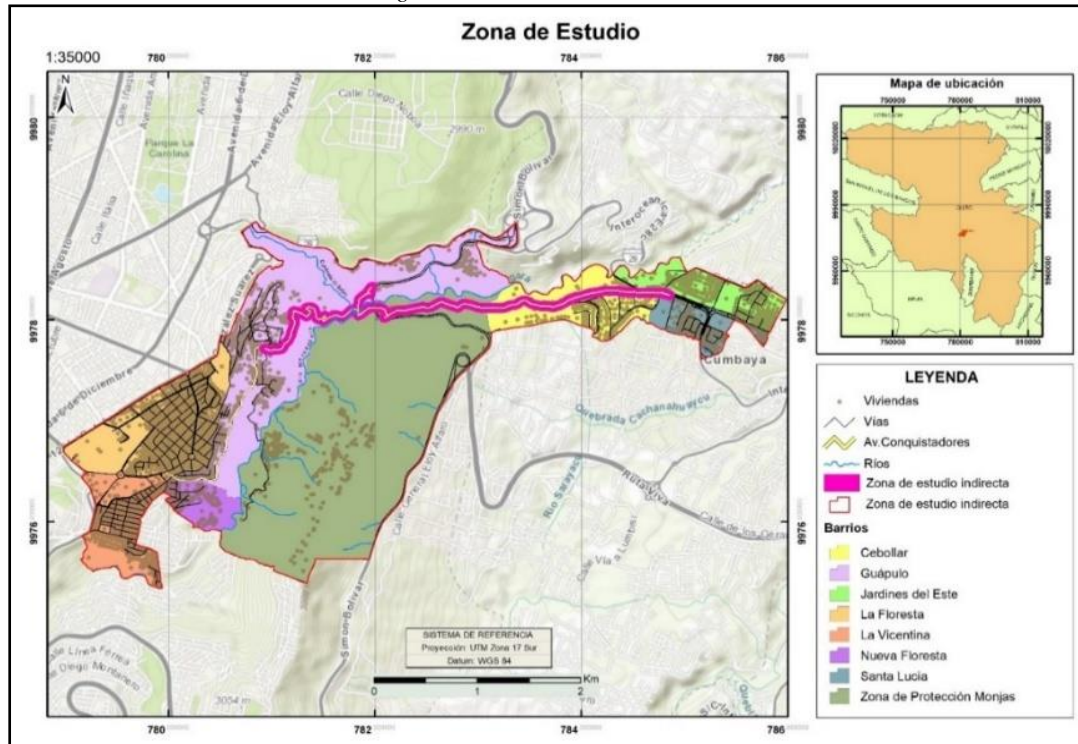
La creación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos de tierra es un proceso complejo que implica la aplicación de una variedad de métodos. Entre los enfoques más frecuentemente empleados se encuentran los inventarios de deslizamientos de tierra, que se basan en técnicas probabilísticas, deterministas, heurísticas y estadísticas. Sin

embargo, en la actualidad, también se están utilizando métodos no paramétricos como los autómatas celulares, la lógica difusa y las redes neuronales artificiales (Salcedo, et al., 2017). Estos enfoques complementarios permiten una evaluación más precisa y detallada de las áreas con mayor riesgo de deslizamientos, lo que resulta fundamental para la planificación y la implementación de medidas de mitigación y prevención en zonas vulnerables. Un ejemplo práctico de la relevancia de este tipo de investigaciones fue la realizada por Cabascango e Iguago (2022), donde su modelamiento de deslizamiento tuvo un acierto del 95% respecto al área afectada. Lamentablemente, esta predicción se confirmó de manera trágica el 26 de marzo de 2023, cuando se produjo un desastre en Alausí. Este evento devastador resultó en la pérdida de 65 vidas humanas, dejó a 10 personas desaparecidas y causó heridas a otras 44. Además, cubrió una extensión de al menos 24 hectáreas, afectando a 209 viviendas (DW Global Media Forum, 2023).

II. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se enfoca en el trayecto conflictivo de la Avenida Conquistadores, donde se establece como área de estudio directa (AED) el tramo que se extiende desde el Hotel Quito hasta la intersección con la Avenida Oswaldo Guayasamín, la cual fue delimitada por medio de un área de proximidad (buffer) de 50 m a cada lado del eje principal. Además, se consideran como áreas de estudio indirectas (AEI) los barrios que se ven influenciados por la Avenida Conquistadores, entre los cuales se encuentran: Cebollar, Guápulo, Jardines del Este, La Floresta, La Vicentina, Nueva Floresta, Santa Lucía y la Zona de Protección Monjas (Fig. 1).

Figura 1 Área de estudio.



Fuente. Autor

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la zona del tramo Guápulo - Cumbayá en Quito, se han registrado diversos eventos de deslizamientos que han ocasionado daños significativos que representan un riesgo para la población y las infraestructuras. A pesar de esta realidad inquietante, aún no se ha realizado una evaluación exhaustiva de la susceptibilidad a deslizamientos en esta área específica. Por ende, surge una necesidad apremiante de generar un modelo de deslizamientos para comprender su susceptibilidad y probabilidad.

El fenómeno de deslizamientos de tierra ha provocado la desestabilización de la zona de estudio, como se reporta en el informe de Situación Nacional por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias SNGRE “Zona 9- Pichincha / Quito/ Itchimbía/ Av. De los Conquistadores, pasando la casa del Quinde. Se reportó el 17-06-2023 un deslizamiento en un talud donde se encuentra asentada una vía de segundo orden la cual resultó afectada” (SNGR, 2023).

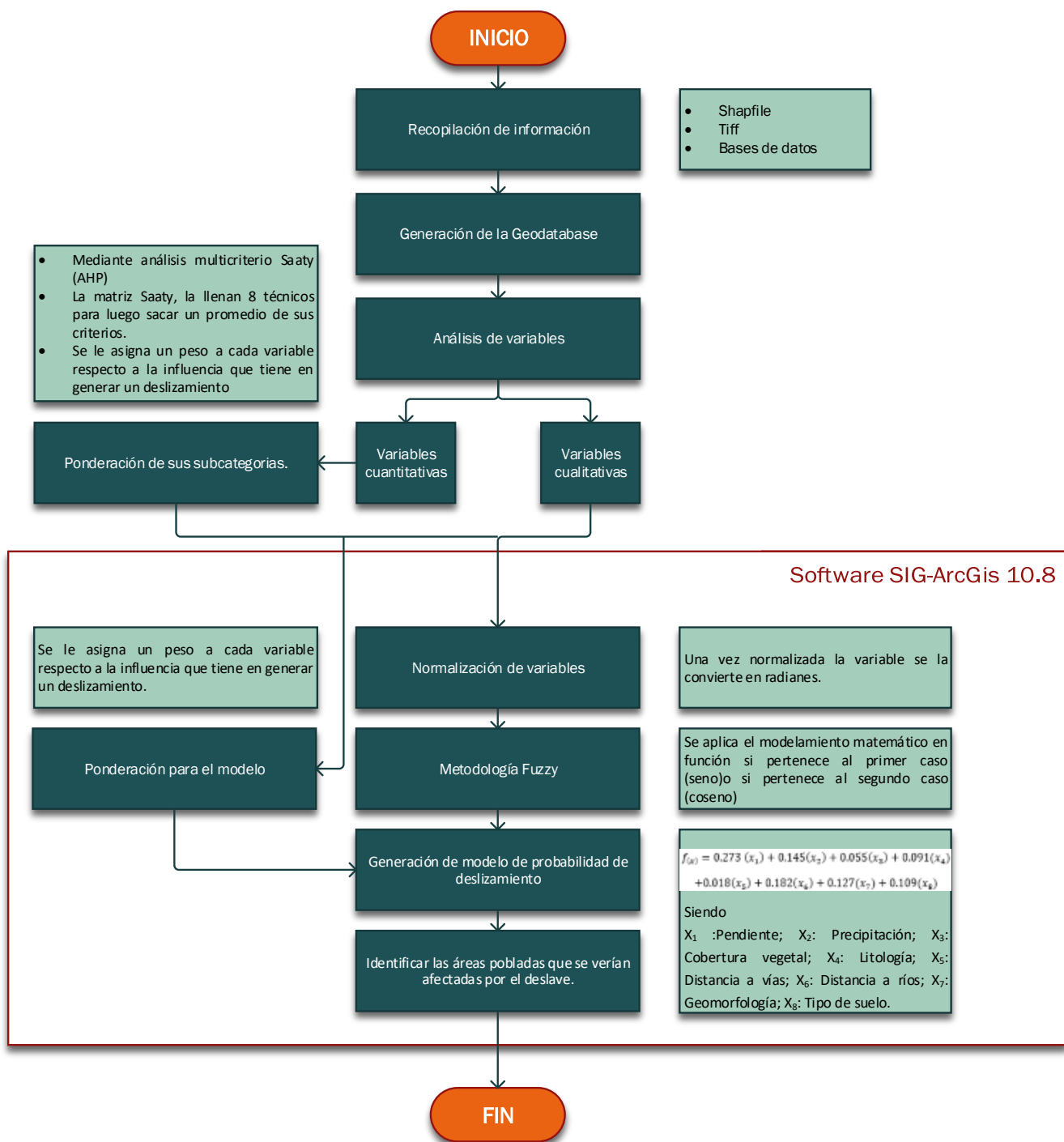
El conocimiento de la susceptibilidad a deslizamientos es fundamental para la planificación urbana y la gestión del riesgo en zonas propensas. Sin embargo, la información disponible sobre los factores que contribuyen a la susceptibilidad a deslizamientos en el tramo Guápulo - Cumbayá es limitada y dispersa.

La frecuencia de eventos recurrentes de movimientos de masa en el área de estudio demanda la realización de una investigación en gestión de riesgos, que utilice técnicas geoespaciales para estimar la susceptibilidad a deslizamientos, esta metodología permitirá analizar variables como la topografía, la geología, el uso del suelo y otros factores relevantes para identificar las áreas con mayor riesgo y por consiguiente, constituye un elemento esencial en las actividades de Ordenamiento Territorial, cabe destacar que este tema se encuentra como prioritario en la tabla de recomendaciones de intervención para ser incorporados en el PUGS “Establecer la condición de riesgo presente y futuro que presenta el suelo urbano y rural (zonas de inundación, deslizamiento, licuefacción, sequía)” (APGRE, 2020).

IV. METODOLOGÍA

En el marco de esta investigación, se emplearán dos metodologías utilizadas en el ámbito geográfico: la lógica difusa y el análisis multicriterio (Fig.2). Estas metodologías han demostrado su eficacia al enfrentar problemas complejos y brindar soporte en la toma de decisiones en estudios de gestión de riesgos, en base a la información geográfica detallada en la (Tabla 1). Su aplicación permitirá un enfoque integral y preciso en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos en el tramo Guápulo - Cumbayá en Quito, proporcionando resultados fundamentales para mejorar la seguridad y bienestar de la comunidad y sus infraestructuras.

Figura 2 Esquema de la metodología de la investigación



La evaluación multicriterio es una metodología que tiene como objetivo principal guiar y respaldar la toma de decisiones al considerar múltiples criterios relevantes. Este enfoque se utiliza de manera fundamental para comprender y abordar problemas complejos de decisión. “Su aplicación se centra en la realización de juicios comparativos entre diferentes proyectos o medidas heterogéneas, lo que lo convierte en una herramienta

efectiva para la evaluación y selección de alternativas en diversos contextos” (Gutiérrez, y otros, 2015).

La metodología de lógica difusa permite la integración de diferentes factores causales y sus incertidumbres para estimar la susceptibilidad a deslizamientos en un área específica, este método es útil para la planificación urbana y la gestión de riesgos, ya que proporciona un enfoque probabilístico para estimar el fenómeno. La técnica se fundamenta en el principio “Hoy y el pasado son claves para el futuro” (Salcedo, et al., 2017).

Este enfoque sostiene dos premisas fundamentales: “(1) futuros deslizamientos de tierra que puedan ocurrir en circunstancias similares a las de deslizamientos pasados en el área de estudio o en áreas en las que el expertos han obtenido su conocimiento sobre la relación entre los factores causales y las ocurrencias de los deslizamientos de tierra; y (2) los datos espaciales que representan los factores causales contenidos en la base de datos GIS pueden ser utilizado para formular futuros deslizamientos de tierra.” (Maryam, I., 2011)

“Los factores causales se tienen que estandarizar por medio de una función de pertenencia, de acuerdo a la relación entre la variable dependiente (presencia o ausencia de deslizamientos) y, las variables independientes (deslizamientos/ factores causales)” (Salcedo, et al., 2017). Los resultados obtenidos de cada mapa factor, se ponderan mediante análisis jerárquico Analytic Hierarchy Process (AHP) de acuerdo a su relevancia con el desencadenamiento de deslizamientos.

Al combinar la lógica difusa y el análisis multicriterio, se podrá realizar una evaluación rigurosa y detallada de la susceptibilidad a los movimientos en masa en el área de estudio. Estas metodologías ofrecen herramientas poderosas para comprender y abordar la complejidad de los fenómenos geográficos, contribuyendo así al avance del conocimiento y la toma de decisiones en el campo de la geografía y la gestión del riesgo geológico.

Tabla 1 Base de datos.

BASES CARTOGRÁFICAS Y TEMÁTICAS					
COBERTURA	TIPO	ESCALA/ RESOLUCIÓN	FUENTE/AÑO	FORMATO	SISTEMA DE REFERENCIA
EJE VIAL	LÍNEA	1: 5000	EPMOOP 2022	.SHP	UTM/WGS84/17S
RIOS	LÍNEA	1: 50 000	IGM 2013	.SHP	UTM/WGS84/17S
DEM	RASTER	10X10m	SIGTIERRAS	TIFF	UTM/WGS84/17S
COBERTURA VEGETAL	POLÍGONO	-	SECRETARÍA DE AMBIENTE /2022	.SHP	UTM/WGS84/17S
GEOMORFOLOGÍA	POLÍGONO	-	SECRETARÍA DE AMBIENTE /2015	SHP	UTM/WGS84/17S
LITOLOGÍA	POLÍGONO	-	SNI	SHP	UTM/WGS84/17S
TIPO DE SUELO	POLÍGONO	1: 25 000	MAG (2009- 2015)	.SHP	UTM/WGS84/17S
PRECIPITACIONES	RASTER	1x1 km	World Climate	TIFF	UTM/WGS84/17S
VIVIENDAS	PUNTO	1: 5 000	INEC (2021)	.SHP	UTM/WGS84/17S
HISTORICOS DE DESLIZAMIENTO	PUNTO	-	Secretaría de Gestión de Riesgos	.XLS	GEOGRÁFICA/ WGS 84
LÍMITE REFERENCIAL DE ADMINISTRACIONES ZONALES	POLÍGONO	-	Secretaría General de Planificación/2023	.SHP	GEOGRÁFICA/ WGS 85

4.1. VARIABLES QUE CONTRIBUYEN A LOS DESLIZAMIENTOS

La evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos es un aspecto crucial en la gestión del riesgo, particularmente en áreas urbanas y periurbanas donde la infraestructura y la población están expuestas a graves riesgos. En este contexto, el presente capítulo se enfoca en diversos factores que influyen en la probabilidad de deslizamientos. La cobertura vegetal, la geomorfología, el tipo de suelo, la litología, la topografía, la precipitación, la vialidad y la hidrografía son considerados como variables clave en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos. Estos elementos interactúan de manera compleja para determinar la estabilidad del terreno y la probabilidad de eventos catastróficos. Mediante el análisis detallado de cada factor y su influencia en la ocurrencia de movimientos de masa, se pretende proporcionar una comprensión integral de la dinámica de riesgo en el tramo Guápulo-Cumbayá del cantón Quito.

4.1.1. Cobertura vegetal

La vegetación desempeña un papel fundamental en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos debido a su impacto crucial en la estabilidad del suelo y los procesos hidrológicos. Una vegetación densa y saludable fortalece la cohesión del suelo a través de la acción de las raíces, reduciendo así el riesgo de deslizamientos (Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, 1993). Además, actúa como una barrera natural contra la erosión, lo que disminuye la escorrentía superficial y mitiga el riesgo de fallos en el terreno. La capacidad de la vegetación para interceptar agua es también esencial, ya que reduce la saturación del suelo y previene la acumulación de presión interna, lo que a su vez reduce las condiciones favorables para los deslizamientos.

4.1.2. Geomorfología

Las consideraciones geomorfológicas son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos, al estudiar las formas de relieve, los procesos erosivos y de sedimentación, así como la interacción entre la vegetación, el suelo y la roca. Este análisis permite identificar áreas propensas a deslizamientos, como laderas empinadas o regiones con ciertos tipos de suelo. Los procesos de vertiente son cruciales en este contexto, ya que influyen en la redistribución de sedimentos y la estabilidad de las laderas (Aristizabal & Yokota, 2005).

4.1.3. Tipo de Suelo

Las características físicas y químicas de cada tipo de suelo influyen significativamente en su capacidad para retener agua, lo que a su vez afecta la estabilidad del terreno. Por ejemplo, los inceptisoles, son suelos poco desarrollados y permeables, tienden a retener menos agua, lo que puede reducir el riesgo de deslizamientos en comparación con los molisoles, que tienen una estructura más estable y retienen más agua. La textura y la composición del suelo también influyen en su cohesión y capacidad de soporte, lo que puede afectar su resistencia a los movimientos de masa. Los deslizamientos son más probables en suelos con una baja cohesión y una alta capacidad de infiltración de agua (Pereira ,et al, 2011).

4.1.4. Litología

La litología, se centra en la composición de la roca, así como en su calidad y susceptibilidad a la degradación por factores como la erosión y la meteorización, es crucial para evaluar la probabilidad de deslizamientos. Las condiciones litológicas, como la presencia de importantes formaciones de terrenos sueltos, rocas detríticas poco consolidadas, arcillosas o filíticas, así como rocas muy fragmentadas o descomprimidas, y aquellas químicamente solubles, pueden aumentar significativamente el riesgo de deslizamientos al interactuar con pendientes pronunciadas o laderas inestables, resaltando la importancia de comprender la constitución y configuración de los materiales del terreno en la prevención de deslizamientos.

4.1.5. Topografía-Pendiente

La consideración de la pendiente es fundamental en el análisis de los deslizamientos debido a su influencia directa en la estabilidad del terreno. Las pendientes pronunciadas aumentan la fuerza gravitatoria sobre el suelo, elevando la probabilidad de deslizamientos, estas pendientes suelen ser más susceptibles a la erosión y a la saturación del suelo por agua, factores que debilitan su estabilidad. Incluso las pendientes moderadas pueden representar riesgos significativos si están compuestas por materiales sueltos o erosionables. Como se observa en el siguiente rango de pendientes según el relieve descrito por el Consorcio Vino Tinto y Oro (2017). En terrenos con pendientes de 0 a 5 grados, que se caracterizan por ser planos o ligeramente cóncavos, los deslizamientos son menos probables debido a la

estabilidad inherente de la superficie, mientras que los terrenos muy escarpados (>45 grados) son altamente propensos a deslizamientos.

Tabla 2 Rangos de pendientes en grados

Rango de pendiente (°)	Relieve
0 - 5	Plano, Plano cóncavo y ligeramente plano
5 - 15	Ondulado, Inclinado
15 - 25	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado
25 - 35	Fuertemente Quebrado
35 - 45	Escarpado
> 45	Muy Escarpado

Fuente: (Consortio Vino Tinto y Oro, 2017)

4.1.6. Precipitación

La precipitación desempeña un papel crucial en la dinámica de deslizamientos, influenciando directamente la estabilidad del suelo mediante la saturación y el incremento de la presión de poros, lo cual reduce la resistencia al corte del suelo. Este estudio examinó la precipitación máxima y mínima en un área específica, utilizando una clasificación trimestral y poniendo especial énfasis en los meses de febrero, marzo y abril, que históricamente registran los mayores índices de precipitación. Los datos revelaron una correlación directamente proporcional entre la intensidad de la precipitación y la frecuencia de deslizamientos, subrayando la importancia de la misma como un factor predictivo clave en la ocurrencia de deslizamientos.

4.1.7. Vialidad

La construcción de infraestructuras humanas, como las carreteras, está estrechamente vinculada a la inestabilidad de los taludes, ya que estas intervenciones perturban el equilibrio natural de las laderas, provocando deslizamientos. Para calcularla, se empleó la distancia euclidiana, que indica la relación de cada celda del raster con un origen o conjunto de orígenes, midiendo la distancia en línea recta. Esta variable tiene una relación inversa: a menor distancia de una vía en el terreno, mayor es la probabilidad de deslizamientos.

4.1.8. Hidrografía

La proximidad a cuerpos de agua como ríos o quebradas emerge como un factor significativo en el aumento del riesgo de erosión y la consiguiente pérdida de

estabilidad del suelo, lo cual favorece la ocurrencia de deslizamientos. Esta relación exhibe una correlación directa: a medida que la distancia a una fuente hídrica disminuye, se incrementa la probabilidad de deslizamientos. Para investigar este fenómeno, se aplicó el método de distancia euclidiana en el análisis de proximidad, permitiendo discernir la relación entre cada celda del raster y un punto de origen específico. Es esencial destacar que esta variable presenta una relación inversa, donde la cercanía a un río o quebrada está asociada con una mayor probabilidad de deslizamientos.

4.2. MÉTODO DE ANÁLISIS JERARQUICO DE SAATY (AHP)

La evaluación multicriterio aplicada a la determinación de la susceptibilidad de una zona a los movimientos en masa se basa en la identificación y ponderación de factores que influyen en la inestabilidad de las laderas. Al asignar pesos a estos campos y combinarlos en un análisis integrado, se obtiene una evaluación más precisa y completa de la susceptibilidad del área en estudio. “Ello permite, además, el análisis de información en combinación con la experiencia de los tomadores de decisiones” (Álvarez, Esparza, Oñate, & Oñate, 2020).

Según Saaty (2008) el proceso de toma de decisiones utilizando Analytic Hierarchy Process (AHP) se divide en cuatro pasos básicos: primero se define el problema y se determina el tipo de conocimiento requerido; luego, el problema se estructura jerárquicamente en subproblemas, incluyendo criterios y subcriterios, las alternativas se encuentran en el nivel más bajo; a continuación, se construye una matriz de comparación para capturar el juicio de expertos utilizando un método de comparación uno a uno de la escala de recomendación; finalmente, se construyen las matrices individuales y el modelo completo. Se sintetizan para determinar la prioridad global de cada alternativa, y estos aspectos se describen posteriormente en detalle (Saaty T. , 2008).

El AHP ofrece un método para medir el nivel de consistencia entre las sentencias pareadas que ofrece el decisor, es decir si el nivel de consistencia es aceptable puede continuarse con el proceso de decisión. Por lo tanto, la matriz se considera consistente siempre y cuando la razón de consistencia (CR) no supere el valor de 0.10, si se excede el CR máximo, es necesario revisar los pesos asignados (García F. , 2015).

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ec. (1)}$$

Siendo

λ_{max} = Representa el valor propio máximo.

n = Es la dimensión de la matriz de decisión

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n} \quad \text{Ec. (2)}$$

Siendo

n = Es la dimensión de la matriz de decisión

$$CR = Ci/Rci \quad \text{Ec. (3)}$$

Siendo

Ci = Índice de consistencia

Rci = Índice de Consistencia Aleatorio

Cuyo valor nos dice lo siguiente:

- $CR = 0,00 \rightarrow$ la matriz es consistente
- $CR \leq 0,10 \rightarrow$ la consistencia puede ser suficiente, según el valor de n
- $CR > 0,10 \rightarrow$ la matriz es inconsistente, y se deben revisar los juicios

Para la valoración de los criterios, se considerarán las ponderaciones propuestas por Saaty, calculadas a partir del promedio de la importancia asignada por ocho técnicos especializados (Tabla 3) en el campo de gestión de riesgos. Las variables consideradas en este método son la cobertura vegetal, geomorfología, tipo de suelo y litología, las cuales son cualitativas, pero se convierten en cuantitativas a través de este proceso. Estos valores cuantitativos representan pesos que nos permiten determinar la relación entre las variables y la susceptibilidad a los deslizamientos.

Tabla 3 *Técnicos que realizaron la ponderación de las variables.*

Técnico	Título	Ocupación o Dirección /Lugar de Trabajo
1	Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	Dirección de catastro/Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda-MIDUVI
2	Ing. Civil	Profesor de Topografía e hidráulica/Escuela Superior Politécnica del Litoral-ESPOL
3	Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	Especialista de análisis de la información/Policía Nacional del Ecuador
4	Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	Dirección de Estudios, Investigación y Desarrollo Meteorológico/Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI
5	Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	Supervisor de Catastro de la Administración zonal de Tumbaco, Dirección metropolitana de catastro/Municipio del Distrito Metropolitano de Quito-DMQ
6	Ing. Geóloga	Investigadora Oceanográfica/ Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada-INOCAR
7	Ing. Geóloga	Hidrógrafa 2/ Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada-INOCAR
8	Ing. Geógrafa y del Medio Ambiente	Técnica/Instituto de Investigación Geológico y Energético

4.3. DETERMINACIÓN DE FACTORES CAUSALES

La metodología se basa en una evaluación integral y rigurosa de los factores causales y desencadenantes en un contexto geográfico específico, a fin de establecer relaciones de causalidad y comprender en profundidad la dinámica de la inestabilidad en la región de estudio.

Los factores subyacentes a este fenómeno se dividen en dos categorías fundamentales: los condicionantes y los desencadenantes.

- Los condicionantes se derivan directamente de las características intrínsecas de la zona de estudio, ejerciendo una influencia significativa en la probabilidad de ocurrencia de eventos de inestabilidad. Estos elementos están íntimamente ligados a la topografía, geología, litología, tipo de suelo, drenajes y cobertura vegetal (Dahal & Dahal, 2017).
- Los desencadenantes operan de manera que aumentan la susceptibilidad a la inestabilidad. Estos factores pueden ser de origen natural, incluyendo sismos, intensidad de precipitación y erosión natural, o pueden surgir como consecuencia de actividades humanas, como el uso del suelo y las operaciones de construcción (Salcedo, et al., 2017)

4.4. NORMALIZACIÓN DE DATOS

En el procedimiento de normalización, se emplea una expresión matemática con el propósito de transformar variables cuantificadas en diversas escalas a un rango estandarizado, con el fin de facilitar su comparación intervariable y su incorporación en modelos estadísticos. Los valores sometidos a este proceso son restringidos al intervalo de 0 a 1, siguiendo la aplicación de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{V_o}{V_m}$$

Ec. (4)

Siendo

N: Normalización

Vo: Variable original (Los valores que se tienen son los obtenidos por medio de la matriz Saaty)

Vm: Valor máximo de la variable original

4.5. METODOLOGÍA FUZZY

Esta metodología se caracteriza por la aplicación de un enfoque de modelado matemático que incorpora una función no lineal. Esta función genera una salida numérica escalada en el rango de 0 a 1, representando así una medida cuantitativa. En el contexto del estudio en cuestión, esta medida cuantitativa establece una solución potencial que abarca desde la completa ausencia hasta la presencia total de deslizamientos (Padilla, 2007). Para lograr este propósito, se recurre al empleo de funciones trigonométricas, como el seno y el coseno, con el propósito de establecer la relación entre las variables independientes. Estas funciones permiten determinar si existe una correlación directa o inversamente proporcional entre las variables independientes y la variable dependiente (Padilla, 2007).

El análisis del comportamiento intervariable se fundamenta en la elucidación de las interdependencias entre los elementos del dominio estudiado. Esto se ejecuta mediante la aplicación de criterios técnicos y la exhaustiva consideración de la información inherente al problema en cuestión. Se procede a esclarecer la naturaleza de las relaciones, ya sean inversamente proporcionales (caso 1) o directamente proporcionales (caso 2), que rigen la vinculación entre cada par de variables en estudio (Padilla, 2007).

- Inversamente proporcional (1er Caso):

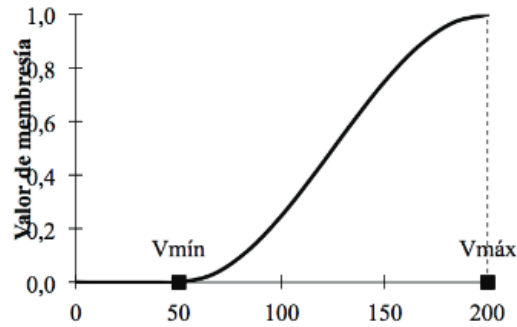
$$P1 = \sin\left(N * \frac{\pi}{2}\right) \quad 0 \leq P \leq 1$$

Ec. (5)

Siendo

N= La variable normalizada

Figura 3 Función de pertenencia curva Seno rango de 0 a $\pi/2$ radianes.



Fuente: (Padilla, 2007)

- Directamente proporcional (2do Caso):

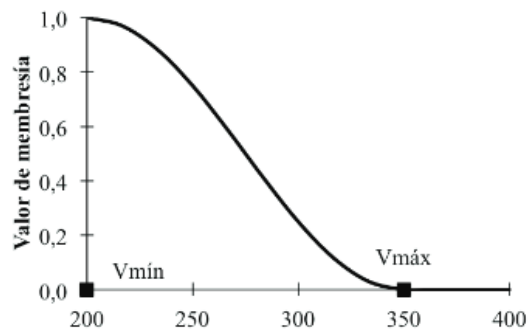
$$P2 = \cos\left(N * \frac{\pi}{2}\right) \quad 0 \leq P \leq 1$$

Ec. (6)

Siendo

N= La variable normalizada

Figura 4 Función de pertenencia curva coseno rango de 0 a $\pi/2$ radianes



Fuente: (Padilla, 2007)

4.6. GENERACIÓN DE MODELO DE PROBABILIDAD MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

El procedimiento para desarrollar el modelo de probabilidad de ocurrencia de deslizamientos utilizando la lógica Fuzzy se detalla en el modelo cartográfico (Fig. 5), cabe recalcar que el software GIS, ocupado fue ArcGIS 10.8.

El modelo resultante se derivó mediante un proceso de suma ponderada, el cual implica asignar a cada variable estudiada un peso que refleje su relevancia en relación con la ocurrencia de deslizamientos, los cuales se obtuvo mediante la metodología Saaty. Así, a medida que aumenta la ponderación de un elemento, se considera que su influencia es mayor. Esta técnica de suma ponderada permite integrar varias variables teniendo en cuenta su importancia relativa.

Se realizó una combinación de múltiples rasters de probabilidad de variables, seguida de una multiplicación por el peso asignado a cada una, y finalmente se suman los resultados para obtener el modelo agregado de probabilidad de ocurrencia de deslizamientos Ec (7).

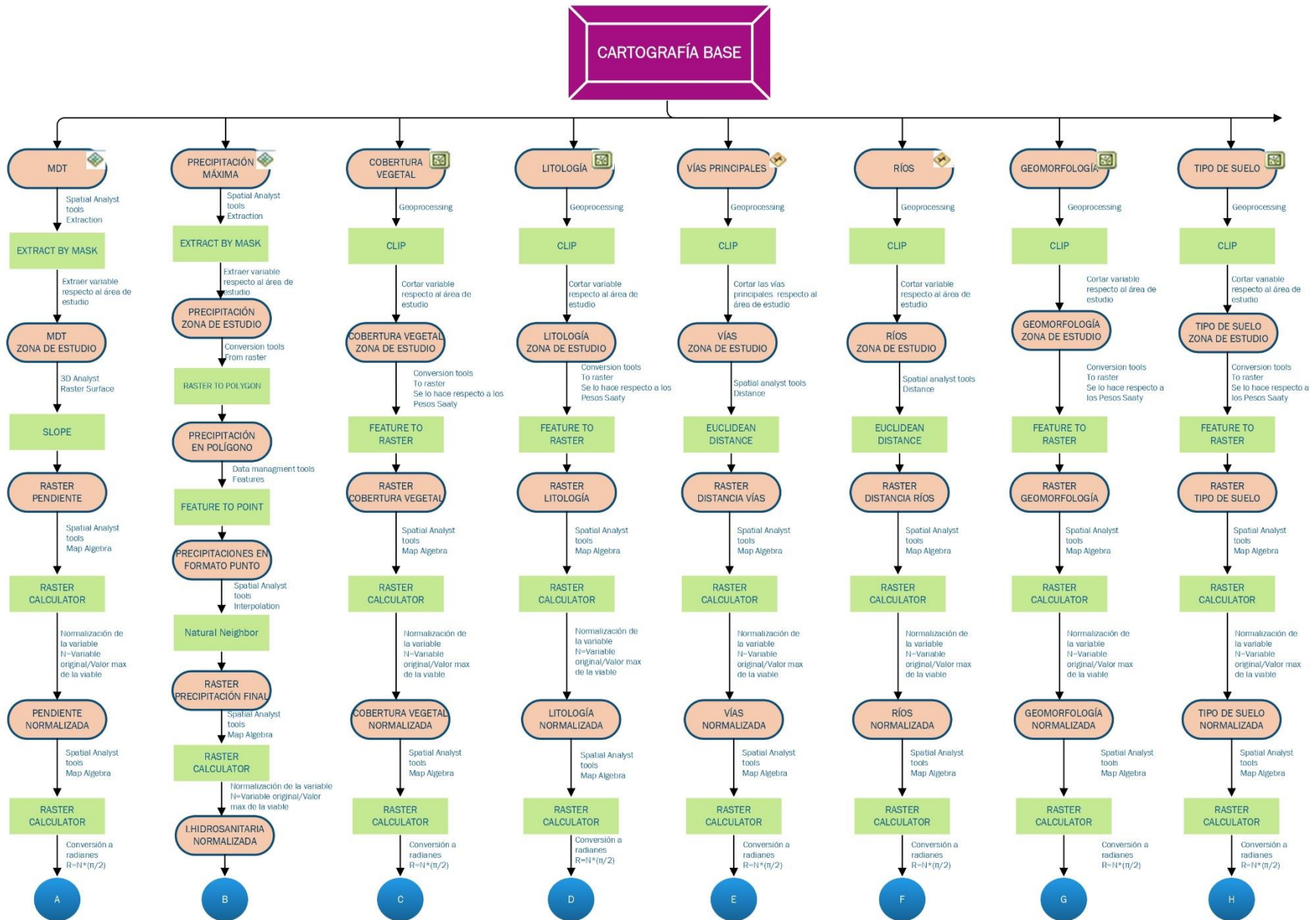
$$f(x) = 0.273(x_1) + 0,145(x_2) + 0.055(x_3) + 0.091(x_4) + 0.018(x_5) + 0.182(x_6) + 0.127(x_7) + 0.109(x_8)$$

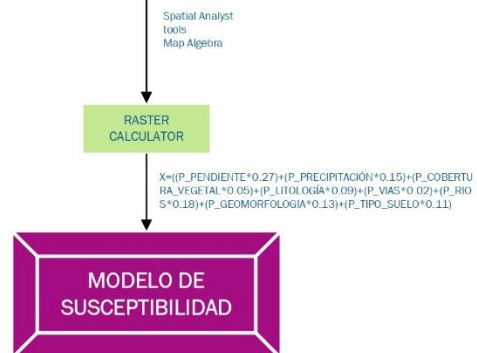
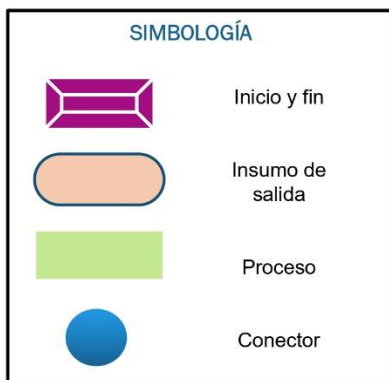
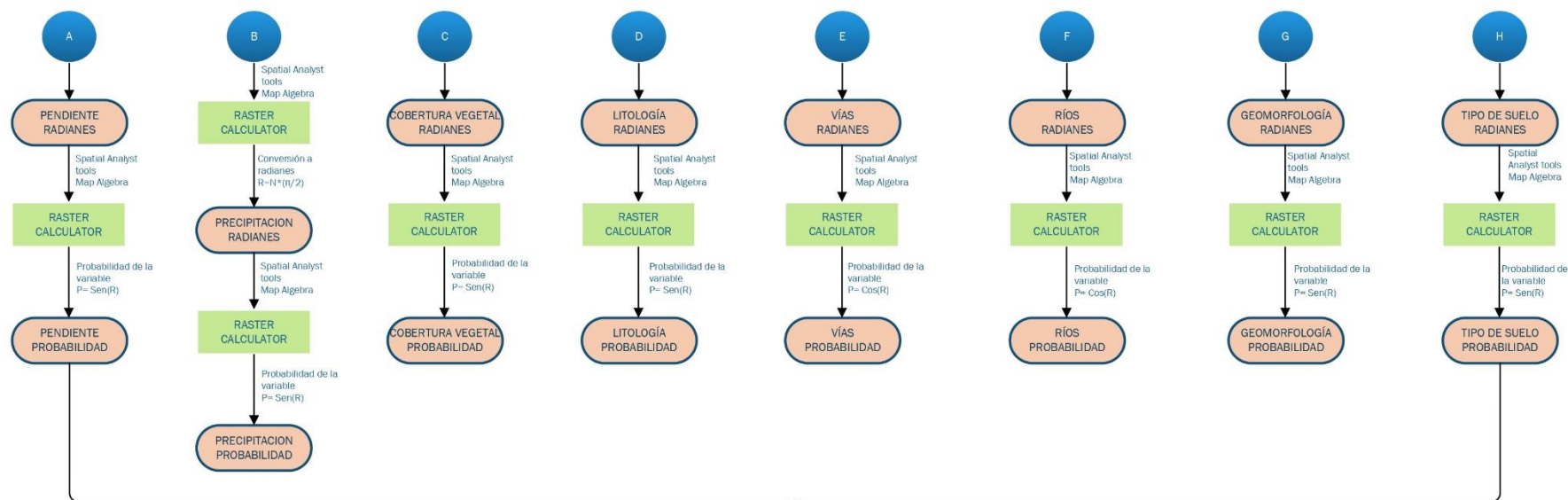
Ec. (7)

Siendo

X₁: Pendiente; X₂: Precipitación; X₃: Cobertura vegetal; X₄: Litología; X₅: Distancia a vías; X₆: Distancia a ríos; X₇: Geomorfología; X₈: Tipo de suelo.

Figura 5 Modelo Cartográfico





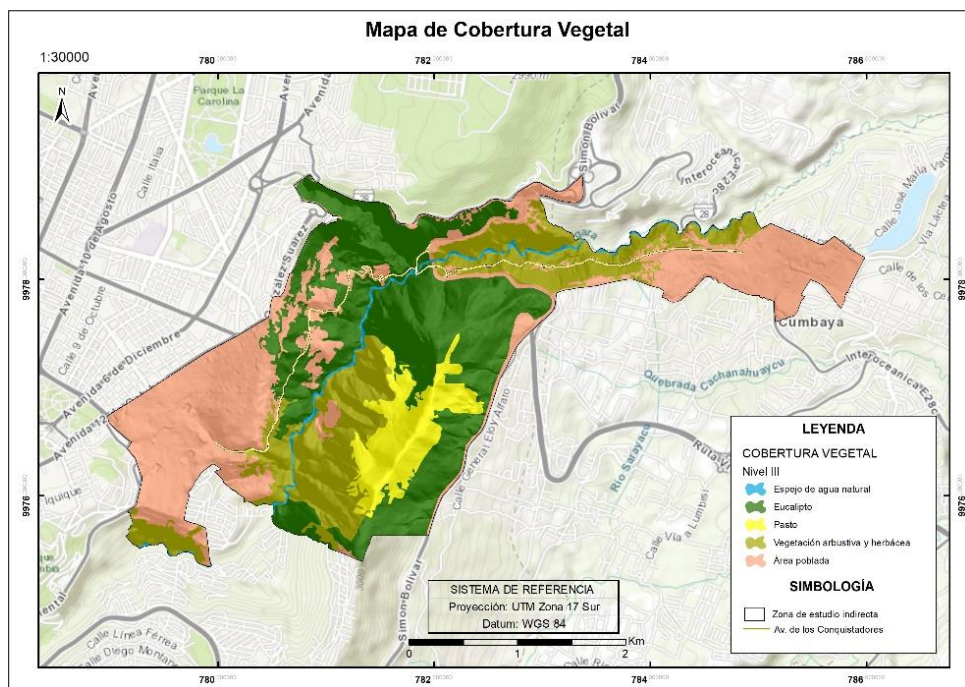
V. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIABLES CUALITATIVAS

5.1.1. Cobertura vegetal

Los resultados del presente estudio muestran el proceso de ponderación y normalización aplicado al análisis de la cobertura vegetal en relación con el riesgo de deslizamientos. En la Tabla 4, se observa que los espejos de agua, con una normalización de 1, y la vegetación arbustiva y herbácea, con 0.936, son los que más contribuyen al riesgo de deslizamientos, seguidos por pasto (0.431), áreas pobladas (0.403) y eucalipto (0.369). La identificación de las coberturas más riesgosas permite a los gestores formular medidas de mitigación más dirigidas, como la selección de especies vegetales menos propensas a fomentar deslizamientos y la implementación de infraestructuras para mejorar la absorción del suelo y su estabilidad.

Figura 6 Cobertura vegetal

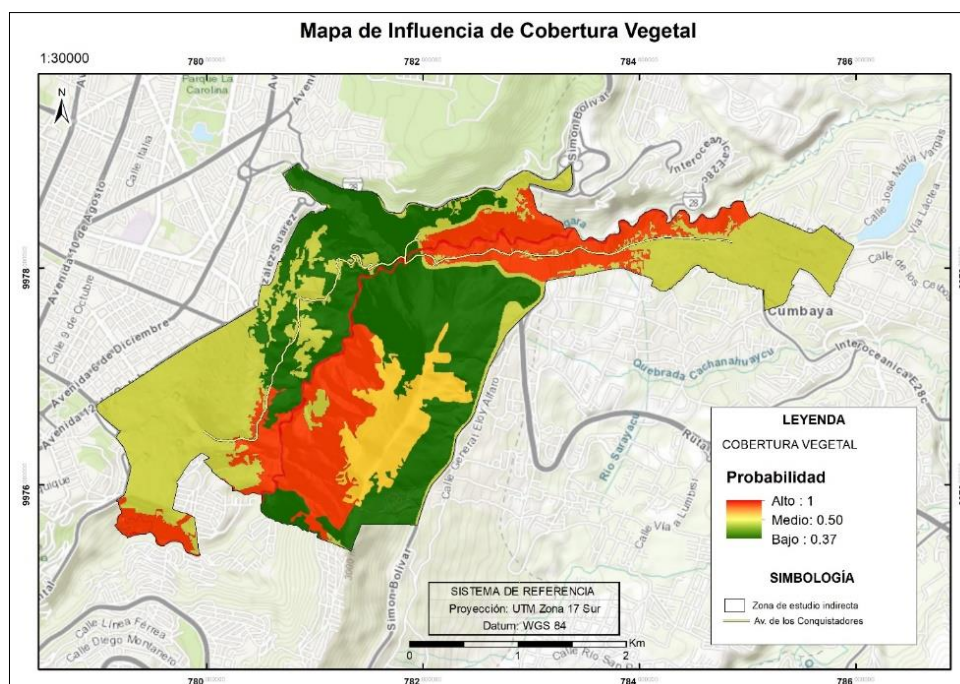


Fuente. Autor

Tabla 4 Análisis-Cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL	Técnico 1	Técnico 2	Técnico 3	Técnico 4	Técnico 5	Técnico 6	Técnico 7	Técnico 8	SAATY	NORMALIZACIÓN
EUCALIPTO	0,04	0,138	0,04	0,073	0,209	0,034	0,084	0,322	0,118	0,369
ÁREA POBLADA	0,116	0,1	0,082	0,005	0,125	0,458	0,107	0,034	0,128	0,403
PASTO	0,179	0,367	0,141	0,097	0,082	0,08	0,09	0,061	0,137	0,431
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HERBÁCEA	0,144	0,295	0,243	0,585	0,556	0,091	0,133	0,339	0,298	0,936
ESPEJO DE AGUA	0,522	0,1	0,494	0,241	0,028	0,336	0,585	0,244	0,319	1

Figura 7 Cobertura vegetal normalizada

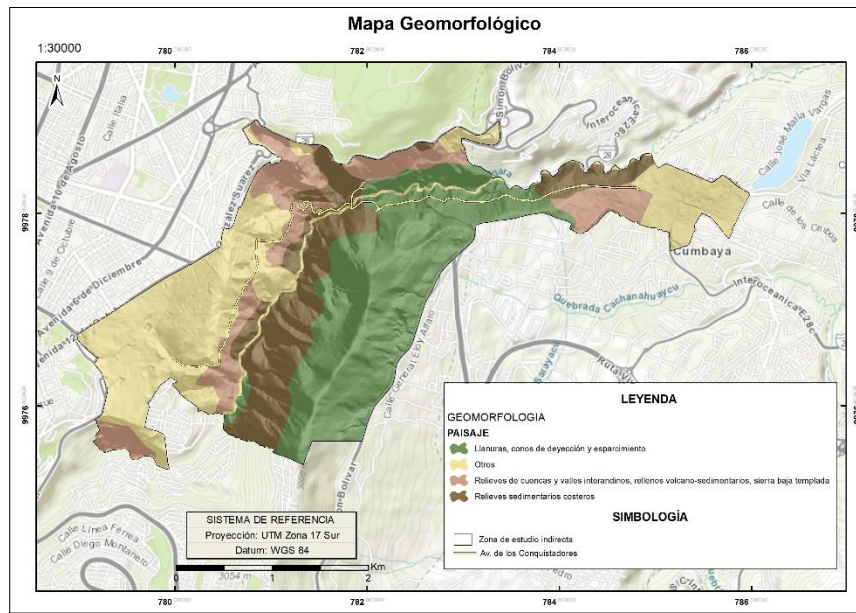


Fuente. Autor

5.1.2. Geomorfología

La geomorfología es un factor condicionante en el estudio de deslizamientos porque proporciona información crucial sobre la configuración del terreno y los procesos que afectan su estabilidad, lo que permite identificar áreas de mayor riesgo. Según la Tabla 5, los relieves sedimentarios costeros recibieron la mayor ponderación promedio 1, seguidos por las llanuras, conos de deyección y esparcimiento (0.615), siendo estos los más inestables geomorfológicamente influenciado en el movimiento de masa.

Figura 8 Geomorfología

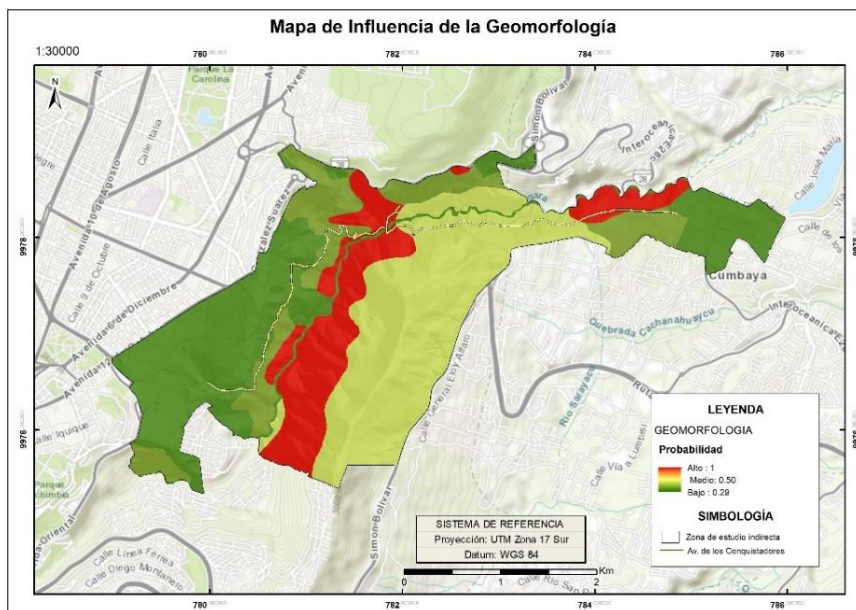


Fuente. Autor

Tabla 5 Análisis-Geomorfología

GEOMORFOLOGÍA	Técnico 1	Técnico 2	Técnico 3	Técnico 4	Técnico 5	Técnico 6	Técnico 7	Técnico 8	SAATY	NORMALIZACIÓN
OTROS	0,075	0,067	0,073	0,454	0,128	0,052	0,113	0,038	0,125	0,29
RELIEVES DE CUENCAS Y VALLES INTERANDINOS	0,053	0,391	0,248	0,165	0,225	0,218	0,042	0,098	0,18	0,418
LLANURAS, CONOS DE DEYECCIÓN Y ESPARCIMIENTO	0,594	0,151	0,126	0,047	0,052	0,06	0,544	0,544	0,265	0,615
RELIEVES SEDIMENTARIOS COSTEROS	0,278	0,391	0,554	0,335	0,595	0,67	0,301	0,321	0,43	1

Figura 9 Geomorfología normalizada

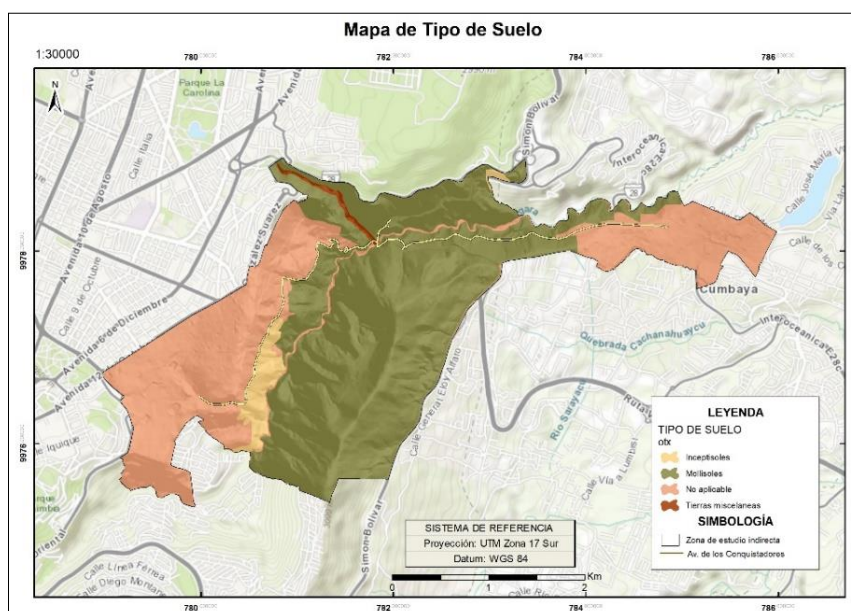


Fuente. Autor

5.1.3. Tipo de Suelo

Los Inceptisoles, con una normalización de 1, emergen como los más propensos a deslizamientos debido a sus características estructurales, a pesar de ser menos desarrollados que otros suelos. Siguiéndolos en riesgo están los Mollisoles y los Entisoles, con normalizaciones de 0.692 y 0.686 respectivamente, ambos caracterizados por su rica materia orgánica y desarrollo limitado. Con estos datos, los gestores de riesgos pueden orientar mejor sus estrategias para mitigar los deslizamientos en áreas específicamente vulnerables, según el tipo de suelo predominante.

Figura 10 Tipo de suelo

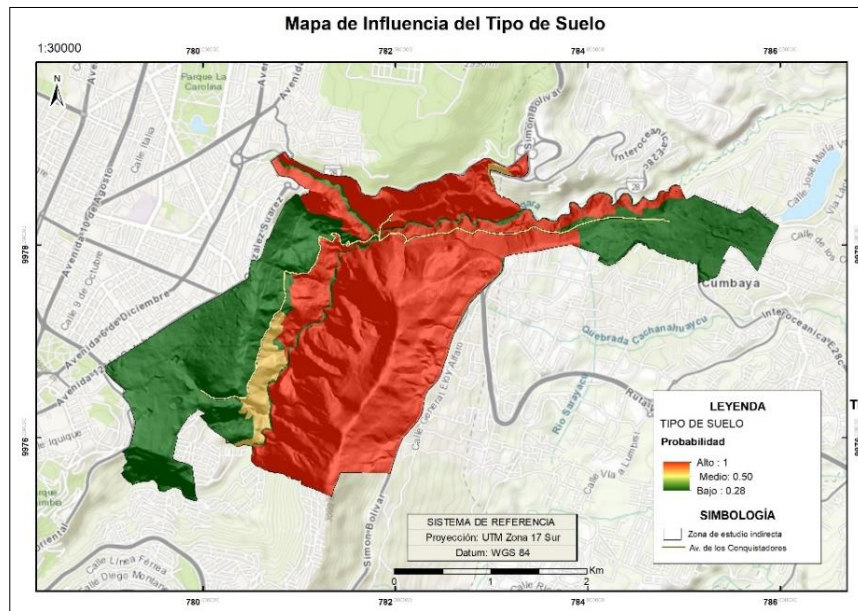


Fuente. Autor

Tabla 6 Análisis-Tipo de suelo

TIPO DE SUELO	Técnico 1	Técnico 2	Técnico 3	Técnico 4	Técnico 5	Técnico 6	Técnico 7	Técnico 8	SAATY	NORMALIZACIÓN
NO APLICABLE	0,165	0,073	0,04	0,073	0,096	0,045	0,334	-	0,118	0,381
TIERRAS MISCELANEAS	0,125	0,22	0,18	0,107	0,181	0,113	0,092	-	0,145	0,47
ENTISOLES	0,072	0,331	0,08	0,447	0,254	0,088	0,217	-	0,212	0,686
MOLLISOLES	0,544	0,123	0,43	0,084	0,075	0,086	0,158	-	0,214	0,692
INCEPTISOLES	0,095	0,253	0,27	0,289	0,394	0,667	0,199	-	0,31	1

Figura 11 Tipo de suelo normalizado.

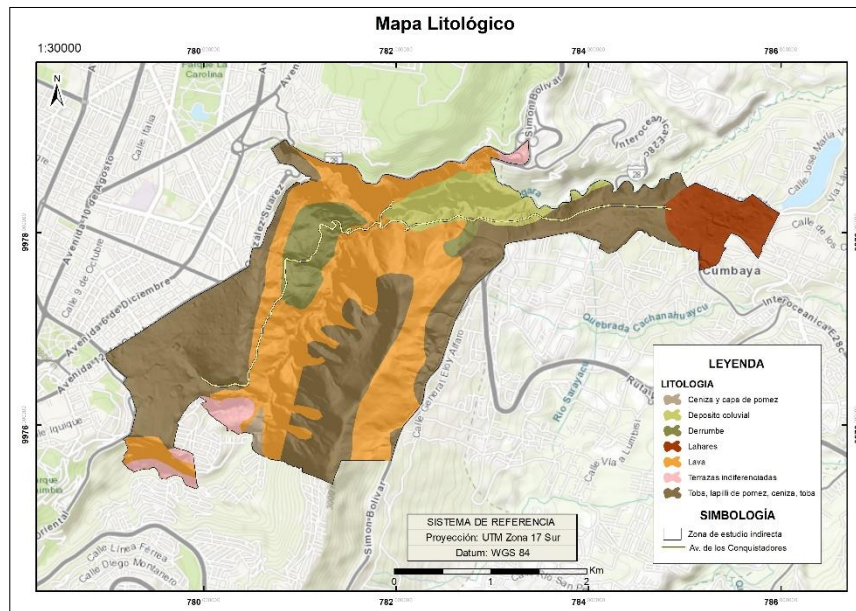


Fuente. Autor

5.1.4.Litología

Se observa que ciertos tipos de formaciones rocosas tienen una mayor influencia en la estabilidad de las laderas, los suelos de Derrumbe, con una normalización de 1, son identificados como los más propensos a causar deslizamientos, seguidos por los Lahares con una normalización de 0.555, estos recibieron las ponderaciones más altas en promedio, lo que indica una mayor influencia en la susceptibilidad a los deslizamientos, lo que concuerda con la base teórica, donde se destaca que la presencia de materiales alterados por meteorización y la falta de cohesión de los materiales rocosos son factores clave en la predisposición a deslizamientos. Además, la alternancia de estratos de diferente naturaleza, como se refleja en la variedad de litologías consideradas, contribuye a la heterogeneidad del terreno y a la generación de esfuerzos que pueden desencadenar deslizamientos

Figura 12 Litología

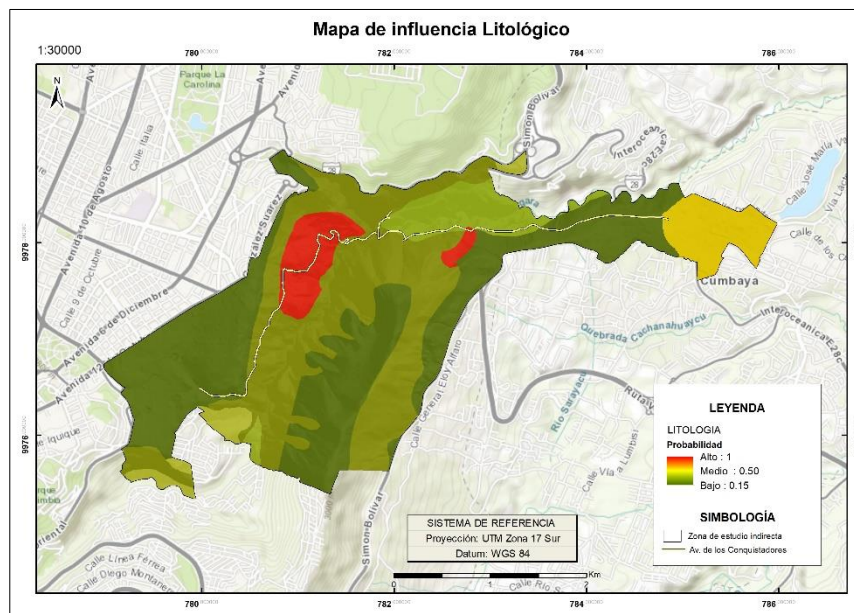


Fuente. Autor

Tabla 7 Análisis-Litología

LITOLOGÍA	Técnico 1	Técnico 2	Técnico 3	Técnico 4	Técnico 5	Técnico 6	Técnico 7	Técnico 8	SAATY	NORMALIZACIÓN
TOBA, LAPILLI DE POMEZ	0,059	0,058	0,026	0,056	0,097	0,031	0,066	0,019	0,052	0,152
LAVA	0,038	0,134	0,077	0,106	0,024	0,024	0,093	0,094	0,074	0,218
DEPOSITO COLUVIAL	0,071	0,116	0,096	0,11	0,208	0,046	0,042	0,141	0,104	0,306
CENIZA Y CAPA DE POMEZ	0,075	0,423	0,025	0,072	0,114	0,142	0,08	0,028	0,12	0,354
TERRAZA INDIFERENCIADAS	0,194	0,046	0,265	0,086	0,103	0,042	0,104	0,157	0,125	0,368
LAHARES	0,281	0,171	0,091	0,2	0,05	0,47	0,178	0,063	0,188	0,555
DERRUMBE	0,281	0,053	0,419	0,37	0,405	0,245	0,437	0,499	0,339	1

Figura 13 Litología normalizada



Fuente. Autor

5.2. RESULTADOS DE ANÁLISI DE VARIABLES CUANTITATIVAS

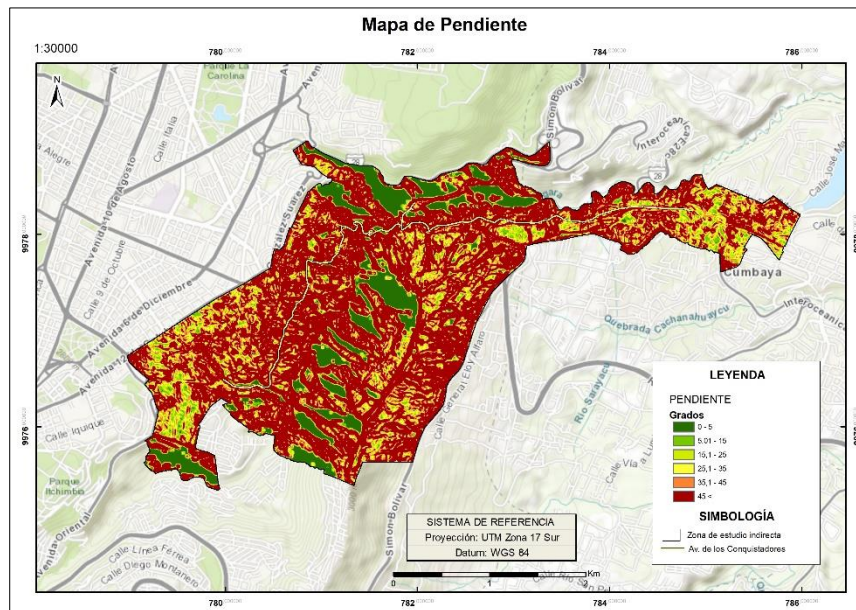
Se prescinde de la matriz Saaty para variables cuantitativas, ya que se asigna los pesos según el valor numérico de la misma variable o la distancia euclidiana que parte del objeto de estudio, como son los ríos, quebradas y vías. Este enfoque asegura una evaluación precisa de cada variable, evitando la subjetividad.

5.2.1. Topografía-Pendiente

La topografía de la AEI está profundamente influenciada por el curso del río Machangara, que fluye a través de un terreno con pendientes muy pronunciadas. Esta característica provoca que el río avance con rapidez y exhiba una notable capacidad erosiva, erosionando profundamente el suelo y formando valles en forma de V. Además, el relieve marcado de la región no solo se debe a las depresiones, sino también a las elevaciones significativas, como el cerro Auqui, situado en el bosque protegido de Lumbisi dentro de la Zona de Protección de Monjas, que alcanza una altura de 3038 m.s.n.m. Estos dos objetos geográficos, contribuyen a que la mayoría de las pendientes en la región sean iguales o superiores a 45° , categorizándose como un relieve muy escarpado, que da como resultado una normalización de 1. Esta configuración del terreno crea condiciones ideales para la ocurrencia de deslizamientos.

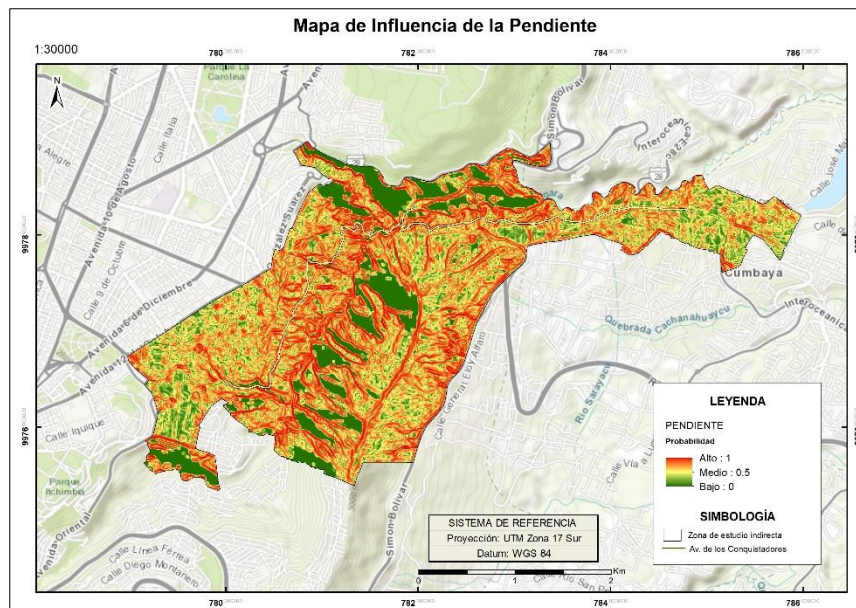
Según el mapa de pendientes obtenido por medio del MDT (SIGTIERRAS, 2016) que se trabajó bajo una clasificación de grados (Fig. 6), se tiene como predominante muy escarpado con una cobertura del 61.73%, seguida por el plano, plano cóncavo y ligeramente plano con una superficie equivalente al 10.28%, y con una menor cobertura está la pendiente ondulada e inclinada con un 4.36%.

Figura 14 Topografía-Pendiente



Fuente. Autor

Figura 15 Pendiente normalizada

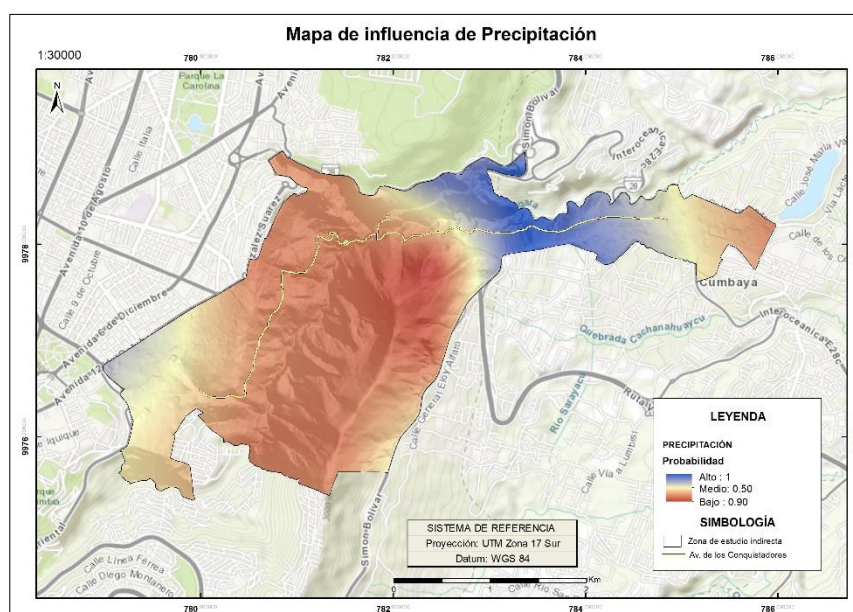


Fuente. Autor

5.2.2. Precipitación

El análisis de la precipitación en nuestra área de estudio muestra que en las fases más intensas alcanzan entre 129.021 mm y 143.718 mm. Las regiones del Cebollar y la zona noroeste de Guápulo registran las mayores precipitaciones, lo que incrementa significativamente su vulnerabilidad a deslizamientos, alcanzando un índice de normalización de 1, el más alto en términos de susceptibilidad. Esta situación se agrava por la influencia del río Machangara, que afecta al 53% del Área de Estudio Directa (AED) y acelera la erosión del suelo. La interacción entre las intensas lluvias y la dinámica fluvial del río debilita la estructura del suelo, facilitando el movimiento de masas.

Figura 16 Precipitación normalizada

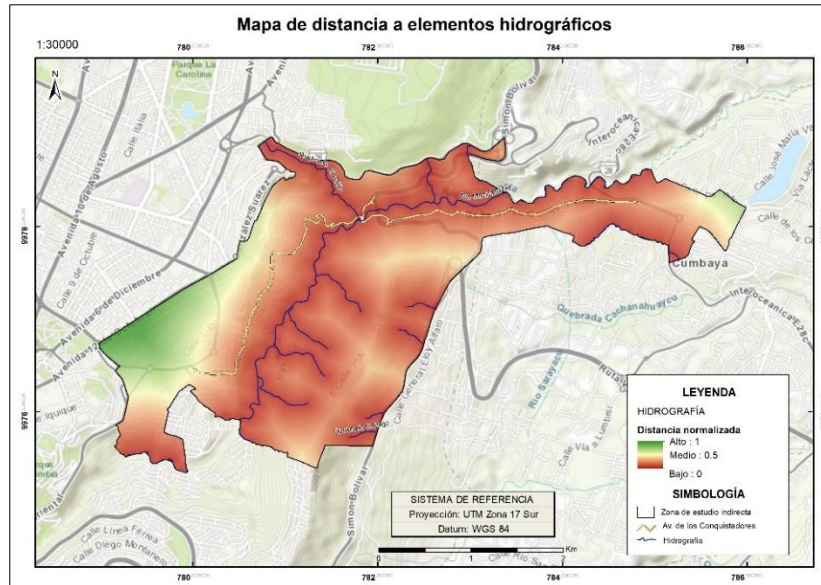


Fuente. Autor

5.2.3. Hidrografía

Esta variable revela una relación inversa entre la proximidad a cuerpos de agua y la probabilidad de deslizamientos: cuanto menor es la distancia a un río o quebrada, mayor es la probabilidad de que se produzca un deslizamiento. Un hallazgo relevante de este análisis es la intersección de dos objetos hidrográficos, el río Machángara y la quebrada El Batán con la Avenida Conquistadores. Esta interacción sugiere que el movimiento vehicular combinado con la actividad fluvial ejerce una presión significativa sobre la estabilidad del suelo en esa área. La validación de estos resultados se refuerza mediante registros históricos, que confirman la ocurrencia de dos deslaves significativos en este sector.

Figura 17 Distancia a elementos hidrográficos normalizados

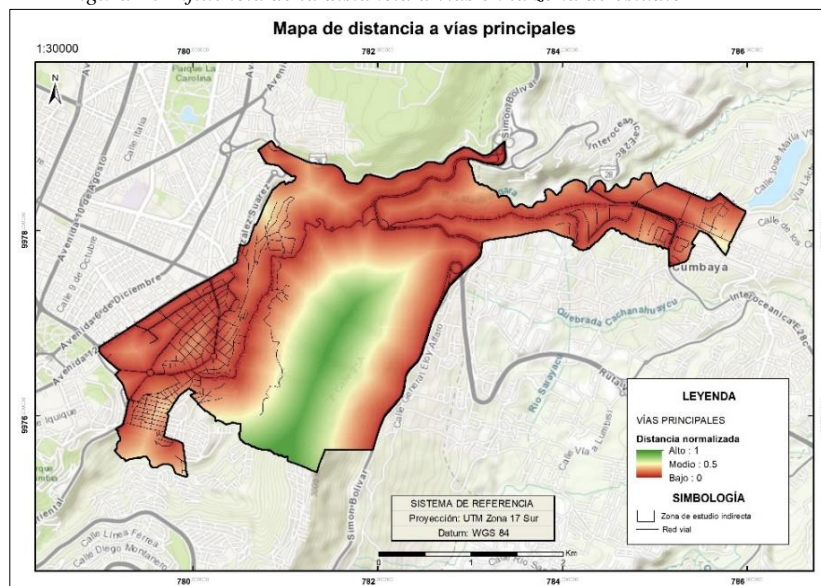


Fuente. Autor

1.1.1. Vialidad

La construcción de cualquier estructura antrópica en este caso las vías poseen una relación directa con la inestabilidad de los taludes, pues este tipo de intervenciones causan desequilibrio en la estabilidad natural de las laderas por el movimiento y peso del tráfico vehicular, de esta forma provocan deslizamientos, por ello se tomó en cuenta esta variable para el estudio, cabe recalcar que para el modelo lo que analizo es la distancia hacia la misma por eso se utiliza la inversa de la normalización de la variable, es decir entre menor sea la distancia mayor será su afectación.

Figura 18 Influencia de la distancia a vías en la zona de estudio



Fuente. Autor

1.2. PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA EL MODELO

Después de categorizar las variables cualitativas pertinentes, se incorporaron las de naturaleza cuantitativa, como pendientes, precipitaciones, distancias de vías y ríos, para un análisis jerárquico utilizando el método de Saaty. La tabla 12 muestra las ponderaciones resultantes de dicho análisis, destacando la influencia de cada variable en el modelo y el análisis de consistencia, con un coeficiente de consistencia de 0.00, confirma la fiabilidad de la matriz. Este enfoque proporciona una base sólida para la identificación y evaluación de áreas con mayor riesgo de deslizamientos, contribuyendo así a la gestión efectiva del riesgo de desastres.

Tabla 8 Ponderación Saaty-Variables

	VARIABLES	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	PESOS
C1	PENDIENTE	1,00	1,88	5,00	3,00	15,00	1,50	2,14	2,50	0,273
C2	PRECIPITACIÓN	0,53	1,00	2,67	1,60	8,00	0,80	1,14	1,33	0,145
C3	COBERTURA VEGETAL	0,20	0,38	1,00	0,60	3,00	0,30	0,43	0,50	0,055
C4	LITOLOGÍA	0,33	0,63	1,67	1,00	5,00	0,50	0,71	0,83	0,091
C5	DISTANCIA VÍAS	0,07	0,13	0,33	0,20	1,00	0,10	0,14	0,17	0,018
C6	DISTANCIA RÍOS	0,67	1,25	3,33	2,00	10,00	1,00	1,43	1,67	0,182
C7	GEOMORFOLOGÍA	0,47	0,88	2,33	1,40	7,00	0,70	1,00	1,17	0,127
C8	TIPO DE SUELO	0,40	0,75	2,00	1,20	6,00	0,60	0,86	1,00	0,109
										1,000

*Coeficiente de consistencia (CR) =0.00

1.3. ANÁLISIS FUZZY

Las variables como la pendiente, precipitación, cobertura vegetal, litología, geomorfología y tipo de suelo muestran una relación directamente proporcional con los deslizamientos, modelada por la función sinusoidal. Por otro lado, la distancia a vías y ríos exhibe una relación inversamente proporcional, representada por la función coseno. Estas relaciones proporcionan información crucial para comprender y modelar los deslizamientos de tierra.




Tabla 9 Casos Fuzzy

Factor	Criterio de relación entre: Factor /Deslizamientos	Función de pertenencia sinusoidal
Pendiente, precipitación, cobertura vegetal, litología, geomorfología y tipo de suelo	Directamente proporcional	Seno
Distancia a vías y ríos	Inversamente proporcional	Coseno

1.4. ANÁLISIS DEL MODELO

El análisis de la probabilidad de ocurrencia de estos eventos se ha clasificado utilizando el método de cuantiles. Esta metodología se seleccionó por su adecuación a la distribución lineal de los datos observados, basado en el modelo de lógica Fuzzy, que asigna valores en un espectro de 0 a 1 para indicar el nivel de riesgo, se ha logrado una representación potencial de deslizamientos en la zona de estudio. Esta clasificación de riesgo se ha visualizado mediante una escala de colores, facilitando la interpretación de los niveles de peligro asociados a diferentes áreas.

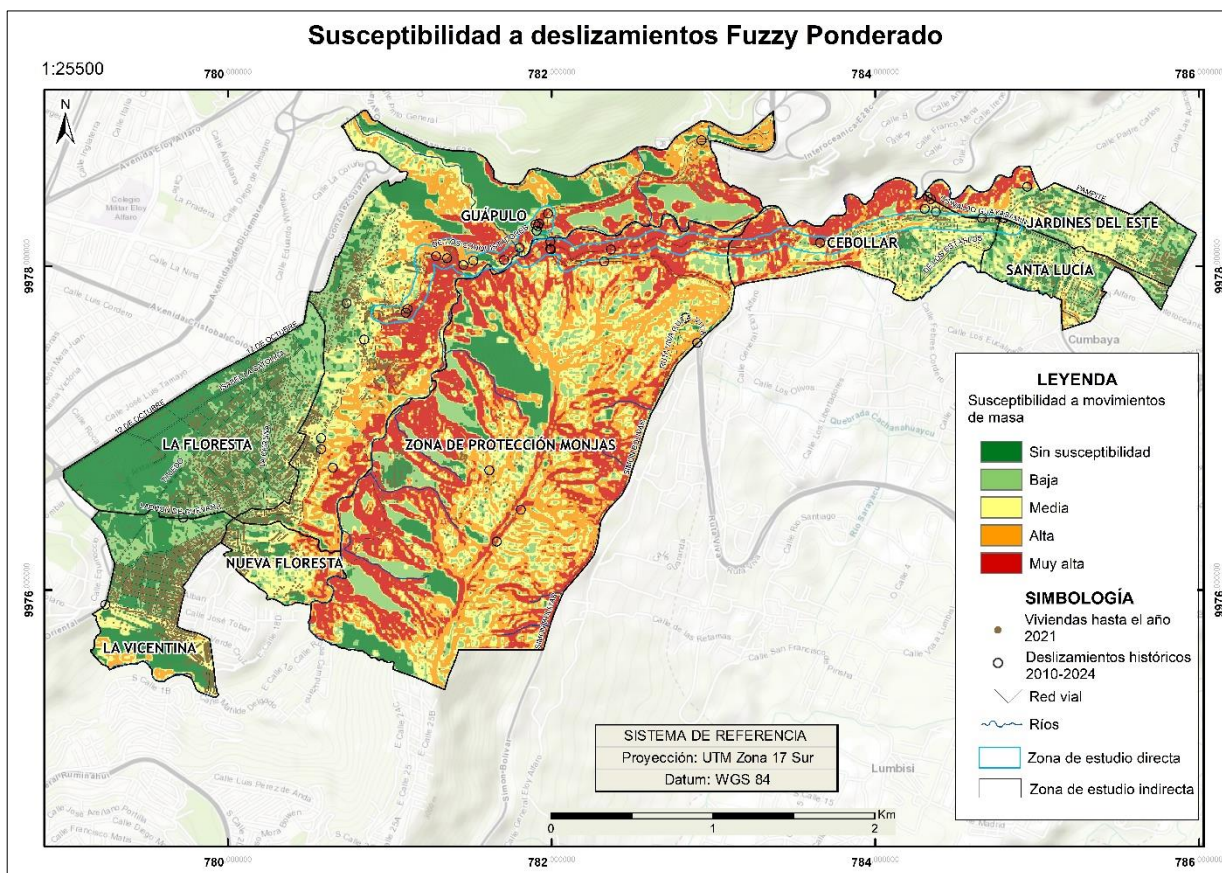
Tabla 10 Zonificación de susceptibilidad a deslizamiento de acuerdo al modelo de lógica difusa

Función de membresía Fuzzy	Descripción nivel de susceptibilidad	Escala de color
0,342 - 0,648	SIN SUSCEPTIBILIDAD	
0,649 - 0,735	BAJA	
0,736 - 0,814	MEDIA	
0,815 - 0,866	ALTA	
0,866 <	MUY ALTA	

El estudio presentado articula el uso de la metodología Fuzzy combinada con una evaluación multicriterio para generar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos. Los hallazgos indican que, dentro del AEI, el 29.09% del territorio presenta una susceptibilidad muy alta a deslizamientos, seguido por un 24.04% con susceptibilidad alta, un 20.24% con susceptibilidad media, un 19.79% con susceptibilidad baja, y un 6.84% con susceptibilidad nula. En contraste, el AED muestra que un 49.87% del área tiene una susceptibilidad muy alta, el 28.50% una susceptibilidad alta, el 14.38% una susceptibilidad media, el 6.02% una susceptibilidad baja, y apenas un 1.24% una susceptibilidad nula a deslizamientos. Estos resultados muestran una correlación significativa con la distribución espacial de los registros históricos de eventos de

deslizamientos en el área, que abarcan desde el año 2010 hasta el 2024, según datos de la Secretaría de Gestión de Riesgos

Figura 19 Mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la metodología Fuzzy



Fuente. Autor

1.5. ANÁLISIS DE POBLACIÓN AFECTADA

De acuerdo al censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el año 2022, el número promedio de miembros de los hogares ecuatorianos es de 3,2 personas (a diferencia de 4,2 en 2001 y 3,8 en 2010) (INEC, 2023). Por lo cual se comparó el número de viviendas existentes hasta el año 2021 en nuestra zona de estudio con el tamaño promedio de una familia, para entender la magnitud del riesgo que corre la población en el caso de que se presenten los deslizamientos modelados. Se analizó respecto a la AEI, de acuerdo al barrio, tomando en cuenta la susceptibilidad media, alta y muy alta, cabe recalcar que se pueden presentar estos movimientos desde el nivel de susceptibilidad baja, pero para esta observación solo se tomó en cuenta las peores condiciones (Tabla 11), donde se reveló una variabilidad significativa en la

susceptibilidad a deslizamientos entre distintos barrios, destacando a Guápulo como el más afectado con 2217.6 miembros de la comunidad impactados, contrastando con La Floresta, que presentó el menor número de afectados (236.8). Estos resultados sugieren que la topografía, el uso del suelo y las actividades humanas influyen notablemente en la vulnerabilidad de las áreas urbanas a deslizamientos. Cabe recalcar que este análisis es global en función de las personas, pero si nos fijamos en que barrio sería el más afectado sería la Zona de protección de Monjas como se puede observar en la Figura 27.

Tabla 11 Personas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por un deslizamiento.

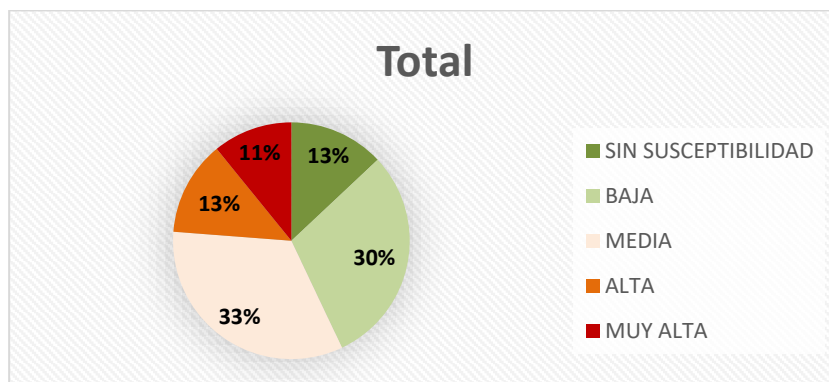
BARRIO	POBLACIÓN AFECTADA
CEBOLLAR	688
GUÁPULO	2217,6
JARDINES DEL ESTE	374,4
LA FLORESTA	236,8
LA VICENTINA	902,4
NUEVA FLORESTA	390,4
SANTA LUCÍA	316,8
ZONA DE PROTECCIÓN MONJAS	592

1.5.1.Barrio-Cebollar

Tabla 12 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Cebollar

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	34
BAJA	66
MEDIA	143
ALTA	42
MUY ALTA	30
Total general	315

Figura 20 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Cebollar

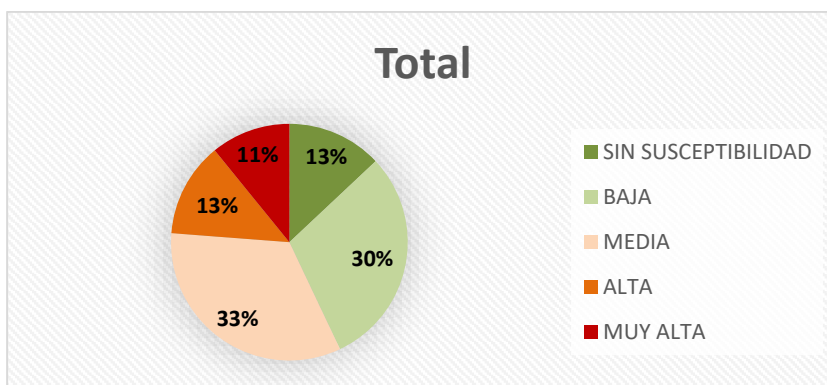


1.5.2.Barrio-Guápulo

Tabla 13 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por deslizamiento en el barrio Guápulo

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	158
BAJA	364
MEDIA	404
ALTA	157
MUY ALTA	132
Total general	1215

Figura 21 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Guápulo

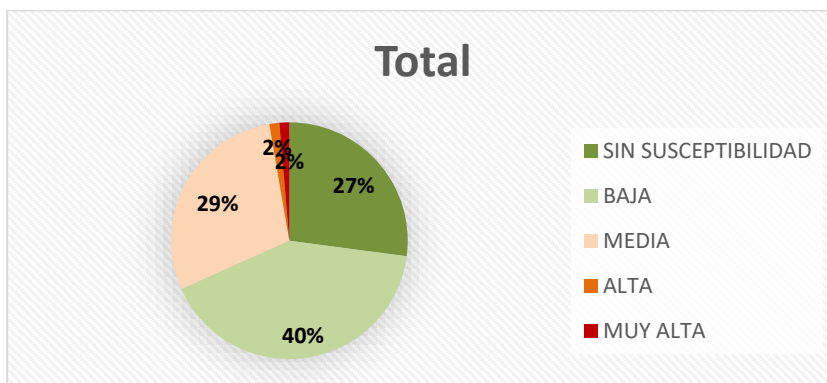


1.5.3.Barrio-Jardines del Este

Tabla 14 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por deslizamientos en el barrio Jardines del Este

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	100
BAJA	152
MEDIA	107
ALTA	5
MUY ALTA	5
Total general	369

Figura 22 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Jardines del Este

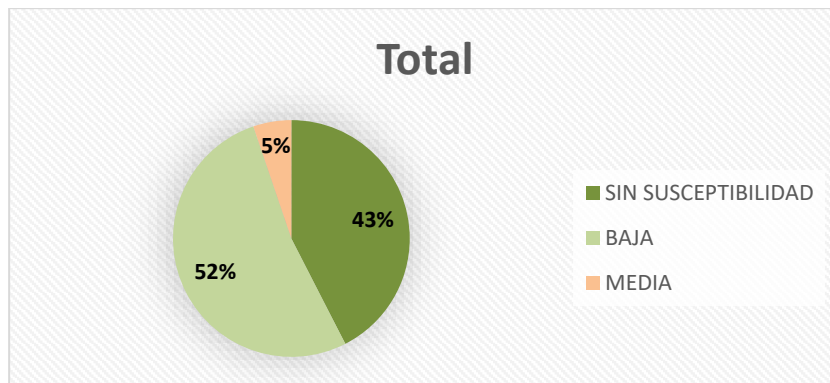


1.5.4.Barrio-La Floresta

Tabla 15 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio La Floresta

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	603
BAJA	743
MEDIA	74
Total general	1420

Figura 23 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - La Floresta

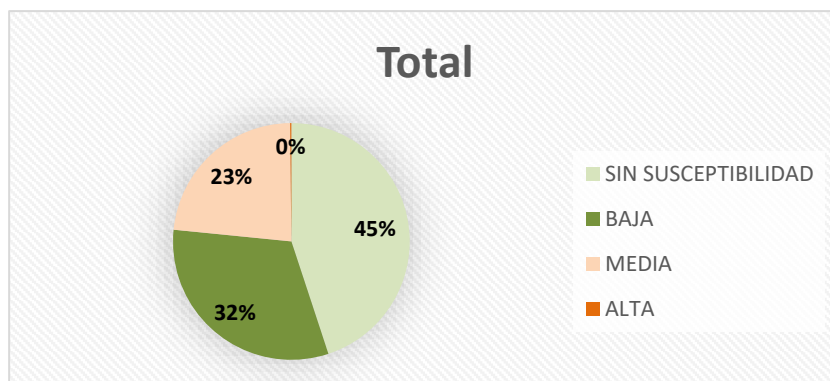


1.5.5.Barrio-La Vicentina

Tabla 16 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio La Vicentina

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	541
BAJA	381
MEDIA	280
ALTA	2
Total general	1204

Figura 24 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - La Vicentina

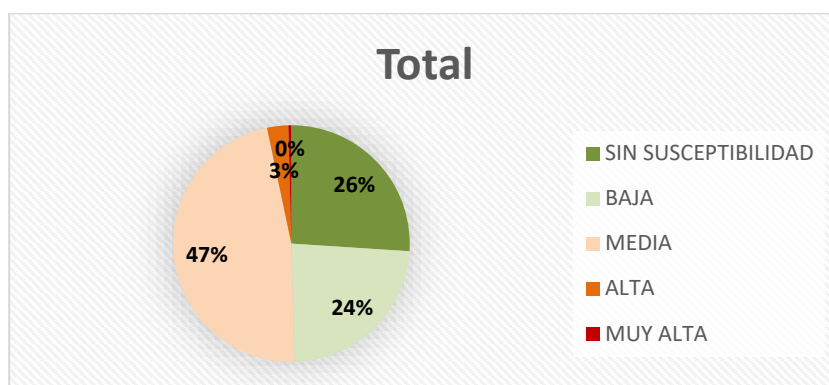


1.5.6.Barrio-Nueva Floresta

Tabla 17 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Nueva Floresta

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	63
BAJA	57
MEDIA	114
ALTA	7
MUY ALTA	1
Total general	242

Figura 25 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Nueva Floresta

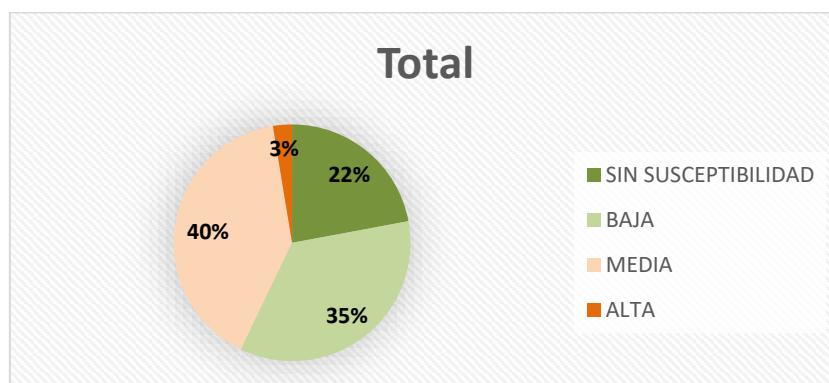


1.5.7.Barrio-Santa Lucía

Tabla 18 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en el barrio Santa Lucía

SUSCEPTIBILIDAD	VIVIENDAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	51
BAJA	81
MEDIA	93
ALTA	6
Total general	231

Figura 26 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Santa Lucía

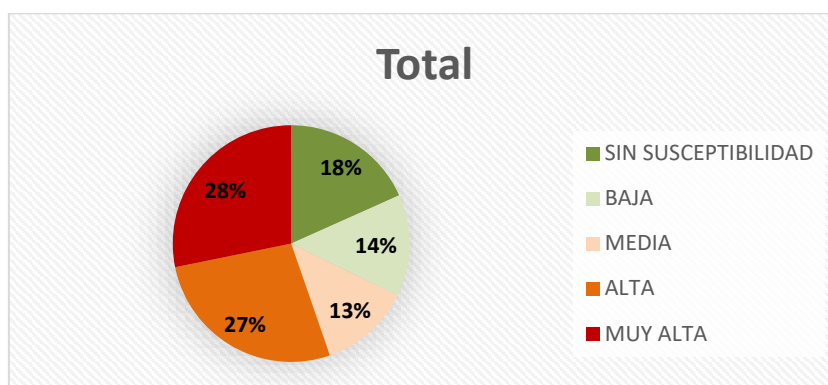


1.5.8. Zona de Protección Monjas

Tabla 19 Viviendas susceptibles a sufrir afectaciones por el deslizamiento en la Zona de protección Monjas

SUSCEPTIBILIDAD	MONJAS
SIN SUSCEPTIBILIDAD	50
BAJA	38
MEDIA	34
ALTA	74
MUY ALTA	77
Total general	273

Figura 27 Análisis de viviendas en función a su susceptibilidad - Zona de protección Monjas



1.6. ANÁLISIS DEL MODELO SEGÚN EL USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Los polígonos de intervención territorial (PIT) son áreas definidas por planes de gestión del suelo, considerando características geomorfológicas, ambientales, urbanísticas y socioeconómicas para aplicar tratamientos adecuados y normativas de aprovechamiento (MIDUVI, 2018). Por lo cual se vio necesario realizar un análisis respecto al tratamiento urbanístico de los PITs y el modelo de susceptibilidad planteado (Tabla 15), cabe recalcar que el AEI se encuentra clasificado como territorio rural y Urbano.

Análisis de los tratamientos de los PITs:

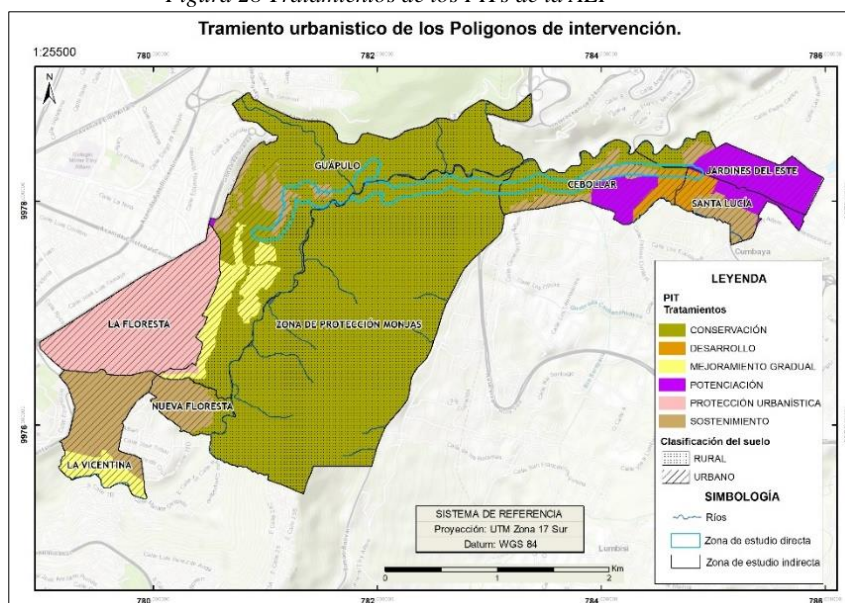
- Conservación: ubicado en su mayoría en la clasificación de suelo rural, cuyo objetivo es conservar y precautelar el alto valor histórico, paisajístico y ambiental (Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda, 2021), tiene el 42.74% de su territorio con una susceptibilidad muy alta a deslizamientos. Y tan solo el 0.89% no es susceptible.

- **Desarrollo:** este tratamiento está en suelo urbano y nos indica que requiere de mejoras de infraestructura y servicios públicos para integrarse a la estructura urbana existente (Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda, 2021) .Se evidencia que el 45.77% de su área tiene una susceptibilidad media, seguida por el 30.78% con una susceptibilidad alta y el 20.91% con susceptibilidad media.
- **Mejoramiento Gradual:** ubicado en suelo urbano, nos indica que presentan requerimientos de intervención como mejora y mantenimiento en la cobertura de los servicios públicos de soporte y equipamientos (Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda, 2021) .Prepondera su área en el apartado de susceptibilidad media con 33.75% seguido por una susceptibilidad alta y nula cuyos porcentajes son respectivamente 24.61% y 20,91%
- **Potenciación:** pertenece al suelo urbano y en este PIT se busca fortalecer los procesos de transformación y que tienen las condiciones para adaptarse a las nuevas demandas en relación a proyectos estratégicos como el Metro de Quito,etc (Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda, 2021) .La mayoría de su territorio se encuentra en una susceptibilidad media con 47.30% , seguida por una susceptibilidad baja del 26.66% , cabe recalcar que solo tiene el 0.06% de su área en susceptibilidad muy alta.
- **Protección Urbanística:** su objetivo es preservar los conjuntos urbanos sin valor patrimonial para mantener su armonía morfológica y paisajística. Este es el PIT de menos riesgo en el AEI, ya que el 42.27% de territorio tiene una susceptibilidad baja seguida por una susceptibilidad nula del 529.66%, cabe recalcar que es la única área que no presenta una zona de su7sceptibilidad muy alta.
- **Sostenimiento:** este tratamiento es asignado a PITs consolidados con alta densidad y servicios, manteniendo equilibrio entre uso, edificación y sistemas públicos de soporte, garantizando homogeneidad morfológica y normativas adecuadas (Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda, 2021). El 33.51% de su área se encuentra en susceptibilidad media seguida por el 23.81% que se encuentra en la categoría de susceptibilidad alta y como menor porcentaje en un 7.30% en susceptibilidad muy alta.

Tabla 20 Relación entre tratamientos urbanos y modelo de deslizamientos

TRATAMIENTO	SUSCEPTIBILIDAD	% POR TRATAMIENTO
CONSERVACIÓN	Sin susceptibilidad	0,888
	Baja	15,757
	Media	12,324
	Alta	28,295
	Muy alta	42,736
DESARROLLO	Sin susceptibilidad	3,322
	Baja	19,967
	Media	45,771
	Alta	30,775
	Muy alta	0,164
MEJORAMIENTO GRADUAL	Sin susceptibilidad	20,912
	Baja	7,835
	Media	33,748
	Alta	24,613
	Muy alta	12,892
POTENCIACIÓN	Sin susceptibilidad	5,062
	Baja	26,657
	Media	47,304
	Alta	20,919
	Muy alta	0,058
PROTECCIÓN URBANÍSTICA	Sin susceptibilidad	29,656
	Baja	42,247
	Media	28,069
	Alta	0,027
	SOSTENIMIENTO	Sin susceptibilidad
	Baja	21,774
	Media	33,508
	Alta	23,810
	Muy alta	7,298

Figura 28 Tratamientos de los PITs de la AEI



Fuente. Autor

VI. CONCLUSIONES

El Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) actualmente implementado presenta deficiencias significativas en la incorporación de criterios de gestión de riesgos y vulnerabilidades, lo cual compromete su efectividad. Esta generalización en el tratamiento del uso del suelo sin una diferenciación adecuada en función de los desastres socio-naturales, puede resultar en decisiones que exponen a las comunidades a peligros innecesarios. Es imprescindible que se adopte un enfoque más centrado a nivel del detalle que brinda el modelo y que contemple la diversidad geográfica y las particularidades de cada área. Esto permitirá implementar estrategias de mitigación más precisas y efectivas, asegurando un desarrollo territorial seguro y sostenible.

Los resultados destacan la urgencia de una política pública participativa en gestión de riesgos, integrando a la ciudadanía en los planes de ordenamiento territorial. Esto garantizará una protección efectiva y adaptada a la vida de los habitantes, promoviendo una cultura de prevención y resiliencia ante deslizamientos y otros desastres socio-naturales.

Los deslizamientos históricos desde el año 2010 hasta el 2024 proporcionados por la Secretaría de Gestión de Riesgos permitió conocer la realidad del terreno de una manera precisa, mediante lo cual se logró comprobar el modelo con cada uno de los puntos, dando

una idea clara de la veracidad de los resultados y pudiendo corroborar cuales fueron las variables que más influyeron en el modelo.

La selección y ponderación de variables para el estudio de deslizamientos, llevada a cabo mediante la consulta a ocho especialistas en gestión de riesgos y utilizando el método jerárquico de Saaty, identificó que la variable más crítica es la pendiente del terreno, ya que mostró la correlación más significativa con la ocurrencia de deslizamientos, especialmente en zonas con inclinaciones abruptas que varían de 35° a mayores de 45°, destacándose como uno de los principales factores desencadenantes. La normalización de estos datos facilitó la creación de un modelo robusto, utilizando también la metodología de fuzzy ponderada, para comprender y gestionar eficazmente los riesgos asociados con los deslizamientos en el área de estudio.

El nivel de susceptibilidad a deslizamientos en la Av. Conquistadores en el tramo Guápulo-Tumbaco varía en su mayoría entre alta y muy alta, donde los sectores más críticos se ubican en los barrios: Guápulo y el Cebollar por su densidad demográfica, cabe recalcar que el área que tiene una probabilidad más alta a deslizamientos es la zona de Protección de Monjas, por su extensión. Un análisis preventivo de las zonas descritas, evitaría pérdida de vidas, costos de mantenimiento y estabilización futura.

Considerando los valores presentados por el INEC respecto a la cantidad promedio de miembros por hogar, se estimó un aproximado de 2218 personas en el barrio de Guápulo que podrían verse afectadas ante posibles deslizamientos siendo este el barrio con mayor incidencia seguido del barrio la Vicentina y el barrio el Cebollar con un aproximado de 903 y 688 personas afectadas, estos valores nos dan una alerta sobre a donde se deben dirigir los planes de ordenamiento territorial a fin de que ayuden a mitigar los posibles daños ocasionados por deslizamientos.

La aplicabilidad de la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos en el tramo Guápulo-Tumbaco trasciende hacia una valiosa utilidad en la esfera de la planificación urbana y la ejecución de proyectos infraestructurales estratégicos, específicamente en el ámbito de corredores viales. Esta herramienta se erige como un instrumento esencial al permitir la identificación de áreas potencialmente vulnerables que van más allá de las zonas

históricamente reconocidas como tales. Así, se establece un fundamento primordial para la planificación inteligente de las ciudades hacia un desarrollo sostenible.

El modelo nos permitió entender la importancia de combinar metodologías analíticas avanzadas y Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la gestión del riesgo de deslizamientos. La utilización de técnicas como la lógica difusa y el análisis multicriterio ha permitido mejorar la precisión en la predicción de deslizamientos, contribuyendo así a la seguridad y bienestar de las comunidades. Los hallazgos subrayan la necesidad de un enfoque holístico que integre la gestión de fenómenos con la planificación urbana.

VII. RECOMENDACIONES

La metodología Fuzzy combinada con análisis multicriterio tendría una mejor correlación, si la información base de cada factor proporcionada por las entidades competentes, estuviera actualizada, validada y a escalas de mayor precisión.

La actividad antropogénica en la región se destaca por la construcción de infraestructuras viales, edificaciones residenciales y actividades agrícolas, las cuales contribuyen al incremento de la susceptibilidad a deslizamientos. Por ende, se aconseja al Municipio de Quito, llevar a cabo una actualización integral de los análisis de uso del suelo, incorporando de manera explícita la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos. Esta acción se plantea con el propósito de respaldar estrategias efectivas de planificación urbana y territorial, permitiendo un ordenamiento adecuado que considere de manera precisa la amenaza de deslizamientos y favorezca un desarrollo sostenible y resiliente en la región concernida.

Se recomienda usar las metodologías propuestas en esta investigación para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos en otras zonas del Ecuador y no solo aplicado a vías, pues muestra resultados fiables en cuanto a la predicción de estos eventos negativos.

Es factible utilizar los mapas de este artículo científico para la planificación territorial futura del MDMQ y sus debidas obras de mitigación y prevención de riegos, con esto se tiene una noción clara de la situación de vulnerabilidad y peligro de esta zona de estudio.

Se sugiere que el Municipio de Quito implemente y refuerce mecanismos de fiscalización más rigurosos para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de construcción en áreas con alta susceptibilidad a deslizamientos. Esta medida es crucial para prevenir y mitigar riesgos potenciales, minimizando así las consecuencias adversas tanto humanas como económicas.

Se recomienda realizar una revisión y actualización detallada del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) para incorporar un análisis de riesgo exhaustivo que forme la base para las decisiones de planificación territorial. Este análisis debe incluir la evaluación de vulnerabilidades y riesgos asociados a cada zona, permitiendo así una gestión más eficaz y específica del uso del suelo, orientada hacia la minimización de impactos adversos en situaciones de emergencia y la optimización de la resiliencia urbana y rural.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Publica de Noticias Quito. (2011). *Territorio: Avanzan las medidas de seguridad en Guápulo. Noticias Quito*. Quito. Obtenido de http://www.noticiasquito.gov.ec/Noticias/news_user_view/avanzan_las_medidas_de_seguridad_en_guapulo--2753
- Álvarez, M., Esparza, C., Oñate, F., & Oñate, A. (2020). Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña: un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador. *Avances Investigación en Ingeniería*, 17. doi:10.18041/1794-4953/avances.2.6633
- APGRE. (2020). *Índice de riesgo ajustado a las competencias exclusivas municipales*. Ecuador.
- Aristizabal, E., & Yokota, S. (2005). GEOMORFOLOGÍA APLICADA A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN EL VALLE DE ABURRA. *DYNA*, 73(149). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614902.pdf>
- Consortio Vino Tinto y Oro. (2017). *Formulación POMCA río Luisa y otros directos al Magdalena*. Obtenido de https://cortolima.gov.co/images/POMCA/Rio_Luisa/IIIFase_de_Diagnostico/3.6%20PENDIENTES.pdf
- Coordinación Zonal 9 del SNGRE. (2021). *Los deslizamientos son el evento más predominante en Pichincha durante el 2019 al 2021, destacando el último año*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gov.ec/los-deslizamientos-son-el-evento-mas-predominante-durante-el-2019-al-2021-destacando-el-ultimo-ano/>
- Dahal, B. K., & Dahal, R. K. (2017). Landslide hazard map: tool for optimization of low-cost mitigation. *Geoenvironmental Disasters*, 4(8). doi:10.1186/s40677-017-0071-3.

- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. (10 de 03 de 1993). Capítulo 10. Evaluación del peligro de deslizamientos de tierra. Washington, D.C. Obtenido de www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch15.htm
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Washington, D.C. Obtenido de <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/oea65s.pdf>
- Dilley, M., Chen, R., Deichmann, W., Lerner-Lam, A., & Arnold, M. (2005). Natural disaster hotspots: a global risk analysis. *The World Bank*, .
- DW Global Media Forum. (21 de Junio de 2023). *Ecuador finaliza búsqueda de víctimas por deslave de Alausí*. Obtenido de <https://www.dw.com/es/ecuador-finaliza-b%C3%BAbsqueda-de-v%C3%ADctimas-por-deslave-de-alaus%C3%AD/a-65985029>
- El Comercio. (2018-2023). Avenida de los conquistadores. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tag/avenida-de-los-conquistadores/>
- García, F. (2007). *Balance de la última década: Tomo II (Vol. II)*. Quito, Pichincha, Ecuador: Ediciones Abya- Yala. Obtenido de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/50731.pdf>
- García, F. (2015). *Evaluación de infraestructuras para el impulso sostenible de la comarca de La Costera*. València, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59522/JUAN%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20infraestructuras%20para%20el%20impulso%20sostenible%20de%20la%20comarca%20de%20la%20costera.pdf>
- García, M. (2015). *ESTUDIO DEL DESARROLLO HISTÓRICO DEL BARRIO DE GÚAPULO Y TRANSFORMACIÓN DE SU PAISAJE: RECOMENDACIONES PARA UNA GESTIÓN URBANA SOSTENIBLE*. Quito. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8773/EstudioDesarrolloHistórico_y_TransformaciónPaisajeDeGuápulo_RecomendacionesParaGestiónUrbanaSoste.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gutiérrez, F., Linares, R., Roqué, C., Zarroca, M., Carbonel, D., Rosell, J., & Gutiérrez, M. (2015). “Large landslides associated with a diapiric fold in Canelles reservoir (Spanish Pyrenees): detailed geological–geomorphological mapping, trenching and electrical resistivity imaging”. *Geomorphology*, 224-242. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.04.016>
- INEC. (21 de Septiembre de 2023). *Ecuador creció en 2.5 millones de personas entre 2010 y 2022*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-crecio-en-2-5-millones-de-personas-entre-2010-y-2022/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20promedio%20de%20miembros,Pichincha%20son%20las%20provincias%20que>
- Maryam, I. (2011). A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 668-676.
- MIDUVI. (2018). *LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE SUELO: CONCEPTOS BÁSICOS*. Quito, Ecuador: Imprenta Editorial Ecuador.

- doi:https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/LOOTUGS-Conceptos-Basicos_oficial_8M.pdf
- Padilla, O. (2007). Fundamento teórico para modelización de variables ambientales mediante operadores difusos. *Geoespacial*, 4.
- Pereira ,et al. (2011). *Edafología 1*. Colombia: Universidad en el Campo. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Saaty, T. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. *Int. J.* (Vol. 1).
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 4, 9-26. doi:[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).
- Salcedo, et al. (2017). EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LÓGICA FUZZY Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR, QUITO. *GEOESPACIAL*, 14(2). Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/1604>
- Sarría, F. A. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Murcia. Obtenido de <http://fobos.inf.um.es/alonso/SIGCCAA/temario.pdf>
- Sassa, K., Mikoš, M., & Yin, Y. (2015). Advancing Culture of Living with Landslides. *Landslides*, 1, 631-640. doi:10.1007/978-3-319-59469-9
- Secretaria de Territorio Habitat y Vivienda. (2021). ANEXO No. 02 TRATAMIENTOS URBANÍSTICOS. Obtenido de https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202023-2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesi%C3%B3n%20047%20Ordinaria%202024-01-23/VI.%20IC-O-CUS-2023-026/Proyecto%20de%20ordenanza/ANEXO%2002_TRATAMIENTOS%20URBAN%C3%8DSTICOS.pdf
- SIGTIERRAS. (2016). *Modelo digital del terreno*. Obtenido de <http://www.sigtierras.gob.ec/descargas/>
- SNGR. (2023). *INFORME DE SITUACIÓN NACIONAL*. Recuperado el 2023 de 2023, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/06/SITREP-Nro.-104-Epoca-Lluviosa-01-01-2023-al-21-06-2023.pdf>
- Soeters, R., & Westen, C. V. (1996). *Slope instability recognition, analysis and zonation*. Washington, DC: A.K. Turner & R.L. Schuster.
- Terzaghi K. (1950). Mechanisms of landslides. *Berkeley*, 83-123.
- Varnes, D. J. (1958). Landslides types and processes. *E. B.*, 20-47.