



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS**

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA
SOSTENIBLES**

AUTOR: HUMBERTO MAURICIO ZHUNGUR APOLO

**MACHALA
2023**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA
SOSTENIBLES**

AUTOR: HUMBERTO MAURICIO ZHUNGUR APOLO

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL**

TUTOR: ING. LUIS ORDOÑEZ FERNÁNDEZ

**MACHALA
2023**

PENSAMIENTO

"Te voy a dar un talismán. Siempre que te asalten dudas o cuando el yo te resulte demasiado pesado, adopta el método siguiente:

Trata de recordar el rostro del hombre más pobre y desvalido que hayas conocido y pregúntate si lo que vas a hacer le puede resultar útil a ese individuo.

¿Podrá sacar de eso algún provecho? ¿Le devolverá cierto control sobre su vida y su destino? ¿En otras palabras, lo que vas a hacer contribuirá al Swaraj o autonomía de los millones de compatriotas que mueren de hambre material y espiritual?

Encontrarás así que tus dudas y tu yo se disipan."

Mahatma Gandhi
(De una carta a un amigo)

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, Mireya y Mauricio, el motor de mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Técnica de Machala, por haberme aceptado ser parte de ella y haber abierto las puertas de su claustro científico y estudiar en este excelente programa de maestría; a sus docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir día a día en la búsqueda de nuevos horizontes.
- Al Sr. Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, coordinador del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, por su orientación permanente en la organización de las actividades académicas y logísticas
- Al Sr. Ing. Luis Ordoñez Fernández, tutor de este trabajo de titulación, por su capacidad y oportuna orientación en el desarrollo de esta investigación.
- A los compañeros de la Maestría por sus aportes brindados en las clases y tareas, que me han permitido acrecentar mi amistad y apoyo moral en esta etapa de nuestras vidas.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusiones y propuesta emitidos en este informe del trabajo de investigación titulado “METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA SOSTENIBLES”, son de exclusiva responsabilidad del autor.



HUMBERTO MAURICIO ZHUNGUR APOLO

C.I. 070284701-3

Machala, 2023/07/13

REPORTE DE SIMILITUD

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA SOSTENIBLES” elaborado por el Ing. Humberto Mauricio Zhungur Apolo, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.



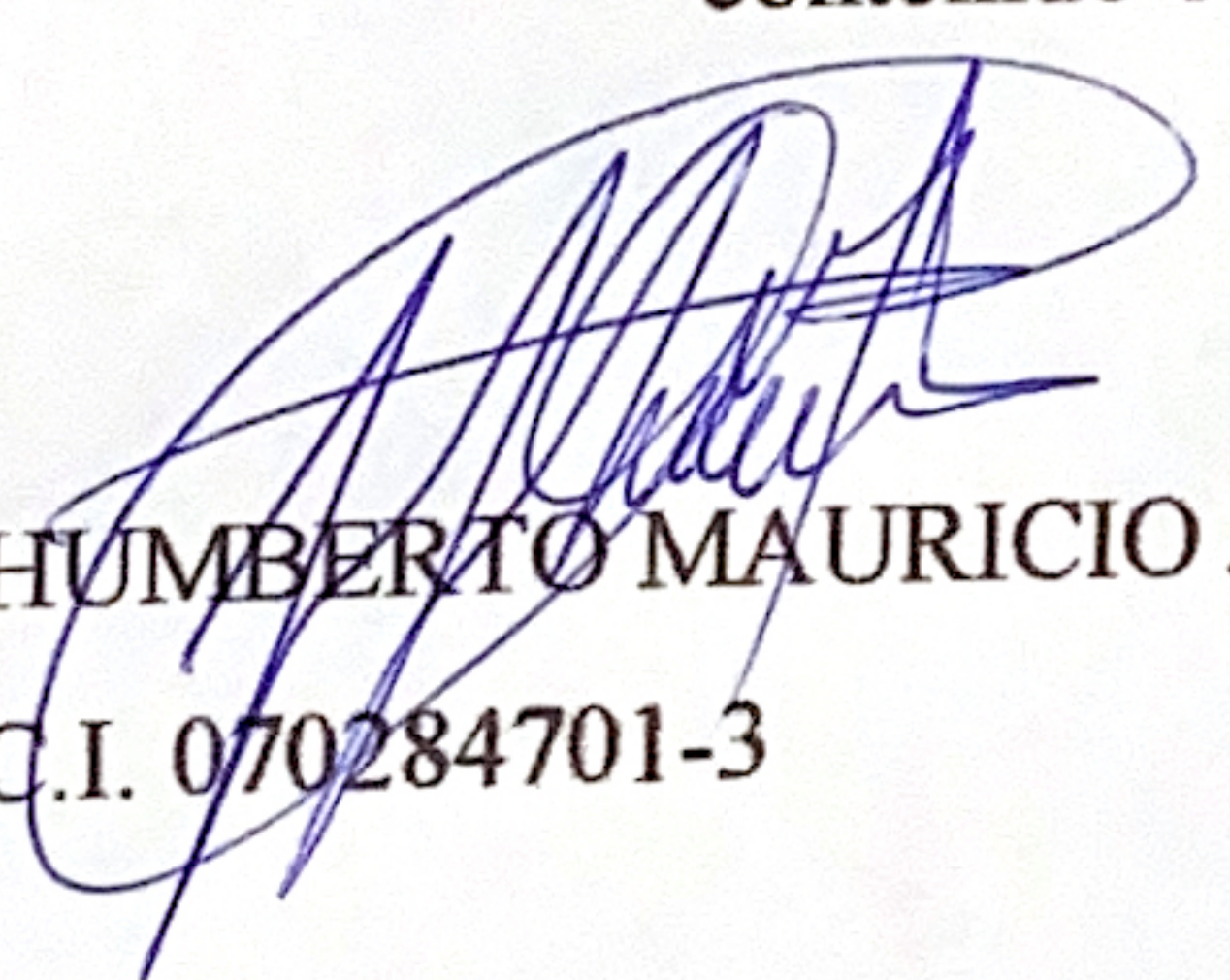
ING. LUIS ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ
C.C/070383064-6

Machala, 2023/07/13

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. Humberto Mauricio Zhungur Apolo, con cédula de ciudadanía No. 070284701-3, autor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA SOSTENIBLES”, en opción al título de Magister en Ingeniería Civil, mención Vialidad, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí escrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a) Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional
 - b) Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.


HUMBERTO MAURICIO ZHUNGUR APOLO
C.I. 070284701-3

Machala, 2023/07/13

RESUMEN

La presente investigación se basa en desarrollar una metodología que permita evaluar taludes, mediante el uso de herramientas tecnológicas, para carreteras de montaña, específicamente conocer las metodologías que se han implementado en Ecuador y el mundo con un enfoque en la gestión de riesgos. Por lo tanto, el problema de investigación se plantea en; ¿cómo la evaluación de taludes evita el deterioro de las carreteras de montaña? Siendo su objetivo, identificar factores y herramientas tecnológicas que permita generar una metodología para la evaluación de taludes que eviten el deterioro de carreteras de montaña.

La temática es novedosa, si se considera el uso de medios tecnológicos de última generación, para la obtención y procesamiento de datos a través de sistemas de información geográfica.

Se fundamenta en artículos científicos actualizados, que tienen como objeto de estudio la evaluación de taludes y carreteras de montaña, la metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación es de carácter descriptiva, proponiendo un diseño de tipo no experimental; con un enfoque cuali-cuantitativo, que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos, la recolección de información será documental en fichas nemotécnicas, mapas de riesgos, guías de observación y listas de cotejo.

Se pretende concluir en conceptos y criterios contextualizados a la realidad de la Red Vial E585 – Zaracay – Piñas; para obtener una metodología de evaluación de taludes mediante herramientas tecnológicas para carreteras de montaña; con un enfoque en la gestión de riesgos y el uso de sistemas de información geográfica en la sistematización de este proceso; lo que permitirá obtener una ponderación a susceptibilidad de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de la zona de estudio.

Como se mencionó, la presente investigación se aplica a carreteras de montaña, concretamente, a la Red Vial E585 – Zaracay – Piñas, ubicada en la Provincia de El Oro, en Ecuador. La importancia de este estudio, radica en que podemos seleccionar un área

de nuestro territorio y emplear la metodología que nos permite obtener escenarios para mejorar la gestión de los riesgos.

Palabras claves: Evaluación de taludes, carreteras de montaña, amenazas, vulnerabilidad, riesgo, deslizamientos, mapas de riesgo, Sistema de Información Geográfica, SIG.

ABSTRACT

This research is based on the evaluation of slopes, through technological tools, for mountain roads, specifically knowing the methodologies that have been implemented in Ecuador and the world with a focus on risk management. Therefore, the research problem arises in; How does slope assessment avoid deterioration of mountain roads? Being its objective, to identify factors and technological tools for the evaluation of slopes that avoid the deterioration of mountain roads.

The subject is novel, considering the use of state-of-the-art technological means to obtain and process data through geographic information systems.

It is based on updated scientific articles, whose object of study is the evaluation of slopes and mountain roads, the methodology proposed for the development of this research is descriptive, proposing a non-experimental design; With a qualitative-quantitative approach, which allows for qualitative and quantitative analyzes, the collection of information will be documentary in mnemonic sheets, risk maps, observation guides and checklists.

It is intended to conclude on concepts and criteria contextualized to the reality of the Road Network, E585 - Zaracay - Piñas; to obtain a slope evaluation methodology using technological tools for mountain roads; with a focus on risk management and the use of geographic information systems in the systematization of this process; which will allow obtaining maps of threats, vulnerabilities and risks; from the study area.

As mentioned, this research is applied to mountain roads, specifically, the E385 Road Network - Zaracay - located in the Province of El Oro - Ecuador. The importance of this study lies in the fact that we can select an area of our territory and use the methodology that allows us to obtain scenarios to improve risk management.

INDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
HIPÓTESIS.....	15
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.1.1 Antecedentes Históricos	16
1.1.2 Antecedentes Conceptuales y Referenciales	17
1.1.3 Antecedentes Contextuales.....	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	23
2.1 Modalidad de la Investigación.....	23
2.1.1 Enfoque	23
2.1.2 Paradigma	23
2.2 Nivel o Tipo de Investigación.....	23
2.2.1 Tipo Exploratorio	23
2.2.2 Tipo Descriptivo	23
2.3 Población y Muestra	24
2.3.1 Población.....	24
2.3.2 Muestra.....	24
2.4 Métodos con los Materiales Utilizados	24
2.4.1 Método Teórico	24
2.4.2 Método Empírico	25
2.5 Operación de Variables.....	26
2.5.1 Variable Dependiente	26
2.5.2 Variable Independiente.....	28
2.6 Plan de Recolección de la Información.....	29
2.7 Plan de Procesamiento de la Información.....	29
CAPITULO III. PROPUESTA METODOLÓGICA.....	30
3.1 Criterios de evaluación de taludes.....	30
3.2 Análisis del área de estudio.....	35
3.2.1 Análisis topográfico.....	35
3.2.2 Uso/cobertura de suelo.....	35

3.2.3 Precipitación.....	37
3.2.4 Litología.....	38
CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.1 Inspección visual y bibliográfica.	40
Topografía del suelo.	40
Uso/cobertura de suelo.	40
Precipitación	40
Litología	40
4.2 Detección de vulnerabilidad.....	41
4.3 Resultados.....	42
CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	48

LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Figura No. 1: Nomenclatura de taludes y laderas.

Figura No. 2: Mapa de localización del área de estudio directa.

Figura No. 3: Función de pertenencia curva Seno, rango de 0 a $\pi/2$ radianes.

Figura No. 4: Función de pertenencia curva Coseno, rango de 0 a $\pi/2$ radianes.

Figura No. 5: Elevación (m) de la carretera Zaracay – Piñas.

Figura No. 6: Uso de suelo de la carretera Zaracay – Piñas.

Figura No. 7: Mapa de Isoyetas.

Tabla No. 1: Variable Dependiente de la Metodología de Evaluación de Taludes.

Tabla No. 2: Variable Independiente de la Metodología de Evaluación de Taludes.

Tabla No. 3: Listado de factores usados en la metodología del estudio.

Tabla No. 4: Funciones de pertenencia de los factores de estudio.

Tabla No. 5: Matriz comparación por pares y vector propio principal normalizado para los factores causantes de deslizamientos según se requiera para aplicar el método AHP.

Tabla No. 6: Análisis jerárquico de factores causales.

Tabla No. 7: Ponderación de cobertura vegetal (26).

Tabla No. 8: Ponderación de litología.

Tabla No. 9: Análisis jerárquico de factores causales.

Tabla No. 10: Zonificación de susceptibilidad a deslizamiento de tierras.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TALUDES MEDIANTE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CARRETERAS DE MONTAÑA SOSTENIBLES.

INTRODUCCIÓN

Existen procesos geodinámicos que producen afectaciones a la superficie terrestre, dando lugar a movimientos de tierras en diferente magnitud que pueden llegar a afectar de manera directa o indirecta las actividades de los humanos (Abellán – Jaboyedoff - Oppikofer - Vilaplana, 2009).

En varias ciudades del mundo las fallas de taludes en zonas urbanas son varias y numerosas, por lo que resulta un gran desafío encontrar una determinación correcta de niveles de seguridad de las laderas, el cálculo de probabilidad de falla y tomar decisiones acertadas basadas en los riesgos (Oliva, 2021).

Los fenómenos suelen producirse por varias condiciones como la erosión, disolución, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y precipitaciones, lo que causa los deslizamientos, desprendimientos, coladas, derrubios, aterramientos, hundimientos, subsidencias, etc. Dichos movimientos de tierra son las consecuencias de la dinámica del medio geológico y evolución natural del planeta; también pueden ser provocadas por el hombre al modificar las condiciones naturales del medio, causando desastres naturales y cuantiosas pérdidas humanas y económicas (Abellán – Jaboyedoff – Oppikofer - Vilaplana, 2009).

Los movimientos de taludes son identificados como fenómenos geodinámicos peligrosos que son asociados a catástrofes naturales, donde se pretende evaluarlos para ser incluidos en procesos de ordenamientos territoriales, definición de usos de suelos y limitaciones sobre ellos, de esta manera integrando completamente a una temática de riesgos e incluirla en proyectos de planificación (González de Vallejo, 1988).

Los deslizamientos de taludes son movimientos de masas de suelo o roca con respecto al sustrato, asentadas en una o varias superficies de rotura cuando se supera la resistencia al corte de las superficies. Dichas masas por lo general se desplazan en conjunto, como una

unidad en su recorrido de velocidad variable, de procesos rápidos y grandes volúmenes (Plaza, 2013).

El movimiento más frecuente en las laderas son aquellos que se generan por procesos gravitacionales, adoptando pendientes naturales buscando el equilibrio ante el cambio de condiciones. De esta manera, los movimientos de taludes son reajustes del terreno con el fin de conseguir un equilibrio morfológico ante un cambio (Azañón – Lamas, 2015).

El presente trabajo de titulación se basa en la elaboración de una metodología para la evaluación de taludes, mediante herramientas tecnológicas para carreteras de montaña, específicamente conocer las diferentes metodologías que se han implementado en Ecuador y el mundo con un enfoque en la gestión de riesgos. Por lo tanto, el problema de investigación se plantea en; ¿cómo la evaluación de taludes evita el deterioro de las carreteras de montaña? Siendo su objetivo, elaborar una metodología que permita evaluar taludes, utilizando herramientas tecnológicas que eviten el deslizamiento de tierra y deterioro de carreteras de montaña.

La temática es novedosa, si se considera el uso de medios tecnológicos de última generación, para la obtención y procesamiento de datos a través de sistemas de información geográfica.

La investigación se fundamenta en artículos científicos actualizados, que tienen como objeto de estudio la evaluación de taludes y carreteras de montaña, la metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación es de carácter descriptiva, proponiendo un diseño de tipo no experimental; con un enfoque cuali-cuantitativo, que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos, la recolección de información será documental en fichas nemotécnicas, mapas de riesgos, guías de observación y listas de cotejo.

Se pretende concluir en conceptos y criterios contextualizados a la realidad de la Red Vial E585 – Zaracay – Piñas; para obtener una metodología de evaluación de taludes mediante herramientas tecnológicas para carreteras de montaña sostenible; con un enfoque en la gestión de riesgos y el uso de sistemas de información geográfica en la sistematización de este proceso; lo que permitirá obtener mapas de amenazas, vulnerabilidades y riesgos; de la zona de estudio.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

Desarrollar una metodología para evaluar taludes mediante el uso de herramientas tecnológicas para carreteras de montaña sostenibles basada en información obtenida mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo, que permita tomar medidas preventivas ante un posible deslizamiento.

Objetivos Específicos:

- Indagar teórica y conceptualmente estudios necesarios para la evaluación de taludes que eviten el deterioro de las carreteras de montaña.
- Determinar los factores aplicables en la evaluación de taludes que eviten el deterioro de las carreteras de montaña, Red Vial E-585, Zaracay – Piñas.
- Elaborar una metodología de evaluación de taludes mediante herramientas tecnológicas para carreteras de montaña sostenibles.

HIPÓTESIS

Si se identifican los factores del movimiento de laderas mediante la utilización de herramientas tecnológicas, tomando en cuenta el deterioro de las carreteras de montaña y el perjuicio a las comunidades, entonces se podrá elaborar una metodología para la evaluación de taludes que permita conservar carreteras de montaña de excelente calidad.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Históricos

El macizo central de los Picos de Europa, debido a su localización geográfica es un lugar propicio para desarrollar procesos periglaciares por encontrarse en la Cordillera Cantábrica, con cumbres de más de 2.600 m, sus condiciones climáticas y morfodinámicas. Hernández Pacheco en 1959, indica que los taludes y conos de derrubios de mayor desarrollo, activos y la combinación de frentes de cabalgamiento con fracturas permite la trituración de paredes que son sensibles tanto a la gelifracción como a procesos de distensión o gravitacionales (Serrano – González, 2004).

A partir del siglo XX, el impacto de movimiento de taludes han incrementado de manera considerable por la expansión de los asentamientos urbanos y los eventos meteorológicos que ocurren paulatinamente. Los Servicios Geológicos de Europa comprobaron que el grado de integración en la ordenación y planificación del territorio de los peligros geológicos y movimientos de laderas es muy variable entre los países europeos (Herrera – Mateos – García – Alonso - Hernández Ruiz - Pere & González, 2017).

En Colombia, específicamente en los municipios de Pereira y Dosquebradas, han sido descritas históricamente de gran susceptibilidad a los fenómenos de remoción de masas e inestabilidad de taludes que se encuentran relacionados con las condiciones topográficas, morfométricas, hidrológicas, geológicas y climáticas, uso de suelo y aumento de la población, siendo así la gestión del riesgo generado por dichos fenómenos es responsabilidad de las autoridades locales, desarrollando planificaciones para la mitigación del riesgo y atención de desastres, estudio de zonas y sensibilidad por fenómenos de remoción de masa (Quinteros – Ovallos, 2018).

Al norte del municipio de Santander, Colombia, un gran porcentaje de su paisaje son zonas montañosas de grandes e inestables pendientes debido a la presencia de la cordillera oriental y el régimen de lluvias en épocas de invierno, logrando alcanzar una precipitación de 3500 mm anuales en zonas selváticas y 500 mm en los valles y montañas. Son varias

las tragedias que se presentan en el municipio, reportándose muertes de personas debido a los deslizamientos y bloqueos de vías importantes dentro de la región (Caicedo, 2018).

Debido a la ubicación geográfica de Perú, en la que presenta una geomorfología muy accidentada, combinados con aspectos geológicos, hidrológicos y sísmicos de las diferentes zonas vulnerables a desastres naturales, que se presentan de manera constante causando pérdidas económicas y humanas, por lo que se han realizado diversos estudios con la finalidad de comprender el manejo de deslizamientos y las probabilidades de fallas de los taludes, utilizando conceptos básicos como consecuencias, peligros y vulnerabilidad (García – Aristizábal – Marín – Guzmán, 2019).

En la zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito, en la Quebrada Shanshayacu, los moradores de barrios cercanos al margen de la quebrada, presenciaron en el 2014 deslizamientos de taludes en el que se vieron afectadas viviendas y vías, obstruyendo el paso vehicular y pérdidas económicas significativas, solicitando la asistencia de la Administración Zonal de Quitumbe y la presencia de la Secretaría de Gestión de Riesgos del Distrito Metropolitano, para inspeccionar la zona y establecer medidas para frenar o disminuir el incremento de deslizamientos (Monteros, 2012).

En el año 2017, se desencadenaron deslizamientos en la vía perimetral que recorre la ciudad de Quito. En la Avda. Simón Bolívar se suscitaron varios deslizamientos ocasionando caos vehicular y desconexión entre varios sectores del norte de la capital. En dirección al Camposanto Monte Olivo se produjo el deslizamiento de un talud pero bloqueó la circulación de norte a sur, evitando el paso a los transeúntes que se dirigían a el Valle de Tumbaco (Medina, 2018).

1.1.2 Antecedentes Conceptuales y Referenciales

Sanhueza Plaza de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en su publicación del año 2013 realiza un análisis de estabilidad de taludes aplicados en laderas, en el que realiza una comparación de los métodos para estabilización de taludes con el uso del software GEO5 (Plaza, 2013).

El uso de herramientas computacionales permite manejar cálculos iterativos de los distintos métodos de estabilidad de taludes, que permite modelar suelos homogéneos y

estratificados, con superficies geométricas complejas y con presencia de nivel freático, utilizando diferentes modelos como Fellenius, Bishop, Hanbú, Spencer y Morgenstern – Price, entre otros. Además, permite evaluar los materiales que conforman el talud bajo los criterios de Hoek – Brown, Mohr – Coulomb, roturas bilineales, anisotrópico, no drenado, etc. (Plaza, 2013).

Medina y Cartaya en el 2018, realizaron la publicación de estabilidad de un talud en Cuba utilizando el software SLIDE, un programa de análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos de equilibrio del límite en 2D, de manejo fácil y para todo tipo de terrenos. SLIDE resultó ser una herramienta eficaz para el análisis y obtención del factor de seguridad en taludes y diseños de corrección de estabilidad (Medina, 2018).

Dentro de la aplicación de estos programas, en taludes dentro de la República del Ecuador, es necesario corroborar que la información ingresada se encuentre estipulada dentro de las Normas Ecuatorianas de la Construcción NEC-15 para los estudios geotécnicos, los mismos que se encuentran en la NEC-15 de código NEC-SE-GC, del capítulo GEOTECNIA Y CIMENTACIONES.

Taludes.

Un talud es una masa de tierra con inclinación, que no es plana, tiene pendiente y cambios en su altura. La diferencia entre ladera y talud, es que la primera se forma de manera natural, mientras que el talud se conforma artificialmente, es decir existe la intervención del hombre. En un talud o ladera se definen varios elementos constitutivos, como la altura, que es la distancia vertical entre el pie y la cabeza; pie, que indica el punto donde se genera un cambio brusco de pendiente en la parte inferior; cabeza o escarpe, es el punto donde existe un cambio brusco de pendiente en la parte superior; altura del nivel freático, es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza; y pendiente, que es la inclinación del talud o ladera, se mide en grados, porcentaje o relación m/1, donde m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical (Suarez, 1998).

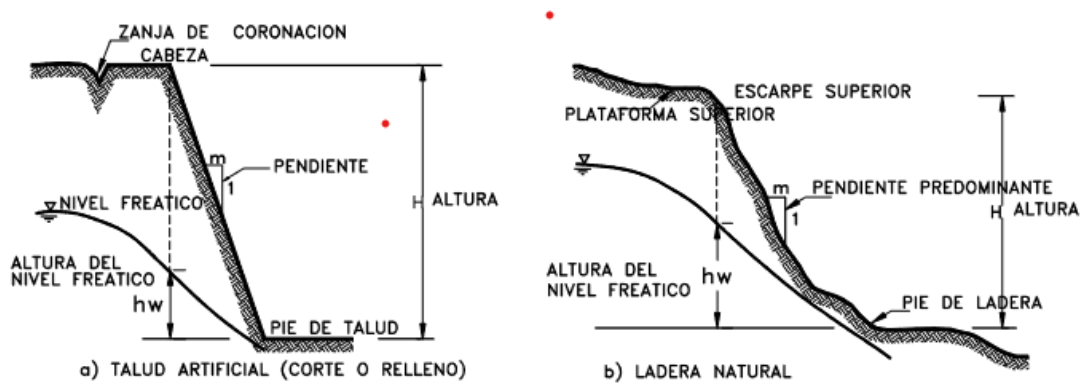


Figura No. 1: Nomenclatura de taludes y laderas

Fuente: Suarez Díaz, J.

Falla de Talud.

Es el proceso de movimiento hacia abajo de una masa de tierra a lo largo de un plano o superficie curva con respecto a la masa estática restante, que son considerados uno de los fenómenos de grandes impactos socioeconómicos en el mundo, ocasionando pérdidas de vidas humanas y económicas (Serrano – González, 2004).

Chowdhury y Flentje en su publicación del 2011 expresan que las fallas de talud, sus causas y mecanismos básicos tienen un comportamiento progresivo en el tiempo, por lo que la resistencia a cortante máxima a lo largo de un plano o superficie de rotura generalmente se considera aplicable al análisis de fallas de taludes por primera vez; mientras que, en el análisis de la posible reactivación de antiguos movimientos, es recomendable considerar la resistencia a cortante residual (Oliva, 2021).

Cuando un talud falla es debido a un desplazamiento debajo de una masa de suelo o roca, que predomina sobre una o más superficies de rotura. Existen presencia de fallas definidas cuando se dan este tipo de deslizamientos y se observa a grandes rasgos la forma de la masa desplazada (Medina, 2018).

Peligro y Vulnerabilidad.

En 1992, la Royal Society definió el peligro como las situaciones que en circunstancias particulares ocasionan daño a los elementos que se encuentran en riesgo (Royal Society, 1992).

La British Standard Institution en 1991 dio el concepto de peligro como el potencial de consecuencias adversas de algún evento primario, secuencia de eventos o combinación de circunstancias (British Standard Institution, 1991).

Perry en 1981 indicó que el peligro son las amenazas a personas y a lo que ellos valoran, como su vida, bienes materiales y su hábitat (Perry, 1981).

En consecuencia, para que exista peligro de deslizamiento de taludes, deben producirse situaciones u ocurrir circunstancias donde los humanos puedan ser impactados en una situación de peligro; siendo así, los sucesos de deslizamiento de tierras donde no existen humanos habitando no son considerados peligrosos (Zhang, 2014).

Cuando existe la intervención del hombre, la vulnerabilidad es el potencial a sufrir daños y pérdidas significantes para el ser humano (Zhang, 2014). Reconocer la vulnerabilidad es el resultado de una relación entre un evento de peligro y una consecuencia adversa.

$$\textit{Evento de Peligro} \times \textit{Vulnerabilidad} = \textit{Consecuencia Adversa}$$

Expresándose,

$$H \times E \times V = C$$

Donde:

H: Evento de peligro de deslizamiento.

E: Valor total de los elementos en peligro o también llamados elementos en riesgo, incluyendo población, estructuras, actividades económicas, servicios, etc.

V: Vulnerabilidad o proporción de E reducida por un evento de peligro de deslizamiento.

C: Consecuencias adversas del evento de peligro de deslizamiento.

Consecuencias

Las consecuencias son el efecto que causan los deslizamientos sobre el bienestar humano, sus propiedades o a su hábitat (Zhang, 2014).

Riesgo

Según Royal Society, el riesgo es la combinación de la probabilidad o frecuencia de que exista un deslizamiento y la determinación de la magnitud de las consecuencias que el evento ocasiona (Zhang, 2014).

Por el desarrollo de la ciencia y tecnología, existe un variado conocimiento de los riesgos y peligros de los deslizamientos de taludes. Según E.M.Lee las definiciones de riesgo son las probabilidades de las consecuencias adversas que ocasionan un evento, circunstancia o acción; los diferentes niveles de daños potenciales que surgen y, las magnitudes de consecuencias que surgen de un deslizamiento de tierras (Hernández, 2017).

Dichos conceptos preocupan de sobremanera el riesgo en estimar y cuantificar daños y pérdidas que se ocasionan a raíz de un deslizamiento de taludes (Hernández, 2017).

Probabilidad de deslizamiento.

Es la tendencia a que suceda una situación de deslizamiento en un determinado tiempo futuro. La probabilidad de deslizamiento de un talud se puede expresar de manera cuantitativa, de 0 a 1, donde 0 significa que no existirá deslizamiento y 1 expresa que ocurrirá con certeza un deslizamiento. También pueden ser expresados cualitativamente, denominados como muy bajo a muy alto o más importante a menos importante (Zhang, 2014).

1.1.3 Antecedentes Contextuales

En Ecuador existen directrices para el diseño de carreteras que norman su construcción, las mismas que se hacen cumplir a través de las diferentes entidades gubernamentales, tal como el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, guiado por manuales tales como:

- Normas de diseño de carreteras MTOP.
- Normas AASHTO.
- Normas ASTM.
- Normas ACI.

En la provincia de El Oro, se registran fuertes lluvias en los meses de invierno que van desde diciembre a mayo de cada año, lo que produce inundaciones en la parte baja de la provincia y deslizamientos de tierra en las zonas altas de la misma.

En la parroquia Zaracay, cantón Piñas, ubicada dentro de la provincia de El Oro, se producen desprendimientos de la carretera por deslizamientos de taludes que soportan la vía, lo que provoca la inhabilitación de ambos carriles que comunican a los habitantes de Zaracay y Piñas.

La población que habita la zona que rodea la carretera Zaracay – Piñas, se dedica mayormente a la agricultura y ganadería, por lo que los deslizamientos de tierra afecta de manera económica a los habitantes, además de sufrir cambios en el hábitat que se desenvuelven.

En el país, una de las variables determinantes para la estabilidad de taludes, son las condiciones meteorológicas de la zona donde se encuentra ubicada la carretera; las lluvias pueden ocasionar la saturación del suelo, lo que provocaría el aumento de carga sobre los taludes.

Existen varias afectaciones en la vía Zaracay – Piñas que se han suscitado durante la época invernal, además de su terreno montañoso, lo que ha ocasionado la presencia de agua superficial y la infiltración de la misma en los taludes, provocando deslizamientos de los mismo y hundimientos en la carretera.

La red vial E-585 Zaracay – Piñas, está conformada por un terreno ondulado – montañoso, que se ha ido deteriorando por la presencia de fenómenos naturales, como el fenómeno del niño, la cantidad y tipo de vehículos que transitan sobre ella, por las eventualidad sísmicas e hidrológicas que ha sufrido la zona y el país.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Modalidad de la Investigación

2.1.1 Enfoque

El enfoque para la presente investigación es cualitativo – cuantitativo, ya que se realizó toma de datos en campo, como encuestas, listas de cotejo, etc. Además de datos cuantitativos obtenidos a través de la investigación documental utilizando procesos sistemáticos, reflexivos y empíricos.

Los métodos mixtos pueden implementarse de acuerdo a diversas secuencias. A veces lo cuantitativo precede a lo cualitativo, en otras ocasiones lo cualitativo es primero; también pueden desarrollarse de manera simultánea o en paralelo, e incluso es factible fusionarlos desde el inicio y a lo largo de todo el proceso de investigación (Carrera – Carlosama, 2017).

2.1.2 Paradigma

El positivismo afirma que la realidad es absoluta y medible, la relación entre investigador y fenómeno de estudio debe ser controlada, puesto que no debe influir en la realización del estudio (Ramos, 2015). Los métodos estadísticos inferenciales y descriptivos son la base del presente paradigma.

2.2 Nivel o Tipo de Investigación

2.2.1 Tipo Exploratorio

Con este tipo de estudio se identificará conceptos, variables e hipótesis promisorias para indagar el objeto de investigación para la evaluación de taludes, mediante herramientas tecnológicas como mapas de litología, cobertura y uso de suelo, topográficos y de precipitación obtenidos de investigaciones bibliográficas anteriores, que identifica zonas de riesgo en carreteras de montaña.

2.2.2 Tipo Descriptivo

Nos permitirá especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis principios clave como: la participación de la comunidad y las partes interesadas,

establecimiento de prioridades dentro de la evaluación de taludes, mediante herramientas tecnológicas, que identifica zonas de riesgo en carreteras de montaña.

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

El sujeto de estudio en esta investigación serán los taludes que conforman la vía Zaracay – Piñas de la provincia de El Oro, siendo una Avenida de gran importancia para la población que une estas comunidades.

2.3.2 Muestra

Con la fórmula estadística sustentada por Hernández et al (2010) se calcula la muestra para el trabajo investigativo, asumiendo un nivel de confianza del 90% al 99%. Donde:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{E^2(N - 1) + Z^2 pq}$$

- n es el tamaño de la muestra
- Z es el nivel de confianza 90%= 1.64
- p es la probabilidad de éxito 50%/100= 0.5
- q es la probabilidad de fracaso 50%/100 = 0.5
- E es el nivel de error 10%/100 = 0.10
- N es el tamaño de la población

Arrojando como resultado:

$$n = 1 \text{ muestra.}$$

2.4 Métodos con los Materiales Utilizados

2.4.1 Método Teórico

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (Fidias G., 2012).

Nos permite fundamentar teórica, conceptualmente y técnicamente mediante una revisión bibliográfica sobre evaluación de taludes, mediante herramientas tecnológicas, que identifica zonas de riesgo en carreteras de montaña.

2.4.2 Método Empírico

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí, su carácter de investigación no experimental. (Fidias G., 2012).

A través de ese método se recoge y registra sistemáticamente los datos relativos al objeto de estudio. Las técnicas del trabajo de campo que se utilizan son: la observación y la exploración del terreno mediante los instrumentos como lista de cotejo, entrevistas, mapas y equipos tecnológicos para levantamiento espacial del terreno.

2.5 Operación de Variables

2.5.1 Variable Dependiente

EVALUACIÓN DE TALUDES					
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMES	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Es un procedimiento que se realiza en los taludes con el propósito de identificar las zonas de riesgo mediante los factores de vulnerabilidad y amenaza por factores naturales o antrópicos.	Procedimiento	Diagnóstico	¿Cuáles son las fases a estudiar para proponer una evaluación de taludes?	Documental	Ficha bibliográfica
		Criterios			
		Análisis			
		Alternativas			
		Recomendaciones			
	Diagnóstico	Inestabilidad de taludes	¿Qué problemas genera la inestabilidad de taludes?	Observación	Guía de observación
		Causas	¿Cuáles son las causas que genera la inestabilidad de taludes?		
		Efectos	¿Qué efectos tiene la inestabilidad de taludes?		
	Criterios	Vulnerabilidad Amenaza	¿Qué criterios se utilizará para el análisis de estabilidad de los taludes?	Documental	Ficha bibliográfica
	Amenazas	Tipos de amenazas	¿Qué tipo de análisis evalúa la amenaza para la inestabilidad de taludes?	Documental	Mapas Ficha bibliográfica
		Deslizamientos de suelo	¿Cómo influyen los deslizamientos de suelo?	Observación	Lista de cotejo
		Deslizamientos de rocas	¿Cómo influyen los deslizamientos de roca?		
		Desprendimientos	¿Cómo influyen los desprendimientos?		
		Angulo de la pendiente	¿Cómo influyen el ángulo de pendiente?	Documental	Mapas
		Dirección de laderas	¿Cómo influye la Dirección de laderas?		
		Redes fluviales	¿Cómo influyen las redes fluviales?		
		Grupos Litológicos	¿Cómo influyen los Grupos Litológicos?		
		Fallas geológicas	¿Cómo influyen las fallas geológicas?		
		Uso del suelo	¿Cómo influye el uso del suelo?		
		Caminos o carreteras	¿Cómo influyen los caminos o carreteras?		
Intensidad de lluvia		¿Cómo influye la Intensidad de lluvia?			
Vulnerabilidad	Tipos de vulnerabilidad	¿Qué tipo de análisis evalúa la vulnerabilidad para la inestabilidad de taludes?	Documental	Mapas Ficha bibliográfica	
	Población.	¿Cómo afecta a la población?	Observación	Lista de cotejo	

		Edificaciones.	¿Cómo afecta a las edificaciones?		
		Carreteras.	¿Cómo afecta a las carreteras?		
		Áreas protegidas	¿Cómo afecta a las áreas protegidas?		
		Uso del suelo	¿Cómo afecta al uso del suelo?		
	Riesgo	Deslizamientos	¿Qué nivel de riesgo existe en las carreteras de montaña?	Documental	Mapas Fichas bibliográficas
		Daños a la vía			
		Interrupción de tráfico			
		Pérdidas de vidas humanas			
		Daños a propiedades colindantes.			
		Pérdidas Económicas			

Tabla No. 1: Variable Dependiente de la Metodología de Evaluación de Taludes.

Elaborado por: Autor.

2.5.2 Variable Independiente

CARRETERAS DE MONTAÑA					
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Son aquellas vías que toman su nombre por su clasificación de acuerdo a la topografía del terreno y responden a características de diseño geométrico y de tipo estructural vial establecidas en las Normas Generales del MTOP	Clasificación	Topografía del terreno	¿Cómo se clasifica la carretera la red vial e585 Zaracay – Piñas?	Observación	Guía de observación
	Diseño geométrico	Alineación Vertical	¿Está definida las alineaciones vertical y horizontal de la red vial e585 Zaracay – Piñas?	Documental	Ficha bibliográfica
		Alineación Horizontal			
	Capacidad vial	Clase	¿Qué clase, TPDA y nivel de capacidad tiene la red vial e585 Zaracay – Piñas?	Análisis Documental	Ficha bibliográfica
		TPDA		Observación	
		Nivel de capacidad			
	Estructura vial	Pavimento	¿Cuál es el tipo de pavimento de la vía red vial e585 Zaracay – Piñas??	Observación	Lista de cotejo
		Sección transversal	¿Cuál es el número de carriles de la red vial e585 Zaracay – Piñas?		
	Norma Generales del MTOP	Clasificación por diseño	¿Cuál es la clasificación de diseño de las carreteras de montaña?	Análisis Documental	Ficha bibliográfica
		Medidas de seguridad	¿Existen medidas de seguridad?	Observación	Lista de cotejo
Señalización horizontal y vertical		¿Existe señalización horizontal y vertical?	Observación		
Señalización preventiva.		¿Existe señalización Preventiva?	Observación		

Tabla No. 2: Variable Independiente de la Metodología de Evaluación de Taludes.

Elaborado por: Autor.

2.6 Plan de Recolección de la Información

Mediante una investigación bibliográfica de herramientas tecnológicas que evalúan taludes donde se encuentran carreteras que comunican diversas comunidades, se estudió una metodología de análisis jerárquico (AHP) en el que se pondera a los diversos factores estudiados dentro del trabajo bibliográfico, en el que se proporcionan datos a variables de ensayos de laboratorio de suelos y búsquedas de documentos estadísticos en relación a geología y climatología de la zona.

Además, se realizó visita de campo a la zona de estudio, red vial E-585 Zaracay – Piñas, para el reconocimiento de área directa, lo que permitirá obtener los parámetros de las variables de estudio.

2.7 Plan de Procesamiento de la Información

Una vez recopilada la información, se realiza el procesamiento de la misma mediante tablas de resumen, asignación de ponderaciones y uso de softwares. Por medio del uso de herramientas informáticas, se procede a la creación de la metodología de evaluación de taludes para carreteras de montaña.

CAPITULO III. PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1 Criterios de evaluación de taludes.

El área de estudio indirecta tiene una superficie de 571 km², donde interviene la administración del cantón Piñas, la cual se analizará mediante registros históricos. El área de estudios directa tiene un radio de 29.03 Km contando del eje vial de la carretera E585 Zaracay - Piñas, tomando la carretera como muestrario para el presente estudio.



Figura No. 2: Mapa de localización del área de estudio directa.

Fuente: GADPEO.

Según Andocilla en el 2012 y Ciampalini en el 2016, el método heurístico es un análisis cualitativo en el que se selecciona, jerarquiza, pondera y combina los factores relacionados al deslizamiento de tierras mediante herramientas de decisión aplicadas en SIG, facilitando el manejo de información espacial, versatilidad en la representación y calidad en los resultados (Ciampalini, et al 2016) (Andocilla, et al., 2012).

Maryam en el 2011, en su estudio “A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran”; las funciones que representan el peligro de deslizamiento de tierras se denominan funciones de favorabilidad. La presente metodología de evaluación de taludes se basa en dos suposiciones básicas.

- a) Los futuros deslizamientos suelen ocurrir en circunstancias similares a los deslizamientos en el área de estudio, obteniendo conocimiento sobre la relación de los factores causales y las ocurrencias de los deslizamientos de tierras.
- b) Los datos espaciales que representan los factores causales contenidos en las bases de datos GIS son utilizados para formular los futuros deslizamientos (Ilanloo, 2011).

Los factores causales se determinan mediante una función de pertenencia, como la relación entre la variable dependiente, que son la presencia o ausencia de deslizamiento y las variables independientes, los factores causales. Lo obtenido de cada mapa factor, se procesan por medio de un análisis jerárquico (AHP) acorde a la relevancia con los deslizamientos de tierra (Betancourt – Castro, 2018).

Dahal en el 2017, determina que los factores causales se dividen en condicionantes y desencadenantes; los condicionantes dependen de las características de la zona, topografía, geología, litología, tipo de suelo, drenajes y cobertura vegetal y, los desencadenantes son aquellos que se producen mientras incrementan la probabilidad de ocurrencia como los sismos, lluvias, erosión del suelo, uso del suelo, pendiente y operaciones de construcción (Dahal, 2017). Para el presente trabajo, con la obtención de datos históricos de la zona de estudio, se establecen como factores causales a la topografía, geología, litología, cobertura vegetal, precipitación, red hídrica y vial.

FACTORES CAUSALES	FUENTE DE INFORMACIÓN
Topografía	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
Precipitaciones	INAMHI
Red Vial	Gobierno Autónomo Municipal del Cantón Piñas Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
Litología	
Cobertura del suelo	
Fallas geológicas	

Tabla No. 3: Listado de factores usados en la metodología del estudio.

Fuente: Autor.

En la publicación realizada por la revista ResearchGate por Padilla en el 2007, utiliza la lógica Fuzzy para realizar un análisis multicriterio a los factores de entrada, mediante la ecuación:

$$N = \frac{V_o - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}$$

Donde:

V_o = Valor original.

V_{min} = Valor mínimo.

V_{max} = Valor máximo.

Asignándole a cada elemento un valor acorde al grado de pertenencia dentro del conjunto analizado, en el que todos los factores representan un nivel de riesgo; el valor oscilará entre 0 y 1, representado por las curvas seno y coseno, en el rango de 0° a 90° , dependiendo de la relación entre la variable analizada con la probabilidad de deslizamientos (Padilla, 2014).

$$\mu_A(V_o) = \sin \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{V_o - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) \quad 0 \leq \mu_A(V_o) \leq 1$$

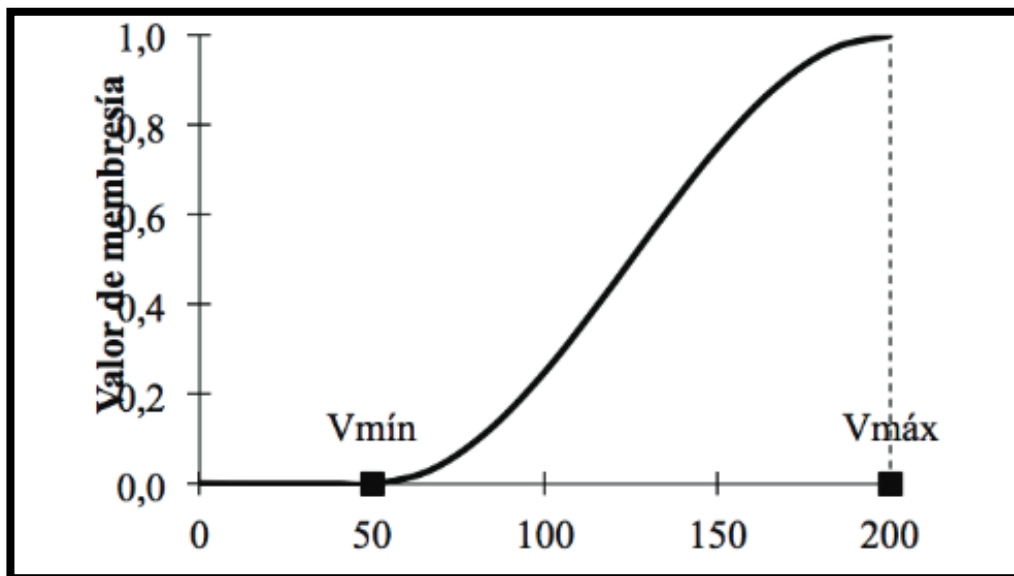


Figura No. 3: Función de pertenencia curva Seno, rango de 0 a $\pi/2$ radianes.

Fuente: Salcedo, Padilla, Morales, Toulkeridis, 2017.

$$\mu_A(V_o) = \cos \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{V_o - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) \quad 0 \leq \mu_A(V_o) \leq 1$$

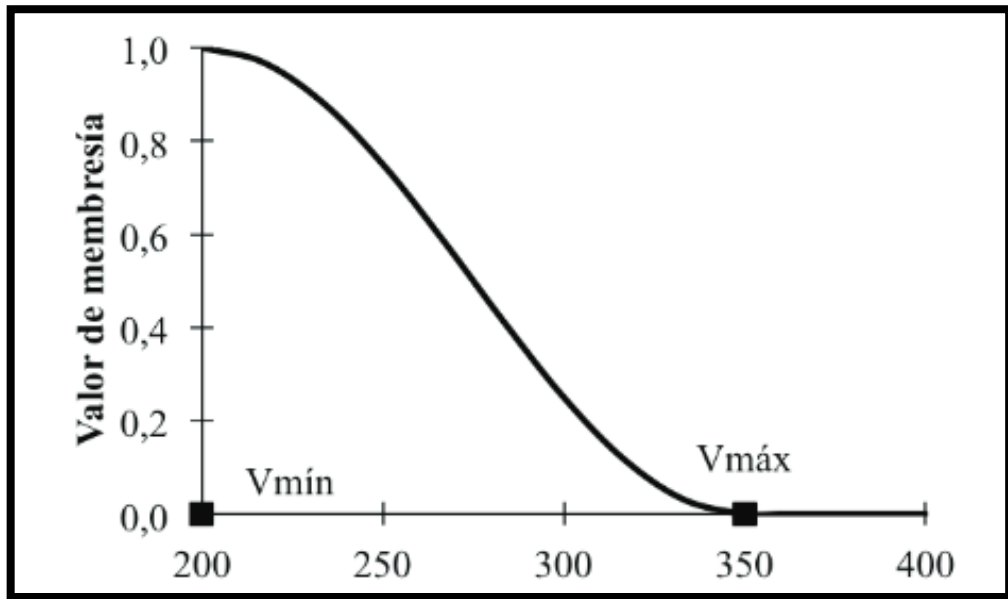


Figura No. 4: Función de pertenencia curva Coseno, rango de 0 a $\pi/2$ radianes.

Fuente: Salcedo, Padilla, Morales, Toulkeridis, 2017.

Donde:

$\mu_A(V_o) = 1$, si V_o pertenece totalmente al conjunto.

$\mu_A(V_o) = 0$, si V_o no pertenece al conjunto.

$0 < \mu_A(V_o) < 1$ = si V_o está parcialmente en el conjunto.

FACTOR	CRITERIO DE RELACIÓN	FUNCION DE PERTENENCIA
Pendiente	Directamente Proporcional.	Seno.
Precipitación		
Cobertura vegetal		
Litología	Inversamente Proporcional.	Coseno.
Distancia a fallas geológicas.		
Distancia a ríos.		
Distancia a vías.		

Tabla No. 4: Funciones de pertenencia de los factores de estudio.

Fuente: Autor.

Para la valoración del suelo, según El Jazouli en su publicación “GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco)” en 2019, utiliza el método AHP para encontrar los factores prioritarios que causan los deslizamientos de tierras, enfocándose para la toma de decisiones multiobjetivo – multicriterio, que permite lograr un conjunto de soluciones alternativas para el usuario, arrojando una matriz de comparación por pares y vector propio para los factores causantes de deslizamientos (El Jazouli, 2019).

FACTORES	LITOLOGÍA	PENDIENTE	USO DE SUELO	DISTANCIA A CARRETERA	DISTANCIA A DRENAJE	DISTANCIA A FALLA	ELEVACIÓN	ASPECTO	PESO
LITOLOGÍA	1								0.363
PENDIENTE	1	1							0.288
USO DEL SUELO	1/5	1/2	1						0.136
DISTANCIA A CARRETERA	1/5	1/4	1/2	1					0.710
DISTANCIA A DRENAJE	1/9	1/8	1/4	1/2	1				0.480
DISTANCIA A FALLA	1/8	1/9	1/5	1/8	1/5	1			0.037
ELEVACIÓN	1/8	1/7	1/5	1/2	1/2	1/5	1		0.270
ASPECTO	1/8	1/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	0.310

Tabla No. 5: Matriz comparación por pares y vector propio principal normalizado para los factores causantes de deslizamientos según se requiera para aplicar el método AHP.

Fuente: El Jazouli et al Geoenvironmental Disasters, 2019.

En la Revista Geoespacial en el 2017, en su publicación “Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos mediante lógica Fuzzy y técnicas de evaluación multicriterio en la Avenida Simón Bolívar, Quito”, Salcedo y Padilla aplicando el análisis jerárquico de factores causales (AHP) obtienen la siguiente ponderación (Betancourt – Castro, 2018).

FACTORES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	PONDERACIÓN
PENDIENTE (1)	1	3	9	2	8	7	6	0.379
PRECIPITACION (2)	1/3	1	7	1/2	6	3	2	0.159
COBERTURA VEGETAL (3)	1/9	1/7	1	1/8	1/2	1/3	1/6	0.024
LITOLOGÍA (4)	1/2	2	8	1	7	6	3	0.246
DISTANCIA DE VÍAS (5)	1/8	1/6	2	1/7	1	1/2	1/3	0.036
DISTANCIA RÍOS (6)	1/7	1/3	3	1/6	2	1	1/3	0.054
DISTANCIA FALLAS GEOLÓGICAS (7)	1/6	1/2	6	1/3	3	3	1	0.102

Tabla No. 6: Análisis jerárquico de factores causales.

Fuente: Revista Geoespacial, 2017.

Una vez realizada la investigación bibliográfica, visitas a los entes gubernamentales que regulan las carreteras en el Cantón Piñas e inspeccionando visualmente el área de estudio, se optó estudiar los siguientes factores:

- Factor topográfico
- Uso/cobertura de suelo.
- Precipitación.
- Litología.

3.2 Análisis del área de estudio

3.2.1 Análisis topográfico.

Los factores topográficos que se analizarán para la valoración del suelo hace referencia a la elevación del talud, es decir su ángulo de pendiente, mismo que se utiliza con frecuencia como condición del deslizamiento de tierra.

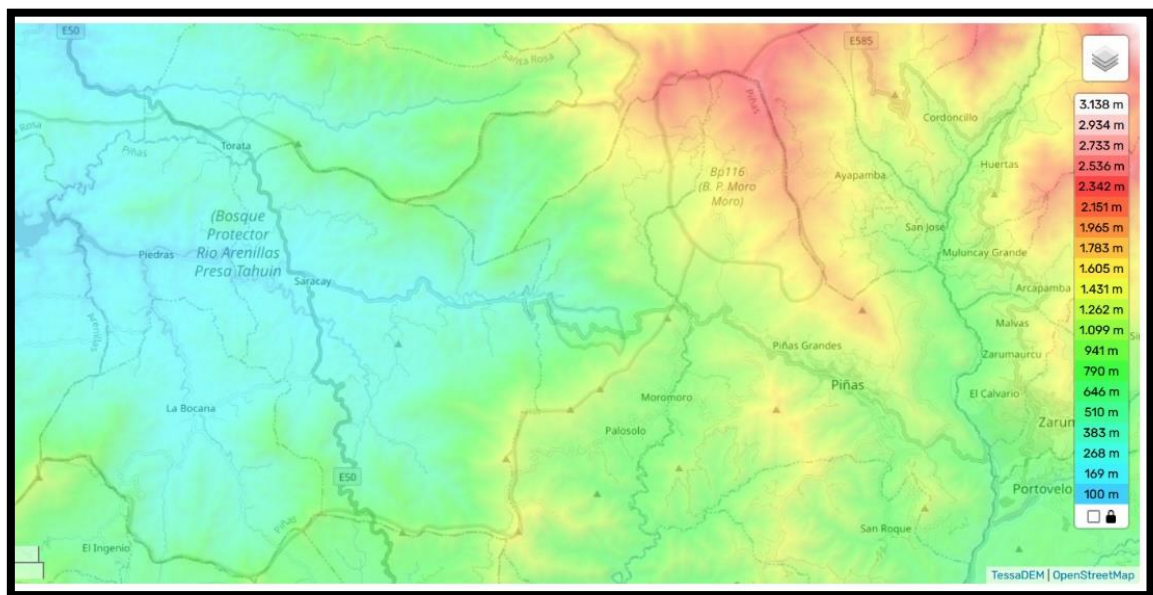


Figura No. 5: Elevación (m) de la carretera Zaracay – Piñas.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

3.2.2 Uso/cobertura de suelo.

El factor que determina el uso de suelo, está directamente relacionado con las necesidades de la población, como la agricultura, ganadería, tierras forestales, áreas urbanas, bosques, construcción de infraestructuras, tierras baldías, terreno desnudo, cuerpo de agua, etc.;

siendo así, un factor principal en el mapeo de susceptibilidad en los deslizamientos de tierra.

De la publicación realizada por Salcedo y Padilla, se tomó como ejemplo la ponderación para la cobertura y uso de suelo, utilizando datos obtenidos en un estudio de similares condiciones (Betancourt – Castro, 2018).

TIPO DE COBERTURA	PONDERACIÓN
Vegetación cultivada coníferas: Pinos y ciprés.	1
Vegetación cultivada latifoliadas: Eucalipto adulto, eucalipto joven y regeneración.	
Vegetación en regeneración natural: Bosque secundario, matorral en regeneración, suro con árboles y suro con arbustos.	
Bosques húmedos: Bosques altimontanos norte andinos siempre verdes, bosques bajos y arbustales altoandinos paramunos, bosques montanos pluviales de los Andes del norte, bosques pluviales piemontanos de los Andes del norte y bosques siempre verdes estacionales montano bajos.	
Bosques secos: Bosque ceso interandino y vegetación ribereña del piso montano xerofítico.	
Agua en cauces artificiales: Reservorios.	
Herbazales húmedos: Pajonales altimontanos y montanos paramunos y pajonales edafoxerofilos altimontanos.	2
Herbazales secos: Vegetación saxícola montana interandina de los Andes.	
Arbustos húmedos: Arbustales bajos y matorrales altoandinos paramunos y arbustal montano de los Andes del norte.	
Arbustos secos: Arbustales secos interandinos.	
Infraestructura: Aeropuertos, edificaciones e invernaderos.	3
Pastos: Pasto natural.	
Agua en cauces naturales: Ríos.	
Cultivos: Cultivos ciclo corto, cultivos semipermanentes y permanentes y suelos en preparación.	4

Suelos desnudos de origen natural: Glaciares y roca.	5
Pastos: Pasto cultivado.	
Suelos desnudos de origen natural: Arenales.	
Suelos desnudos de origen antropogénico: Suelos erosionados y canteras.	

Tabla No. 7: Ponderación de cobertura vegetal (26).

Fuente: Loarte y Resl, 2013.

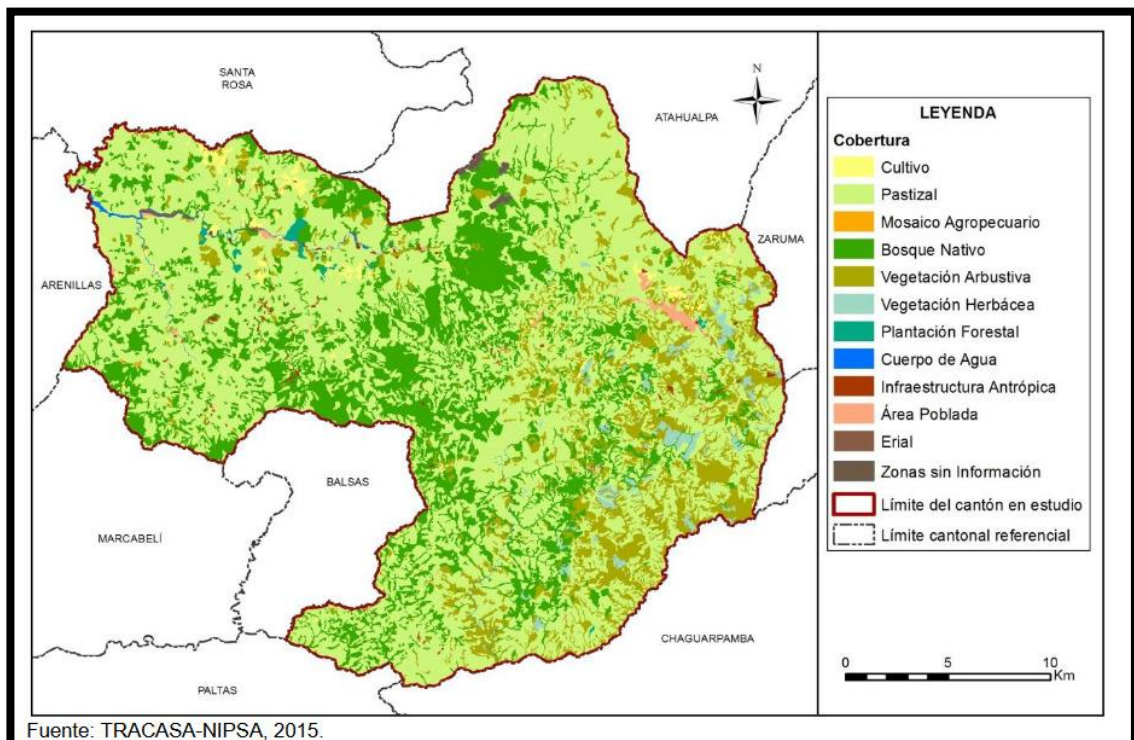


Figura No. 6: Uso de suelo de la carretera Zaracay – Piñas.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

3.2.3 Precipitación.

Los registros anuales de precipitación fueron otorgados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) según las estaciones meteorológicas cercanas activas.

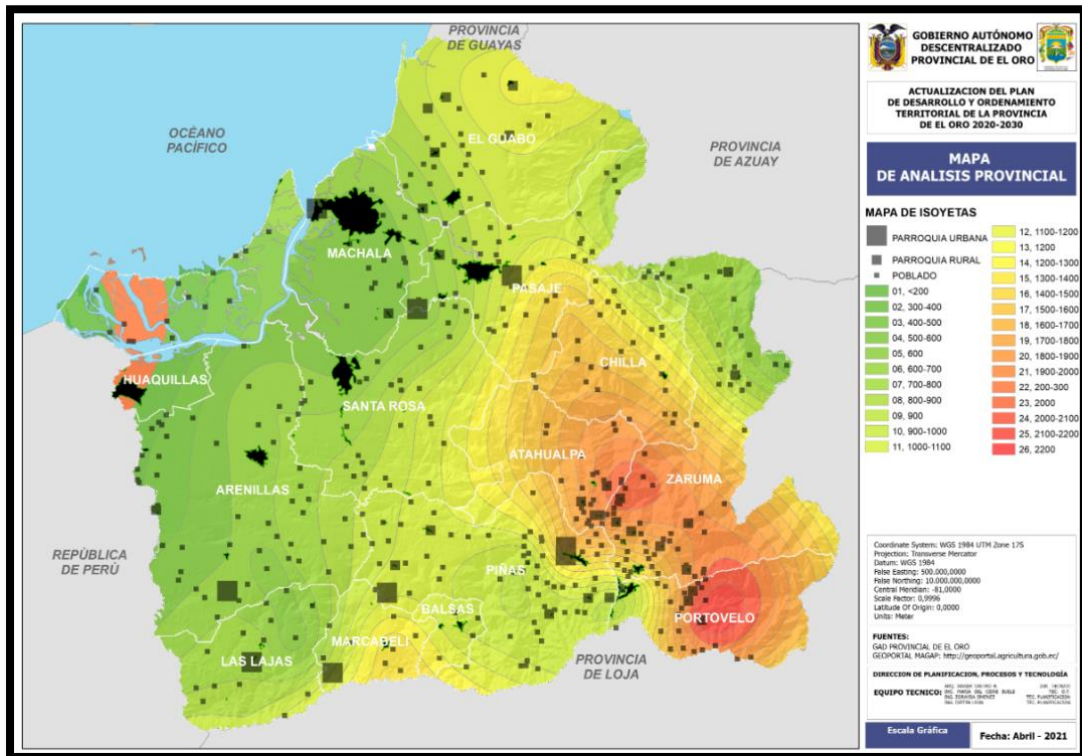


Figura No. 7: Mapa de Isoyetas.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

3.2.4 Litología.

Tomando como ejemplo la publicación realizada por los autores Salcedo y Morales, la litología se pondera mediante un rango de susceptibilidad de 1, si es muy alta, a 6 cuando es baja, según lo experimentado en campo (Betancourt – Castro, 2018). La siguiente tabla fue obtenida en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

LITOLOGÍA	PONDERACIÓN
Depósitos de ladera: Gravas y bloques de angulosos a subangulosos, con o sin mezcla irregular y en proporciones variables de elementos finos (limos, arcillas y arenas).	6
Volcano – sedimentos del Quilotoa: Tobas bien estratificadas, con frecuente carácter lacustre y alternantes con cenizas y lapilli.	5.5
Conglomerados Zarapullo: Guijarros y cantos rodados pobremente estratificados en matriz areno – limosa.	5

Formación Borbón: Areniscas de grano grueso en bancos, con intercalaciones de argilita y conglomerados en la base.	4.5
Formación Mangán: Limolitas, lutitas y areniscas de grano fino interestratificadas; lutitas con vetas de carbón; areniscas de grano grueso y conglomeráticas.	4
Formación Playa Rica: Lutitas grises o negras laminadas, con intercalaciones de areniscas.	3.5
Formación Ostiones: Lutitas duras, grises a pardas; tobas y arcillas silíceas hacia muro.	3
Formación Tiyuyacu: Conglomerado de cuarzo, lutita y chert en matriz areno – limosa; areniscas con intercalaciones de lutitas rojas, grises y verdes.	2.75
Grupo Alamor: Lutitas, areniscas, arcillas y limos estratificados, localmente con ligero metamorfismo.	2.5
Batolito de Zamora: Granitoides.	2
Unidad Piedras: Anfibolitas gneísicas de grano fino a grueso y esquistos verdes.	1.75
Granito de Abitagua: Granito.	1.5
Gabro: Grabo.	1

Tabla No. 8: Ponderación de litología.

Fuente: Cartografías geológicas oficiales (INAMHI).

CAPITULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Inspección visual y bibliográfica.

Para la obtención de resultados del presente trabajo, se visitó el área de estudios y mediante inspección visual, además de un análisis contextual de estudios realizados anteriormente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y del Gobierno Autónomo Descentralizado de Piñas, se obtuvieron los siguientes resultados, con respecto a los factores puestos en estudio.

Topografía del suelo.

La pendiente de la vía Zaracay – Piñas, red vial E585, tiene una pendiente entre 268 y 646 metros, tal como se muestra en la Figura No. 5 de la información obtenida por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

Uso/cobertura de suelo.

En la Figura No. 6 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, el uso/cobertura del suelo de la carretera E585 Zaracay – Piñas es de bosques nativos, los mismos que han sido ponderados en la Tabla No. 7: Ponderación de cobertura vegetal, con una valoración de 1.

Precipitación

En el mapa de isoyetas otorgado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, se puede observar que la precipitación de la zona se encuentra entre 1000 – 1100mm en su precipitación media anual.

Litología

Según lo indicado en el INIGEMM u organismos predecesores y léxico estratigráfico del Ecuador, en la zona de estudio prepondera el Grupo Alamor, formados por Lutitas, areniscas, arcillas y limos estratificados, localmente con ligero metamorfismo, con una valoración de 2.5, según indica la Tabla No. 8 Ponderación de litología del INAMHI.

4.2 Detección de vulnerabilidad.

La ponderación de cada variable en estudio depende del análisis comparativo entre criterio por pares y de la multiplicación entre los niveles jerárquicos respectivos; donde 1 es “mucho menos importante que” y 9 significa “mucho más importante que”, tomado de Eastman en su publicación “The IDRISI Selva Tutorial Manual Version 17”, tal como se muestra en la siguiente tabla:

FACTORES	(1)	(2)	(3)	(4)	PONDERACION
(1) PENDIENTE	1	5	9	8	0.683
(2) USO DE SUELO	1/5	1	2	½	0.110
(3) PRECIPITACIÓN	1/9	1/2	1	¼	0.055
(4) LITOLOGÍA	1/8	2	4	1	0.152

*Coeficiente de consistencia (CR): 0.03.

Tabla No. 9: Análisis jerárquico de factores causales.

Fuente: Autor.

El resultado de susceptibilidad es la combinación de factores causales con las ponderaciones obtenidas en el método AHP, tal como lo detalla la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{j=1}^n W_j x X_{ij}$$

Donde:

I: Índice de susceptibilidad

W_j: Peso del factor j.

X_{ij}: Valor normalizado de cada mapa.

N: Número de factores.

Dando como resultado:

$$f_x = 0.683X_1 + 0.110X_2 + 0.055X_3 + 0.152X_4$$

Donde:

X₁: Pendiente.

X₂: Uso/cobertura de suelo

X₃: Precipitación.

X₄: Litología.

El ajuste metodológico se realiza en función a la desviación estándar resultante, según la ecuación:

$$N = Valor_{medio} - Valor_{calculado}$$

$$N = 1 - \sigma$$

Donde:

N: Ajuste.

Valor Medido: 1 o valor de los puntos de muestra.

Valor Calculado: desviación estándar del mapa resultante (σ).

Ambos autores mencionados, realizan una zonificación al riesgo por deslizamiento, clasificándolo por el modelo de lógica Fuzzy, de la siguiente manera:

ZONA	FUNCION DE MEMBRESÍA FUZZY	DESCRIPCION NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD
I	< 0.10	Nula
II	0.10 – 0.40	Baja
III	0.40 – 0.60	Media
IV	0.60 – 0.75	Alta
V	> 0.75	Crítica

Tabla No. 10: Zonificación de susceptibilidad a deslizamiento de tierras.

Fuente: El Jazouli, 2019 – Salcedo, Padilla, Morales y Toulkeridis, 2017.

4.3 Resultados.

El resultado de la metodología de evaluación de taludes a la susceptibilidad de deslizamiento en la carretera E585 Zaracay – Piñas obtenida por el método de análisis jerárquico (AHP) y clasificada en función de la membresía Fuzzy, posee una desviación

estándar 0.252. Por lo tanto, el 74.8% posee una susceptibilidad ALTA, es decir entre el rango de 0.60 a 0.75 y el 25.22% tiene una susceptibilidad NULA a deslizamiento de taludes.

CONCLUSIONES

- La metodología seleccionada, método de análisis jerárquico (AHP), ha sido adecuado a la zona de estudio, por lo que se relacionan positivamente con los factores establecido en campo, precipitación, pendiente, litología y uso o cobertura del suelo; destacando la importancia e intervención de la topografía y geología en el estudio, por ser detonantes en su efecto para el deslizamiento de taludes.
- La susceptibilidad a deslizamiento de taludes en la carretera E585 Zaracay – Piñas, se encuentra en el rango de media a nula, teniendo más del 50% de tendencia probable a deslizamiento, lo cual ha sido corroborado con los registros históricos de la zona.
- Para la metodología de evaluación de taludes mediante herramientas tecnológicas para carreteras de montaña, fue necesario seleccionar factores detonantes que provocan el deslizamiento de tierras, de fácil obtención y de acceso al público, tal es que la investigación bibliográfica se centraron en un análisis metodológico jerárquico de similares condiciones a las de la carretera E585 Zaracay – Piñas; además asignándoles un índice de susceptibilidad tomado del Modelo de membresía Fuzzy.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellán, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., & Vilaplana, J. M. (2009). Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(2), 365–372. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-365-2009>
- Betancourt, Andres & Castro, Andrea. (2018). Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos mediante redes neuronales en la avenida Simón Bolívar. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE. 13. 10.24133/cctespe.v13i1.723.
- Caicedo, J. F. R. (s/f). *ELABORACION DE SOFTWARE PARA EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO DE LAS DOVELAS*. Edu.co. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7819/RochaCaicedoJhonFreyder2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrera Aguilar, S. V., & Carlosama Morejón, F. J. (2017). *Análisis del peligro por fenómenos de remoción en masa en los taludes de un tramo de la quebrada Shanshayacu, zona Quitumbe, Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, 2017. de España Autor, I. G. Y. M. (1988). *Riesgos geológicos*. IGME.
- Diaz, J. S. (s/f). *ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES*. Edu.gt. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101-parte01.pdf>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- García-Aristizábal, Edwin F., Aristizábal, Edier, Marín, Roberto J., & Guzmán Martínez, Juan C.. (2019). Implementación del modelo TRIGRS con análisis de

confiabilidad para la evaluación de la amenaza a movimientos en masa superficiales detonados por lluvia. *TecnoLógicas*, 22(44), 112-130.
<https://doi.org/10.22430/22565337.1037>

Hernández Gene, F. J., & Garnica Berrocal, R. (2017). Accesibilidad física de la población a servicios de salud pública en San Pelayo y Cereté, Córdoba, Colombia, año 2015. *Perspectiva geográfica*, 22(2).
<https://doi.org/10.19053/01233769.7599>

Herrera, G. & Mateos, Rosa & Garcia-Davadillo, Juan & Alonso, Virginia & Mulas, Joaquim & Hernández Ruiz, Mario & Buxó, Pere & González, Marta & Pinyol, Jordi & Marturia, Jordi. (2017).

Ilanloo, M. (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*, 19, 668–676.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.184>

Landslide hazard, landslide vulnerability, & Map, L. H. (s/f). 3. *Landslide hazard and risk assessment*. Unisdr.org. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf

Medina Zaldivar, Yasmany. (2018). Uso del software Slide para el análisis del comportamiento sísmico de taludes. CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro. 8. 1-17.

Padilla, Oswaldo. (2014). FUNDAMENTO TEÓRICO PARA MODELIZACION DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE OPERADORES DIFUSOS. Geoespacial.

Plaza, S. (s/f). *Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales* Autores. Scielo.cl. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://www.scielo.cl/pdf/rconst/v12n1/art03.pdf>

ANEXOS



Anexo No. 01 y 02: Visita de campo sitio Las Bateas.



Anexo No. 03 y 04: Visita de campo sitio Chorro Biringo.





Anexo No. 05 y 06: Visita de campo sitio Los Monos.





Anexo No. 07 y 08: Visita de campo ubicado a 100m. de la Lubricadora “Orquídea de Los Andes”.



Anexo No. 09 y 10: Visita de campo ubicado a 80m. de taller “FRANCAR”.



Anexo No. 11 y 12: Visita de campo ubicado en el ingreso del cantón Piñas.