



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE
DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“Análisis de Susceptibilidad ante Deslizamientos y sus Afectaciones a los Elementos Expuestos en la vía Guanujo-Echeandía Sector “Piedra Blanca”, en el periodo septiembre – diciembre 2024”

AUTOR(A) (ES):

Castro Nuñez Ipatia Rubith

Guerrero Yanza Marcela Jamileth

DIRECTOR:

Ing. Numa Inain Gaibor Velasco, Msc.

GUARANDA – ECUADOR

2025

Tema Del Proyecto De Investigación

“Análisis de Susceptibilidad ante Deslizamientos y sus Afectaciones a los Elementos Expuestos en la vía Guaujo-Echeandía Sector “Piedra Blanca”, en el periodo septiembre – diciembre 2024.”

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres Ipatia Nuñez y Milton Castro, les agradezco infinitamente por su amor incondicional, su apoyo inagotable y por ser mi mayor inspiración. Cada sacrificio que han hecho por mí ha sido el motor para seguir adelante, y hoy veo en este logro un reflejo de todo lo que me han enseñado.

A mis hermanas Kimberly, Leticia y a mi hermano Junior, gracias por estar siempre ahí, por sus ánimos en los momentos difíciles y por ser mi familia y mis mejores cómplices. Sus risas y consejos han sido un faro en mi camino.

A mi mejor amiga Marcela, no tengo palabras para agradecerle su lealtad, su paciencia, sus consejos, su cariño y por ser mi cómplice, mi compañera y confidente en cada paso. Saber que cuento con usted ha hecho que este proceso sea más llevadero y especial.

A mi novio Brayan, gracias por ser mi soporte emocional, por motivarme cuando dudaba de mí misma y por celebrar cada pequeño triunfo como si fuera el suyo. Su amor y compañía han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mi grupo de amigos – compañeros, gracias por las risas y los ánimos cuando más los necesitaba. Hicieron de este viaje algo inolvidable.

Finalmente, agradecer al ingeniero Numa Gaibor mi tutor de tesis por todo el apoyo en este proyecto y a todos los profesores, compañeros y personas que de una u otra forma contribuyeron a mi formación académica y persona.

Ipatia Rubith Castro Nuñez

Agradecimiento

Al culminar este proyecto tan significativo para mi vida académica y personal, quiero expresar mi más profundo agradecimiento en primer lugar a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y la perseverancia para continuar incluso en los momentos más difíciles.

A mi padre Marcelo Guerrero por el apoyo incondicional que me ha brindado, por todo el esfuerzo que día con día hace por mí y mis hermanos y nos enseña a jamás rendirnos por alcanzar nuestras metas.

A mi madre Shicela Yanza, por ser mi amiga incondicional, por todo su amor, paciencia, por sus consejos sabios y por siempre estar conmigo siendo una fuente de inspiración para así día con día ser mejor y esforzarme por todo lo que quiero lograr. Gracias por ser mi refugio.

A mi hermana Thalia Guerrero por siempre estar para mí, por escucharme cada que lo he necesitado gracias por siempre motivarme a cumplir todo lo que anhelo, contar contigo es el mejor regalo que me dieron mis padres.

A mi hermano Sebastian Guerrero por siempre motivarme a ser mejor persona por ser una bendición en mi vida y ser mi inspiración para no rendirme.

A mis tíos Paul Guala y Stalin Gualpa por su compañía y apoyo incondicional en mi desarrollo personal y académico

A mi mejor amiga Rubith Castro, por hacer de este proceso académico llevadero, gracias por ser una amiga incondicional, por escucharme y motivarme a seguir adelante gracias por sus abrazos infinitos que han reconfortado mi alma sin duda alguna es una bendición por la cual agradezco a Dios todos los días.

A mi mejor amigo Jonathan Chochos por estar siempre para recordarme todo lo que está bien y está mal, por dedicarme su tiempo y espacio en su vida, gracias por haberme brindado su

mano en cada mal momento, por siempre convertir cada mal momento en bueno, con su presencia en mi vida se y confió que Dios nos prepara personas increíbles para nuestro camino y con ello tiene propósitos increíbles.

A mis amigos, que mediante este proceso formaron parte de mi vida, gracias por todos los momentos a menos que nos permitimos vivir, por los momentos buenos y no tan buenos gracias por absolutamente todo.

Finalmente quiero agradecer a mi tutor de tesis Ing. Numa Gaibor por la paciencia y apoyo constante en todo este proceso y a los docentes de la Universidad Estatal de Bolívar por sus enseñanzas en este largo proceso.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Cristhian Rea, quien ha sido un pilar fundamental a lo largo de todo este proceso. Su apoyo incondicional, palabras de aliento y presencia constante fueron clave para mantenerme firme incluso en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí, por estar ahí sin condiciones, y por ser esa fuerza silenciosa pero poderosa que me impulsó a seguir adelante. Este logro también es tuyo.

Marcela Jamileth Guerrero Yanza

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios por iluminar mi camino y darme salud y la fuerza para alcanzar esta meta.

A mis padres, mi pilar y mi mayor motivación:

A mi madre Ipatia, por su amor incondicional, sus sacrificios, su fortaleza silenciosa y por ser mi ejemplo a seguir. Gracias por enseñarme a ser valiente, por cada palabra de aliento, cada oración en silencio, cada gesto de cariño que me sostuvo en los momentos más difíciles. Es el corazón que me impulsó a seguir adelante.

A mi padre Milton, por su ejemplo de trabajo disciplina y perseverancia, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la importancia de la responsabilidad, por siempre confiar en mi capacidad de alcanzar lo que me propongo y por mostrarme que con esfuerzo todo es posible. Sus palabras firmes y su apoyo constante han sido guía y motor en este camino. Este logro tan suyo como mío.

A mis hermanas y hermano, mis compañeros de vida:

Por estar en cada paso por ser mi refugio y mi alegría, gracias por las risas compartidas los consejos sinceros por ser mi aliento en los días en los que sentía no poder más y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Su compañía ha sido hecho más liviano el camino y más feliz cada logro, son más que mis hermanas y hermano: son amigos, cómplices y parte esencial de mi vida. Los llevo en el corazón siempre.

A todos ustedes, dedico con amor y gratitud este trabajo, sin su presencia, este logro no habría sido posible.

Ipatia Rubith Castro Nuñez

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios por darme la salud y sabiduría para poder culminar este proceso.

A mi madre Shicela Yanza la mujer que me dio la vida, pero también me sostuvo cuando yo no podía con ella, gracias por siempre confiar en mí, por ser mi mayor inspiración mi fuerza inquebrantable y ser mi mejor amiga. Gracias por estar a mi lado, por creer en mi incluso en los momentos que ni yo lo hacía, por ser la luz en mis días más oscuros, ha sido mi ejemplo de valentía y de entrega infinita. Esta tesis es tan suya como tan mía. Todo lo que he logrado es el reflejo del amor incondicional, su fe en mí, el sacrificio y dedicación que me ha dado siempre.

A mi padre Marcelo Guerrero por ser mi pilar inquebrantable y esforzarse todos los días por mí y mis hermanos, por su amor silencioso, pero siempre presente. Gracias por cada sacrificio, por cada jornada interminable, por enseñarme el compromiso y la responsabilidad. Todo lo que soy y lo que he logrado lleva su huella. Esta tesis es un pequeño homenaje a todo lo que ha hecho por mí. Gracias por darme las herramientas para construir mi futuro. Con todo mi cariño y admiración, esta meta también es suya.

A mis primas Cristina, Ibeth y Mikaela

Esta tesis es más que un trabajo académico es el reflejo de un camino recorrido con esfuerzo y compañía, Y en ese camino, ustedes han sido una presencia constante, luminosa e invaluable. Gracias por estar siempre conmigo, en los días buenos y no tan buenos, por las risas compartidas, los consejos sinceros y el apoyo incondicional. Por ser mi familia, pero también mis amigas, mi refugio y mi fuerza. Esta tesis también es de ustedes, porque cada paso que di hasta aquí lo caminé con su compañía y cariño.

Marcela Jamileth Guerrero Yanza

Certificación del Director y Par Académico

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 3 de febrero de 2025.

El suscrito Ingeniero Numa Inain Gaibor Velasco MsC., Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS Y SUS AFECTACIONES A LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA VÍA GUANUJO-ECHEANDÍA SECTOR “PIEDRA BLANCA”, EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2024”; realizado por las señoritas: **Castro Nuñez Ipatia Rubith y Guerrero Yanza Marcela Jamileth** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



ING. NUMA GAIBOR

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

Derechos de Autoría Notarizada



**BIBLIOTECA
GENERAL**

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Castro Nuñez Ipatia Rubith y Guerrero Yanza Marcela Jamileth portador/res de la Cédula de Identidad No 0250033263 y 0202156899 en calidad de autor/res y titular/es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS Y SUS AFECTACIONES A LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA VÍA GUANUJO – ECHEANDÍA SECTOR "PIEDRA BLANCA", EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2024, modalidad, proyecto de investigación de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Castro Nuñez Ipatia Rubith

Guerrero Yanza Marcela Jamileth



Rubith Castro
0250033263



Marcela Guerrero
0202156899

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tema Del Proyecto De Investigación	2
Agradecimiento	3
Dedicatoria	6
Certificación del Director y Par Académico	8
Derechos de Autoría Notarizada	9
Introducción	17
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	21
1.1. Planteamiento del Problema	21
1.2. Formulación del Problema	22
1.3. Justificación	23
1.4. Objetivos	24
<i>1.4.1. Objetivo General</i>	24
<i>1.4.2. Objetivos Específicos</i>	24
1.5. Idea a defender	24
1.6. Variables (Operacionalización)	25
<i>1.6.1. Operacionalización de Variables</i>	26
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	29

2.1. Referencial o Georreferencial (Cambiar mapa de ubicación)	29
2.1.1. Clima	30
2.1.2. Temperatura Media Mensual	30
2.1.3. Geología	30
2.1.4. Volcánicos Cuaternarios (Qv)	31
2.1.5. Textura del Suelo	33
2.1.6. Morfología y Geomorfología	34
2.1.7. Pendiente	35
2.1.8. Relieve	37
2.2. Antecedentes (académicos y artículos de investigación)	37
2.2.1. ¿Por qué se producen y qué daños provocan?	47
2.2.2. Causas De Los Deslizamientos De Tierra	47
2.2.3. Consecuencias de los deslizamientos de tierra	48
2.2.4. Mecánica de suelos	49
2.2.5. Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS)	50
2.2.6. Análisis De Estabilidad De Taludes	52
2.2.7. Análisis De Estabilidad	53
2.2.8. Factor De Seguridad	55
2.2.9. GEO 5	57
2.2.10. Global Mapper	61

2.2.11. <i>Infraestructura Vial</i>	62
2.2.12. <i>Seguridad de los usuarios</i>	62
2.2.13. <i>Economía local</i>	62
2.3. Base Legal	62
2.4. Conceptual.....	67
2.4.1. <i>Afectados</i>	67
2.4.2. <i>Amenaza</i>	67
2.4.3. <i>Angulo de fricción</i>	67
2.4.4. <i>Capacidad</i>	68
2.4.5. <i>Cohesión</i>	68
2.4.6. <i>Desastre</i>	68
2.4.7. <i>Estabilidad de talud</i>	68
2.4.8. <i>Factor de seguridad</i>	68
2.4.9. <i>Método de Bishop</i>	69
2.4.10. <i>Respuesta</i>	69
2.4.11. <i>Riesgo de desastres</i>	69
2.4.12. <i>Software Geo5</i>	69
2.4.13. <i>Software Global Mapper</i>	70
2.4.14. <i>Susceptibilidad</i>	70
2.4.15. <i>Talud</i>	70

	13
2.4.16. <i>Víctima</i>	70
2.4.17. <i>Vulnerabilidad</i>	70
Capítulo III. Metodología	71
3.1. Tipo de Investigación	71
3.2. Enfoque de la Investigación	71
3.3. Métodos de Investigación	72
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos	72
3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información	73
3.5.1. <i>Objetivo 1</i>	73
3.5.2. <i>Objetivo 2</i>	75
3.5.3. <i>Objetivo 3</i>	76
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados	77
4.1.1. Determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el sector “Piedra Blanca” en la vía Guanujo-Echeandía mediante la recopilación, análisis y modelado de datos geológicos y geotécnicos, utilizando el software GEO5.	77
4.1.2. Identificar los elementos expuestos y sus afectaciones en el área de estudio.	110
4.1.3. Proponer medidas de reducción de riesgos asociados con la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos.	115
4.2. Comprobación de la idea a defender	120

Capítulo V. Propuesta (de ser el caso)	121
5.1. Conclusiones	121
5.2. Recomendaciones	122
Bibliografía	124
ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos de pendiente según el umbral geomorfológico	36
Tabla 2 Tipo de suelo.....	52
Tabla 3 Ensayo de clasificación de suelo/roca.....	78
Tabla 4 Resultado del análisis granulométrico - Tipo de suelo	79
Tabla 5 Granulometría	80
Tabla 6 Clasificación de suelo/roca	82
Tabla 7 Resultado del análisis granulométrico - Tipo de suelo	83
Tabla 8 Granulometría	83
Tabla 9 Muestra 1 con esclerómetro	85
Tabla 10 Muestra 2 con esclerómetro	85
Tabla 11 Muestra 3 con esclerómetro	86
Tabla 12 Muestra 4 con esclerómetro	86
Tabla 13 Muestra 5 con esclerómetro	87
Tabla 14 Muestra 6 con esclerómetro	87
Tabla 15 Datos del Ángulo de Fricción	88

Tabla 16 Humedad Natural	88
Tabla 17 Factores de seguridad por corte mínimos.....	89
Tabla 18 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada	92
Tabla 19 Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z.....	92
Tabla 20 Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico.....	93
Tabla 21: Medidas estructurales de reducción de riesgos.....	115
Tabla 22: Medidas no estructurales de reducción de riesgos.....	117
Tabla 23: Medidas y acciones para reducir la exposición de la infraestructura vial (elementos expuestos) ante la amenaza de deslizamiento	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1: Mapa de Ubicación	29
Ilustración 2: Mapa Geológico.....	32
Ilustración 3: Mapa de Textura del Suelo	33
Ilustración 4: Mapa de Pendientes.....	35
Ilustración 5: Mapa de Relieve.....	37
Ilustración 6: Limite líquido.....	52
Ilustración 7: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos	77
Ilustración 8: Mapa de elementos expuestos vía Guanujo – Echeandía.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nomenclatura de las diferentes	44
Figura 2: Caído o desprendimiento de suelo	44
Figura 3: Desmoronamiento del talud o falla en escalera.....	45

Figura 4: Esquema de un proceso de reptación	45
Figura 5: Deslizamiento rotacional típico y desplazamiento de rotación en una ladera..	46
Figura 6: Ejemplos de desplazamientos de traslación	46
Figura 7: Análisis de estabilidad para taludes de tierra	54
Figura 8: Análisis de Estabilidad de Macizos Rocosos	54
Figura 9: Análisis de Estabilidad por MEF	55
Figura 10: Curva granulométrica.....	80
Figura 11: Curva Granulométrica	83
Figura 12: Perfil 1 Sin coeficiente sismo.....	92
Figura 13: Perfil 1 con coeficiente sismo	95
Figura 14: Perfil 2 Sin coeficiente sismo.....	96
Figura 15: Perfil 2 Con coeficiente sismo	97
Figura 16: Perfil 3 Sin coeficiente sismo.....	98
Figura 17: Perfil 3 Con coeficiente sismo	99
Figura 18: Perfil 4 Sin coeficiente sismo.....	100
Figura 19: Perfil 4 Con coeficiente sismo	101
Figura 20: Perfil 5 Sin coeficiente sismo.....	102
Figura 21: Perfil 5 Con coeficiente sismo	103
Figura 22: Perfil 6 Sin coeficiente sismo.....	104
Figura 23: Perfil 6 Con coeficiente sismo	105
Figura 24: Perfil 7 Sin coeficiente sismo.....	106
Figura 25: Perfil 7 Con coeficiente sismo	107

Introducción

Los desastres naturales ocurren en distintas partes del mundo, incluyendo el Ecuador, ya que se encuentra entre los cinco países más propensos a experimentar desastres naturales debido a su alta vulnerabilidad sísmica y volcánica. Estos fenómenos impactan significativamente la vida de todos los seres humanos y esto genera grandes dificultades. Desde tiempos pasados se han venido suscitando inundaciones, sequías, terremotos, erupciones volcánicas, entre otras, los cuales no solo han afectado a las personas físicamente, sino también en los ámbitos social, económico y educativo (Cayo Montes & Vinocua Viracucha, 2016).

Los deslizamientos de tierra representan uno de los desastres naturales más destructivos, causando grandes daños y pérdida de vidas a nivel mundial. Un deslizamiento de tierra se produce cuando una pendiente falla o colapsa, generando un flujo incontrolable de roca, tierra, escombros o una combinación de estas (Tierra, s.f.). Según (Medina & Astudillo, s.f.), hoy en día constituyen un problema grave que afecta a gran parte de la sociedad, estos problemas deben ser considerados al momento de planificar, coordinar y ejecutar un ordenamiento territorial.

En la Provincia de Bolívar, cantón Guaranda, los deslizamientos de tierra se han presentado de manera recurrente afectando especialmente la vía Guanujo – Echeandía, sector “Piedra Blanca”. Estos eventos han provocado la destrucción y el cierre de la carretera, generando importantes pérdidas económicas y sociales, incluyendo la pérdida de vidas humanas, daños a la salud, interrupción de las actividades de los transeúntes que hacen uso de la vía.

El proyecto de investigación titulado “Análisis de Susceptibilidad a Deslizamientos y sus Afectaciones a los Elementos Expuestos en la vía Guanujo – Echeandía, Sector “Piedra Blanca”, en el Periodo septiembre – diciembre 2024” tiene como objetivo principal analizar la

susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos en el área de estudio, así como proponer medidas que contribuyan a reducir los riesgos asociados.

El presente documento, tiene como intención analizar la Susceptibilidad a Deslizamientos y sus Afectaciones a los Elementos Expuestos en la vía Guanujo-Echeandía Sector “Piedra Blanca”, el desarrollo de esta propuesta se basa en poder exponer medidas para reducir el riesgo y por lo tanto brindar seguridad humana, de manera que influya en la Gestión de riesgos, convirtiéndose en una herramienta de acción inmediata enfatizada en la ayuda relacionado con el manejo de eventos o situaciones de emergencia.

Finalmente, los capítulos del documento investigativo comprenden los aspectos siguientes:

Capítulo I.- Se refiere al planteamiento del problema, con el fin de diseñar objetivos mismos que nos permite alcanzar una solución.

Capítulo II.- Se integra el marco teórico, resume los datos derivados de investigaciones previas o consideradas teóricas.

Capítulo III.- Diseño metodológico. – Formula criterios que enfatizan el estudio, expone el diseño de la investigación, los modelos y características correspondientes al enfoque con relación a técnicas e instrumentos de investigación, con el fin de recopilar información.

Capítulo IV.- Se expone el análisis, interpretación y discusión de resultados, presentando los hallazgos obtenidos para cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo V.- Conclusiones Y Recomendaciones. – Aborda aspectos relevantes de la investigación, basados en datos sustanciales y fundamentados, obtenidos a través de un proceso analítico llevado a cabo por los investigadores.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo determinar la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos en el área de estudio, así como proponer medidas que contribuyan a reducir los riesgos asociados. Esta investigación es de tipo descriptiva, con un enfoque mixto con el método de campo, utilizando así la metodología ESPE para realizar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos y así dar el cumplimiento del primer objetivo específico.

Se llevó a cabo la determinación de las áreas susceptibles a graduales utilizando el software ArcGIS mediante la metodología ESPE en la cual se utilizan variables como la pendiente, cobertura vegetal, precipitación, vías, ríos, para obtener el nivel de susceptibilidad; muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto, además se realizó un tamizaje del suelo para obtener el tipo de suelo del lugar de estudio y parámetros como los finos, las gravas y arenas para hacer uso del software GEO5 y realizar la demostración del resultado de la estabilidad del talud. Para la obtención de los resultados del nivel de susceptibilidad de los elementos expuestos se realizó una intersección del mapa de susceptibilidad a deslizamientos con las vías obteniendo un nivel entre medio y alto. Por último, se establecieron medidas de reducción de riesgos estructurales y no estructurales en función a la información inicial del primer objetivo.

ABSTRACT

The objective of this degree work was to determine the susceptibility to landslides and their effects on the exposed elements in the study area, as well as to propose measures that contribute to reduce the associated risks. This is a descriptive research, with a mixed approach using the field method, thus using the ESPE methodology to carry out the landslide susceptibility map and thus fulfill the first specific objective.

The determination of the areas susceptible to gradual landslides was carried out using ArcGIS software through the ESPE methodology in which variables such as slope, vegetation cover, precipitation, roads, rivers, are used to obtain the level of susceptibility; very low, low, medium, high, very high, in addition a soil screening was performed to obtain the soil type of the study site and parameters such as fines, gravels and sands to make use of the GEO5 software and demonstrate the result of the slope stability. To obtain the results of the susceptibility level of the exposed elements, an intersection of the landslide susceptibility map with the roads was carried out, obtaining a level between medium and high. Finally, structural and non-structural risk reduction measures were established based on the initial information of the first objective.

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1.Planteamiento del Problema

La vía Guanujo-Echeandía, ubicada en la región andina del Ecuador, enfrenta una alta incidencia de deslizamientos, lo que representa un riesgo significativo para la seguridad de los usuarios y afecta de manera negativa la infraestructura vial. Esta problemática según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Guaranda (PDOT), se ve agravada por la topografía accidentada, el clima húmedo y los procesos erosivos aceleran la inestabilidad del suelo, generando impactos directos en la seguridad de los transeúntes, la economía local y la conectividad vial.

Uno de los sectores más afectados es “Piedra Blanca”, donde la limitada disponibilidad de un análisis técnico detallado sobre susceptibilidad a deslizamientos ha impedido la implementación de estrategias adecuadas para mitigar los riesgos. La presencia constante de derrumbes de menor magnitud ha generado dificultades en el tránsito, afectando tanto la infraestructura vial como la seguridad de los usuarios, lo que a su vez repercute en la actividad económica de los habitantes. La escasez de estudios especializados limita la adopción de medidas preventivas y de mitigación, aumentando la vulnerabilidad de la población y del sistema de transporte de la región.

El análisis de susceptibilidad a deslizamientos en esta vía es un proceso complejo, ya que la superficie de una ruptura no posee una estructura definida, lo que dificulta la identificación precisa de las zonas inestables y la predicción de eventos adversos. La poca información técnica y la escasez de estudios sobre la estabilidad del terreno han limitado la gestión de riesgo en la zona, evidenciando la necesidad urgente de investigaciones especializadas.

Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un estudio detallado que permita identificar las áreas de mayor riesgo, comprender las causas de los deslizamientos y proponer soluciones efectivas. Esto contribuiría a la implementación de estrategias de prevención y mitigación que garanticen la seguridad vial, reduzcan el impacto socioeconómico de los deslizamientos y fortalezcan la infraestructura de la región.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo influye la susceptibilidad a deslizamientos en los elementos expuestos de la vía Guajujo- Echeandía?

1.3. Justificación

La presente investigación busca hacer un análisis de susceptibilidad a deslizamientos ya que las conexiones viales son un elemento esencial para el desarrollo socioeconómico de un país, mismas que posibilitan el transporte de personas, bienes y servicios. Sin embargo, estas infraestructuras se enfrentan a diversos riesgos naturales, entre los que destacan los deslizamientos, estos eventos pueden ocasionar daños importantes a la infraestructura viaria, así como a la vida y bienes de las personas que la utilizan.

La carretera Guanujo-Echeandía es una vía que se encuentra ubicada en la provincia de Bolívar. Esta vía es utilizada por un gran número de vehículos y personas, por lo que el riesgo de deslizamientos es alto. Un deslizamiento en esta vía puede ocasionar varias afectaciones por lo tanto este estudio se realiza con el propósito de prevenir daños a la estructura vial evitando así daños a la superficie de la carretera y otros elementos expuestos de la infraestructura vial, facilitando el tránsito vehicular, del mismo modo se puede evitar la pérdida de vidas humanas ocasionadas por los deslizamientos que son influenciados por las fuertes precipitaciones, además de esto se puede minimizar daños, ahora bien esta investigación es importante porque permitirá disminuir importantes costos económicos beneficiando tanto al sector público como al sector privado ya sea minimizando gastos de reparación a la infraestructura vial, la atención a las víctimas y la pérdida de productividad.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se hace notoria la necesidad de realizar un estudio de susceptibilidad a deslizamientos en la carretera Guanujo-Echeandía, sector “Piedra Blanca”. Este estudio permitirá identificar el lugar de mayor riesgo de deslizamiento, de manera que se puedan implementar medidas de reducción de riesgos. De esta manera, se podrá ayudar a la seguridad de la vía, a la protección de las personas y bienes que la utilizan, y del

mismo modo se puede reducir la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y sus consecuencias negativas.

Por otro lado, este estudio servirá como estrategia para la obtención y manejo de datos, donde las instituciones MTOP y Prefectura de Bolívar podrán hacer uso para futuras investigaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos en la vía Guanujo- Echeandía, sector “Piedra Blanca”

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el sector “Piedra Blanca” en la vía Guanujo-Echeandía mediante la recopilación, análisis y modelado de datos geológicos y geotécnicos, utilizando el software GEO5.
- Identificar los elementos expuestos y sus afectaciones en el área de estudio.
- Proponer medidas de reducción de riesgos asociados con la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos.

1.5. Idea a defender

La susceptibilidad a deslizamientos en la vía Guanujo – Echeandia, sector “Piedra Blanca”, representa un riesgo significativo para la seguridad vial, la infraestructura y la economía local, su modelamiento permitirá plantear medidas de mitigación y prevención más adecuadas para reducir el riesgo de deslizamiento en el área de estudio.

1.6. Variables (Operacionalización)

- **Variable Dependiente**

Deslizamientos

- **Variable Independiente**

Afectaciones a los elementos expuesto

1.6.1. Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTO
SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	El análisis de susceptibilidad a la inestabilidad de caídos de roca y derrumbes se refiere al proceso de valoración cualitativa o cuantitativa de las principales variables que intervienen en la estabilidad o inestabilidad, en este caso de las formaciones rocosas que constituyen una ladera o un talud. La susceptibilidad es la propiedad del terreno que indica si las	DIMENSIONES GEOMÉTRICAS	ALTURA DEL TALUD	Metros o centímetros desde la base hasta la parte superior del talud	Levantamientos topográficos
		PROPIEDADES DEL SUELO Y ROCA	ÁNGULO DE FRICCIÓN	Grados utilizando un inclinómetro u otro dispositivo de medición	
			LONGITUD DE LA BASE	Metros o centímetros a lo largo de la base del talud	
			DENSIDAD DEL MATERIAL	Kg/m ³ o g/cm ³ utilizando métodos de densidad estándar.	Ensayos de laboratorio

	condiciones de una ladera son favorables o desfavorables para la estabilidad, haciendo referencia únicamente a los factores intrínsecos de los suelos y/o las rocas.		TIPO DE SUELO	Rocoso, arcilloso, grava, etc.	
			COHESION	Mpa	
			PESO DE ROCAS	Gramos	
		CONDICIONES HIDROLOGICAS	HUMEDAD		
		FACTORES DE SEGURIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	Puede ser cualitativo o cuantitativo, dependiendo del enfoque metodológico utilizado.	Calculo FS utilizando métodos como Bishop
		ZONAS DE SUSCEPTIBILIDAD	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD	Alto, medio, bajo	Shapefile, Arcgis
ELEMENTOS EXPUESTOS	Daños o perjuicios que sufren los elementos expuestos en la vía como consecuencia de la	AFECTACIONES A LA VIA	PORCENTAJE DE LA VIA AFECTADA POR DESLIZAMIENTOS	m ² de la vía afectada Baja, media, alta	Inspección visual mediante un mapa insertada las vías

inestabilidad de los taludes.	AFECTACION AL MEDIO AMBIENTE	MAPA DEL AREA DE LA VEGETACION AFECTADA	Perdida de vegetación (alta, media, baja)	shapefile, Arcgis
-------------------------------	-------------------------------------	---	---	-------------------

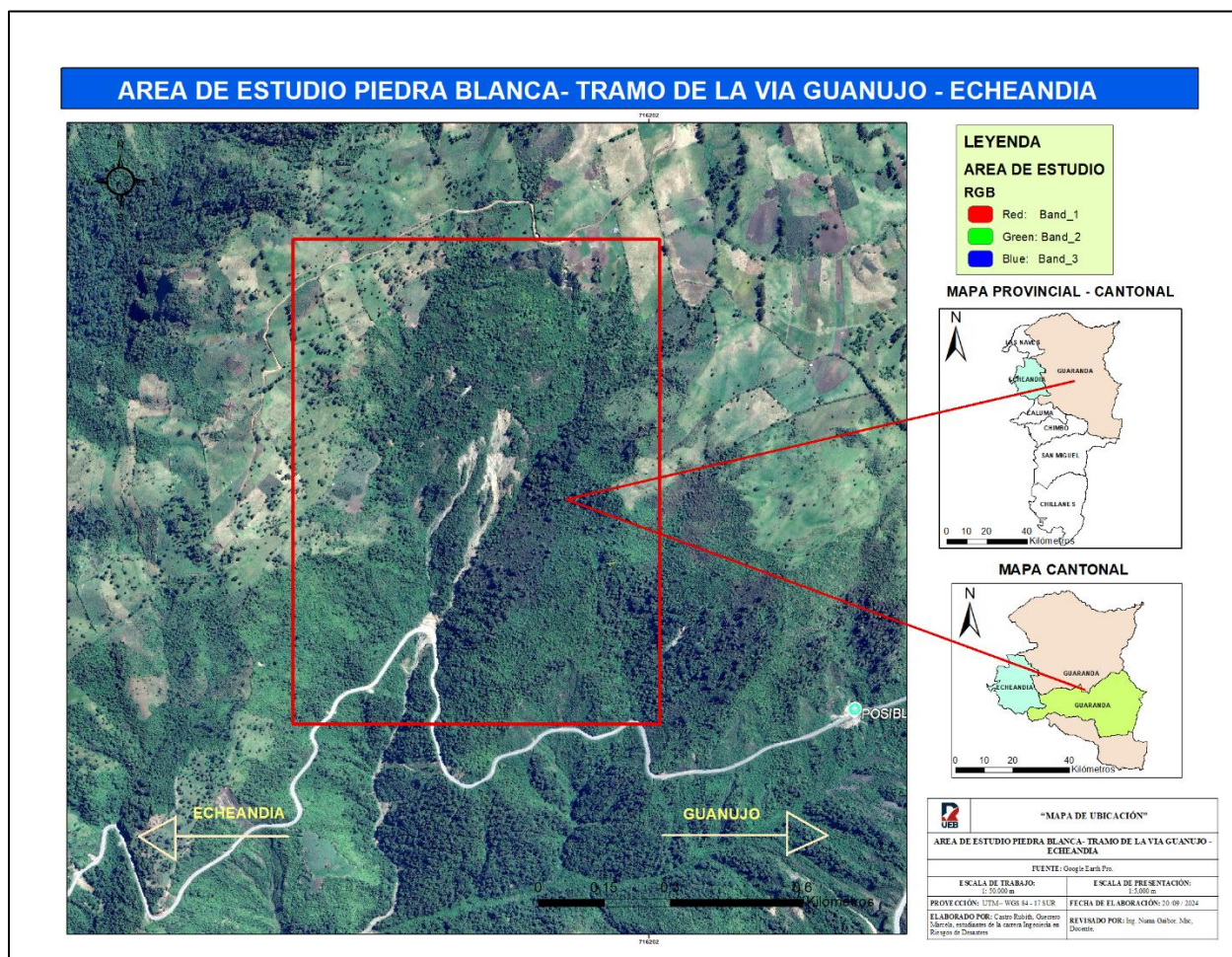
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.Referencial o Georreferencial (Cambiar mapa de ubicación)

El área de estudio se encuentra ubicada al occidente de la provincia de Bolívar en la vía Guanujo - Echeandía sector “Piedra Blanca”.

Esta carretera se encuentra en la provincia de Bolívar, tiene una longitud total de 53.3 Km, inicia en el poblado de Guanujo, que está situado 5 kilómetros al Norte de Guaranda, y su trazado finaliza en el Cantón Echeandía, límite occidental de la provincia de Bolívar. El tramo Guanujo - Echeandía es un medio vial y de comunicación de la Sierra central con la región costera. Se caracteriza por atravesar relieves con pendientes fuertes (MTO, 2019).

Ilustración 1: Mapa de Ubicación



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

2.1.1. Clima

La zona en estudio tiene una variedad de climas, desde los páramos fríos, entre 4° C a 7° C, hasta subtropical cálido, de 18° C a 24° C. Es un cantón que tiene varios pisos climáticos, cuya temperatura promedio es de 13°C (GUARANDA, 2024).

2.1.2. Temperatura Media Mensual

La temperatura media de la zona es de 23 °C con calores mínimos de 15°C en los meses de mayo y agosto; Valores máximos de 24°C en los meses de febrero-abril.

Según (MTOPE, 2019), las precipitaciones de la zona están representadas por los registros de la estación M383 Echeandía, las mayores precipitaciones se muestran en los períodos de diciembre – mayo, y período seco entre junio y octubre.

Las precipitaciones medias en épocas de lluvia varían entre 170 y 492 mm/mes, en épocas secas varían de 17 – 58 mm/mes.

2.1.3. Geología

La geología que se identificó a lo largo de la vía Guanujo – Echeandía, cantón Guaranda provincia Bolívar se presenta a continuación:

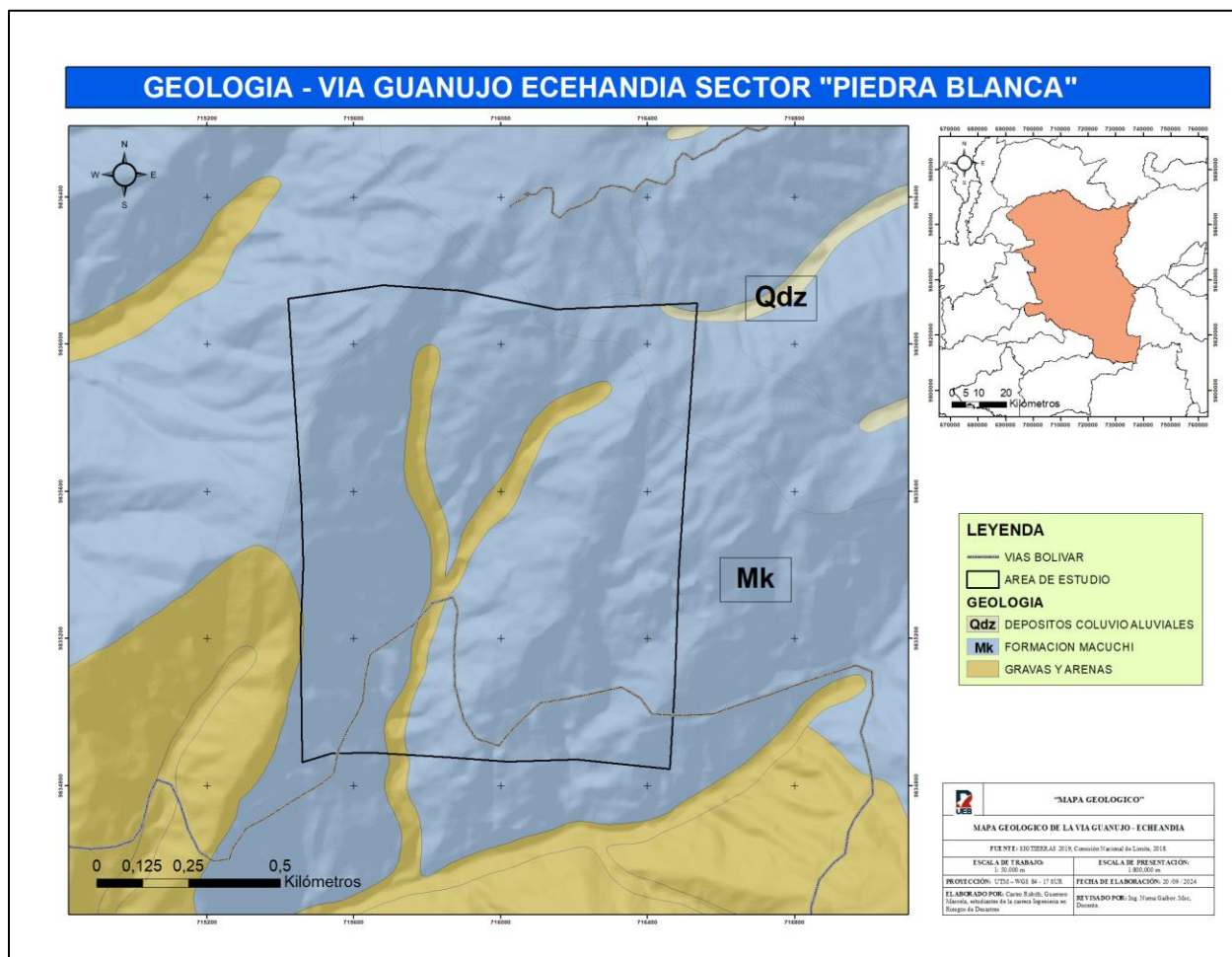
Luis Escorza (1993)menciona según su estudio realizado que la ciudad de Guaranda se localiza en la zona denominada “Depresión Guaranda”, la misma que está limitada por tres fallas geológicas; desde la más antigua tenemos: la falla del río Salinas, que es una extensión del río Chimbo, presenta un rumbo norte – sur y esta falla a su vez se considera como un ramal de la falla regional Puná – Pallatanga – Riobamba; la falla del río Guaranda o falla Illangama – Guaranda que se localiza paralela a la cordillera de Chimbo al flanco oeste de la cordillera Occidental; la falla de Negroyacu, como consta en el esquema tectónico de la depresión Guaranda (Escorza, 1993).

El cantón Guaranda cuenta en su territorio con 3 formaciones geológicas las cuales están diferenciadas, la formación Macuchi siendo la unidad más antigua del cantón comprende de areniscas volcánicas, limolitas, tobas turbidíticas depositadas y lavas andesíticas a andesitas basálticas. Volcanoclásticas gruesas subordinadas (brechas) y sedimentos clásticos de grano fino (lutitas) son localmente importantes. Son rocas típicamente de color gris verdoso a gris, duras y compactas, interestratificadas, con estratos volcanoclásticos duros de gran volumen.

2.1.4. Volcánicos Cuaternarios (Qv)

Según Aspden et al., 1997, estos depósitos volcánicos comprenden los conocidos como Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Carihuairazo, Guaranda, Palmira, Cangahua, de los cuales se describe a los depósitos volcánicos denominados Guaranda, debido a que son los únicos que se encuentran en el área de estudio. Los depósitos volcánicos Guaranda son una serie de tobas andesíticas de color café y grano fino, intercaladas con lavas andesíticas porfiríticas, recubiertas por depósitos periclinales de ceniza y pómez probablemente consolidados. La edad sugerida para estos depósitos es pleistocénica. (Raúl Mauricio Villacís Salazar, 2020)

Ilustración 2: Mapa Geológico



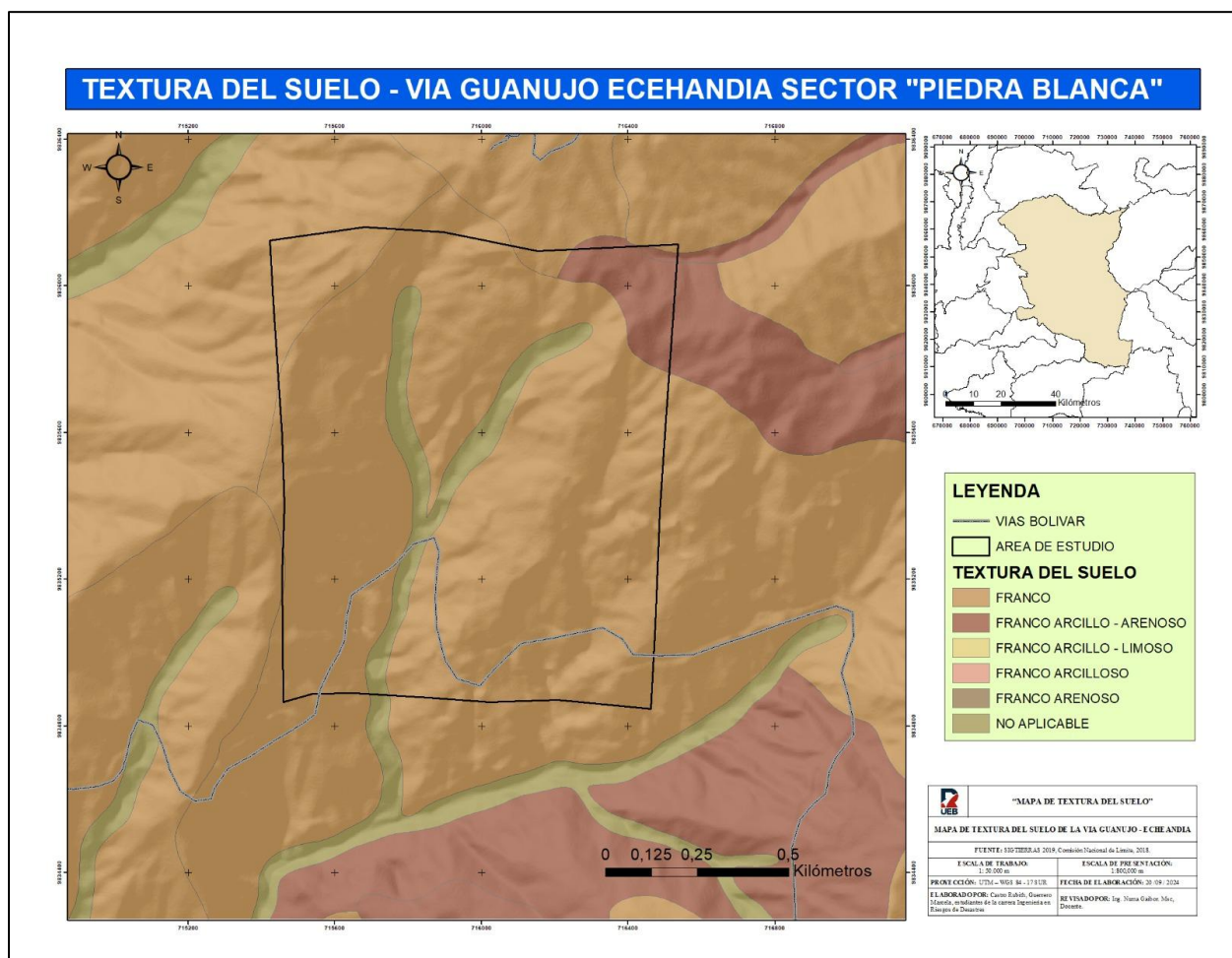
Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

El mapa de geología del cantón Guaranda específicamente el área de estudio “Piedra Blanca” en el cual se identifica en la leyenda con una línea de color gris las vías, el área de estudio con un cuadro de color negro, así como también, se muestra su unidad geológica que consta con depósitos coluvio aluviales (Qdz) se identificó también que en la zona de estudio destaca la unidad Macuchi (Mk) y por ultimo mediante el análisis del suelo se identificó que en el área predominan las gravas y arenas.

2.1.5. Textura del Suelo

En la vía Guanujo Echeandía sector Piedra Blanca, se puede evidenciar que la textura de suelo es franco (se denomina a las partes superficiales del terreno cuya composición cuantitativa está en proporciones óptimas se le considera un suelo de alta productividad agrícola, el suelo franco tiene relativamente cantidades iguales de arcilla, arena, y partículas de limo). (Gonzalez, 2020)

Ilustración 3: Mapa de Textura del Suelo



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

2.1.6. Morfología y Geomorfología

Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan las medidas de prevención o control (Díaz, 2009).

En el cantón Guaranda el dominio de la morfología glaciar empieza a 4.500 msnm, emplazándose únicamente en la Cordillera Occidental. Los primeros se localizan sobre los espinazos en relieve, cuyos flancos son recortados por una sucesión de anfiteatros de forma semicircular, con paredes verticales y fondo plano.

Entre las zonas más elevadas de la Cordillera Occidental, que se corresponden con el dominio fisiográfico de las Cimas frías, y la región Costa, se encuentra este dominio que, ocupando una anchura de entre 20 y 50 kilómetros, puede alcanzar desniveles relativos de hasta 2.000 y 3.000 metros, lo que proporciona una idea de lo escarpado del mismo. Da lugar a morfologías muy variadas y con características diferentes en función del tipo de sustrato sobre el que se presenta y de la existencia o ausencia de cobertura piroclástica. Las vertientes sobre antiguas formaciones volcánicas como la Macuchi y Yunguilla, con o sin cobertura piroclástica, exhiben una gran heterogeneidad y procesos morfodinámicos muy activos, ligados a una intensa erosión lineal. En el cantón Guaranda este dominio está representado por las formaciones Pisayambo, volcánicos Guaranda, Chimborazo y Runayacu. Sobre sustrato predominantemente granítico y granodiorítico,

La geomorfología en este cantón tiene su origen en procesos tectónicos desarrollados en la Sierra Central del país, como es el levantamiento de la Cordillera Occidental, dando aparición

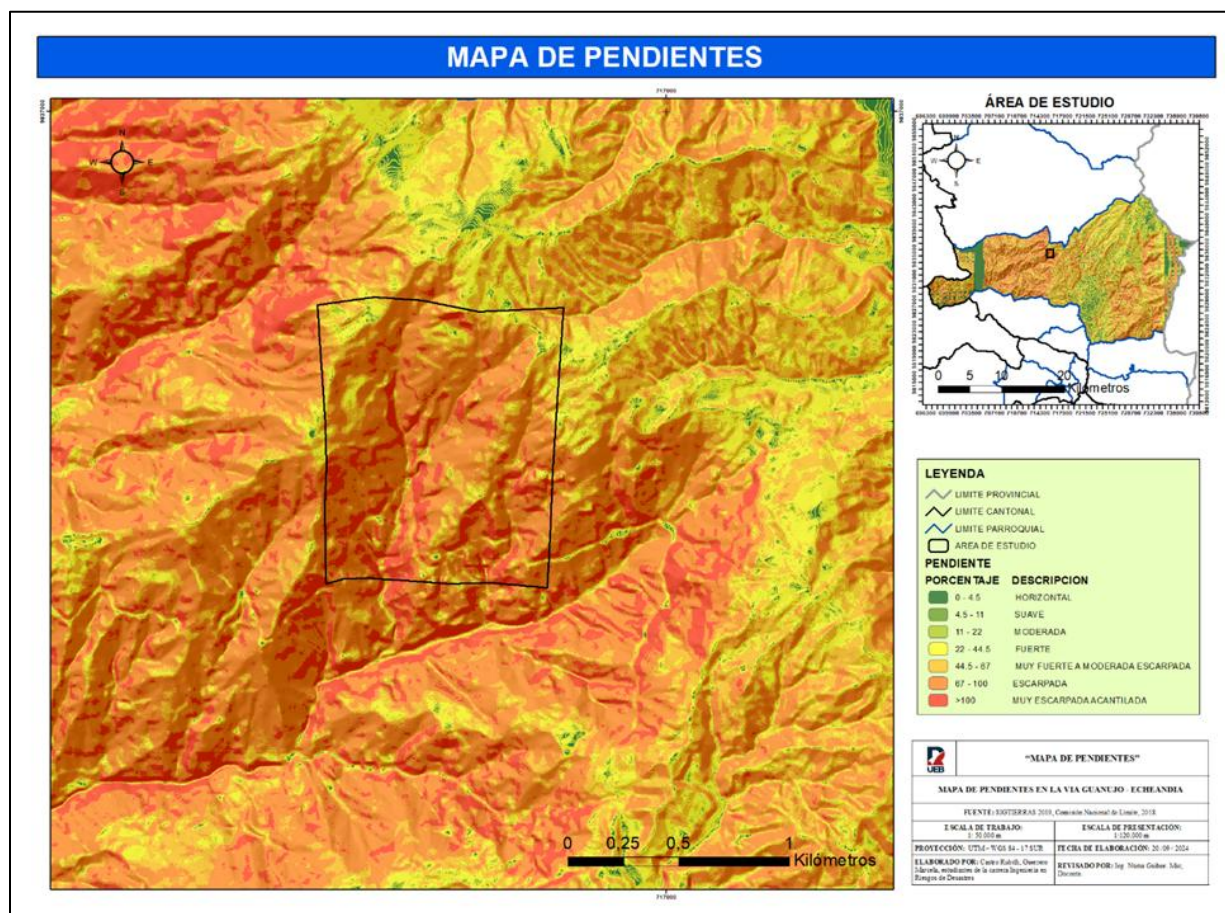
a los macizos rocosos presentes en la zona. El levantamiento constante se desarrolló paralelamente con la actividad volcánica que dio origen a los relieves montañosos originales y de gran magnitud que dominan el paisaje (MAGAP, 2015).

El área investigada presenta relieves con pendientes abruptos a suaves, con áreas empinadas y ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (MTO, 2019).

2.1.7. Pendiente

Al aumentar la pendiente, generalmente se desarrollan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Los taludes de alta pendiente son muy susceptibles a la ocurrencia de inclinaciones, caídos y flujos de residuos (Díaz, 2009).

Ilustración 4: Mapa de Pendientes



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

En el mapa muestra una representación de las pendientes del área de estudio “Piedra Blanca” para lo cual se aplicaron los rangos según el umbral geomorfológico de (VERGARA , J.F, & BORGEL, 1972) (FERRANDO, 1992) y (YOUNG, 1977), en los cuales se determinó en que rango se encuentra la pendiente del área de estudio. Dando como resultado que la pendiente se encuentra dentro del rango 44.5% hasta >100% indicando que tiene una pendiente muy fuerte a moderada escarpada hasta muy escarpada acantilada, de modo que los parámetros para clasificar el mapa de pendientes fue la siguiente:

Tabla 1

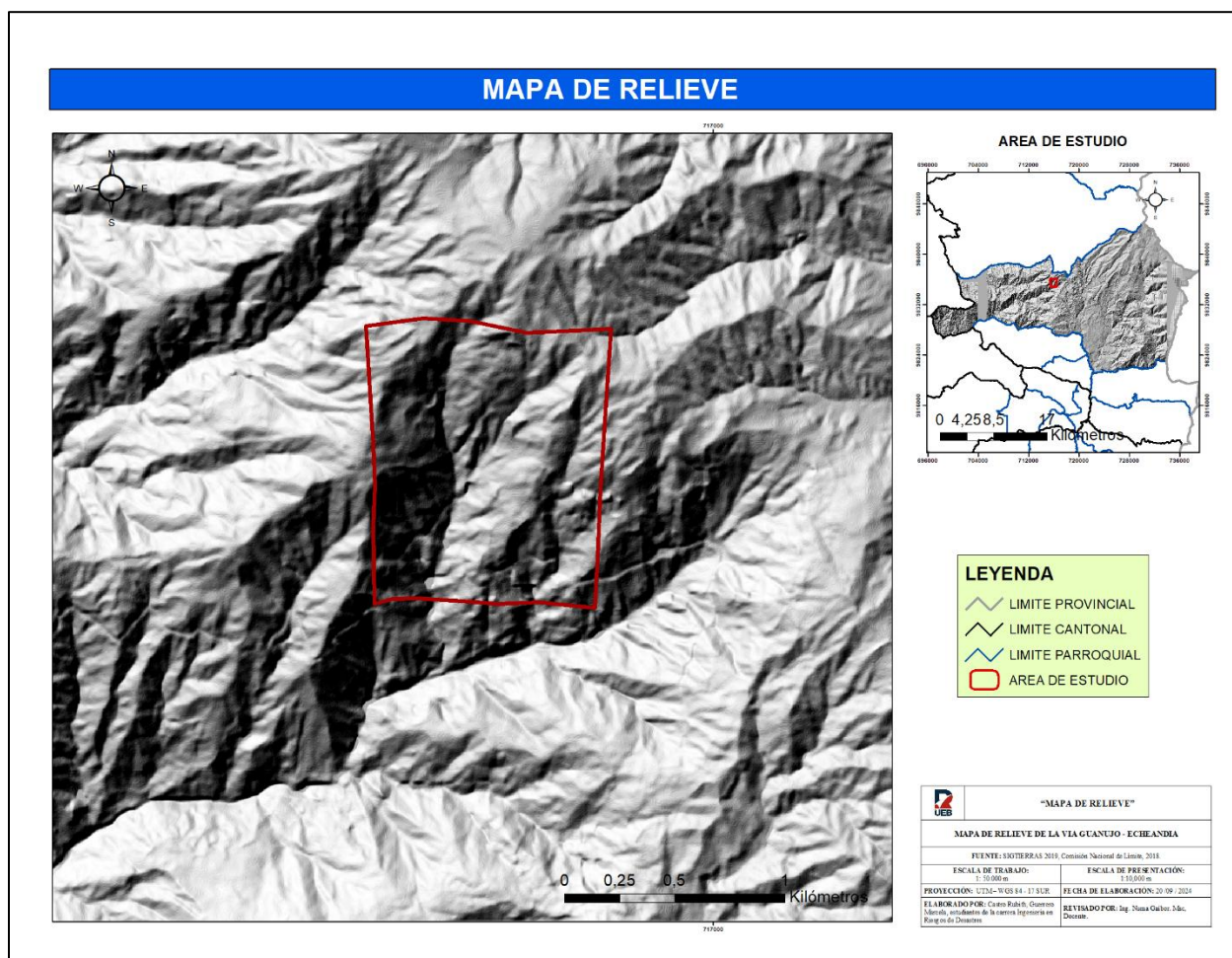
Rangos de pendiente según el umbral geomorfológico

Grados de Pendiente	Tipo de Pendiente	Umbral Geomorfológico	Grado de Erodabilidad
0° - 2°	Horizontal	Erosión nula o leve	Bajo
2,1° - 5°	Suave	Erosión débil, difusa (shett wash), inicio de regueros y soliflucción fría.	Bajo
5,1° - 10°	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal (rill wash).	Medio
10,1° - 20°	Fuerte	Erosión intensa, cárcavas insipientes.	Alto
20,1° - 30°	Moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación.	Alto
30,1° - 45°	Muy escarpada	Coluviamiento, soliflucción intensa.	Muy alto
>45°	Acantilada	Desprendimientos, derrumbes, corredores de derrubios.	Muy alto

La vía Guanujo –Echeandía atraviesa un terreno con pendientes pronunciadas, lo que implica desafíos en cuanto a la infraestructura vial.

2.1.8. Relieve

Ilustración 5: Mapa de Relieve



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

Este mapa representa el relieve del área de estudio el cual está ubicado en una zona montañosa.

2.2. Antecedentes (académicos y artículos de investigación)

Análisis de estabilidad de taludes

En los estudios de la estabilidad de taludes como el del sector Piedra Blanca, hace referencia al análisis continuo el cual considera taludes confinados con defectos de superficie circular y plana en suelos clásicos (suelos portantes), así como macizos rocosos con un alto

grado de discontinuidad persistente: ya sea con pequeñas discontinuidades, macizos rocosos con muchas familias; se analizan discontinuidades en un entorno continuo o macizos rocosos con muchos grupos de discontinuidades en un entorno continuo. En dos categorías de materiales geológicos, conocidos como suelos y macizos rocosos migrados, el análisis clásico se realiza de manera aproximada pero numérica en el marco del concepto de mecánica de equilibrio límite bidimensional y el concepto de factores de seguridad globales. Durante los últimos 60 años, se han construido muchas rampas en respuesta al rápido crecimiento de las ciudades y áreas urbanas en América Latina. Las colinas naturales se transformaron en zonas residenciales y comerciales. La mayoría de los centros urbanos de América Latina presentan paisajes montañosos que han sido altamente desarrollados por el hombre, particularmente debido a la presencia de la Cordillera de los Andes, que recorre del extremo sur al norte a lo largo de toda la costa occidental del continente, muchas de las cuales se ubican en los extremos. Clima: desiertos y abundantes precipitaciones. (Herrera Rodríguez, 2020).

Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas.

Algunos taludes que permanecen estables durante muchos años pueden presentar deslizamientos cuando sucede un período de lluvia extraordinaria. En este fenómeno intervienen no sólo las características litológicas, geométricas y mecánicas del talud, sino también el régimen de lluvia- evaporación- infiltración del sitio. En este artículo se analizó la estabilidad de un talud en la comunidad San Juan de Grijalva, municipio de Ostucán, Chiapas, el cual ostentó un deslizamiento durante un período de lluvias intensas. El volumen de este deslizamiento fue de más de 5 millones de metros cúbicos de suelo y ocasionó la obstrucción del cauce del río Grijalva. De este talud se obtuvieron sus características estratigráficas y geométricas y se realizó

un muestreo inalterado para determinar las características mecánicas del material del talud. En el análisis de estabilidad se consideró la variación de la cohesión provocada por el humedecimiento y con ello se pudo observar cómo el factor de seguridad del talud evoluciona con el contenido de agua del cuerpo del talud. Mediante el análisis de la infiltración de agua de lluvia y de la estabilidad del talud ha sido posible reproducir el proceso de falla (MORA-ORTIZ, 2012)

Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador

La carretera Puyo-Tena es expuesta a deslizamientos de tierra debido a la geodinámica, geomorfología y materiales geológicos de la zona (afloramientos y estratos inestables). En los últimos años, este problema ha provocado de forma constante la invalidación parcial o total de la carretera en numerosas ocasiones. El objetivo de la investigación fue generar un modelo cartográfico de susceptibilidad a deslizamientos a partir de variables como la pendiente, las formaciones geológicas, la cobertura y uso de la tierra, así como las distancias a fallas, carretera y ríos. El grado de incidencia de deslizamientos se estimó como la combinación lineal de las variables ponderadas mediante el proceso de jerarquía analítica. La importancia de este método semicuantitativo radica en su capacidad para desagregar un problema de decisión complejo en un modelo de decisión más simple y coherente. El modelo cartográfico resultante se reclasificó en cinco categorías de susceptibilidad: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Los resultados mostraron que 17 km de los 80 km de la carretera Puyo-Tena poseen una alta probabilidad a deslizamientos, lo que equivale a 21,25% de la carretera. Además, dentro de este porcentaje, se determinó que existen quince regiones con alta probabilidad de deslizamientos debido a su ubicación en zonas con fuertes pendientes, litología porosa y permeable, gran cantidad de ríos y suelos agrícolas. Para la comprobación del modelo se utilizó el área bajo la curva (en inglés

AUC) de la característica operativa del receptor (en inglés ROC). Los resultados de la verificación mostraron que el modelo cartográfico para el área de estudio tiene un valor de precisión de 83,7%. El modelo cartográfico de susceptibilidad a deslizamientos permitirá tomar las decisiones pertinentes para mitigar eventos potenciales que puedan poner en peligro a transportistas, bienes materiales y residentes de la zona. (Cargua et al., 2024)

Susceptibilidad A Deslizamientos Mediante El Uso De Sig, A Escala 1: 10000, Del Tramo Vial Comprendido Desde: El Redondel Del Barrio El Plateado Hasta El Antiguo Peaje Del Cantón Catamayo, Provincia De Loja

Los estudios de susceptibilidad a deslizamientos permiten identificar zonas propensas a la ocurrencia de estos fenómenos, las cuales pueden verse afectadas debido a la propia litología de los materiales o diversos agentes mismos que pueden ser geomorfológicos e hidrológicos, propios del entorno en los cuales se ubican dichos materiales. El estudio realizado tiene como propósito analizar zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Panamericana – Troncal Sur, en el tramo definido entre el redondel del barrio El Plateado, hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, a partir del análisis de variables condicionantes y desencadenantes que permitan reconocer las condiciones reales de terreno, mediante metodologías de interpretación de ortofotos a escala 1:5000, trabajo de campo y manejo de herramientas SIG. A partir del análisis de las distintas variables trabajadas, mismas entre las cuales se tienen: Geología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura y uso de suelo, Precipitaciones y Temperatura se realizó el mapa final de susceptibilidad a deslizamientos mediante el Método Espacial Multicriterio de Suma de Rangos, asignando pesos a cada subvariable y variable, en dependencia de las observaciones y labores realizadas en campo y gabinete por el autor. Se enfatiza que para corroborar los datos obtenidos en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos se realizó un inventario de

deslizamientos, teniendo una totalidad de 8 deslizamientos en zona de susceptibilidad alta, entre los cuales se encuentran 3 deslizamientos traslacionales y 5 deslizamientos rotacionales, y, una totalidad de 6 deslizamientos en zona de susceptibilidad muy alta, entre los cuales se tienen 3 deslizamientos rotacionales y 3 deslizamientos traslacionales, verificando una efectividad del 88,56% en el método utilizado, en cuando a número de deslizamientos presentes en zona de susceptibilidad alta y muy alta, todo ello se desprende de un correcto trabajo en campo y una acertada asignación de pesos a las variables analizadas. (Mauricio & Malla, 2021)

Análisis de la susceptibilidad de los fenómenos de remoción en masa de la carretera Loja-Zamora

La carretera Loja-Zamora desde los inicios de su construcción se ha visto afectada por fenómenos de remoción en masa (FRM) e inestabilidad de taludes que han ocasionado inconvenientes a los pobladores de ambas ciudades. La presente investigación tiene como objetivo valorar la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa que presentan los taludes y laderas. La evaluación se basó en la interpretación de fotografías aéreas, observaciones directas y levantamiento de información a través de fichas en el campo. Como metodologías de evaluación se utilizaron tres procedimientos: el primero propuesto por Brabb (Varnes, 1984) el cual considera la litología, pendientes y un mapa de inventario de FRM; se consideró como límite del área de influencia la divisoria de las cuencas hidrográficas que drenan hacia la carretera. La segunda metodología determina la susceptibilidad de las 170 cuencas hidrográficas a procesos hidromorfológicos (crecidas, crecidas con detritos y flujos de detritos) utilizando los parámetros morfométricos (longitud y área de la cuenca) y los resultados presentados por Wilford (2004). Finalmente, se evalúa el potencial de inestabilidad de taludes, partiendo del análisis de fracturamiento de las rocas que permitió reconocer la posibilidad de rupturas planares

y en cuña. Los fenómenos de remoción en masa ocurridos en el área de estudio son: deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de detritos, desprendimientos y caídas de rocas. Los resultados de la evaluación de susceptibilidad muestran niveles altos y medios en las rocas metamórficas con pendientes principalmente entre 27° a 89° y niveles de bajo a muy bajo en el caso de las rocas sedimentarias e intrusivas. La mayoría de las cuencas hidrográficas son susceptibles de flujos de detritos. Aproximadamente el 49% del trazado de la carretera muestra una alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa. (Cristian José Correa Campués, 2020).

Científico

2.3.1 Deslizamiento

Los deslizamientos (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden 1991). En el término “deslizamiento” se incluyen tanto los procesos de erosión como los procesos denudacionales. La naturaleza precisa del proceso no está incluida en la definición e incluye procesos que son producto de la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, etc. En el presente texto no se utiliza la denominación “Fenómeno de remoción en masa” (Mass Wasting), por considerarlo poco universal. Sin embargo, en Colombia, este término es utilizado regularmente. Algunos países utilizan otros nombres autóctonos como “deslaves” (Díaz, 2009).

Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Algunos del talud o ladera, pueden moverse hacia abajo mientras otros se mueven hacia arriba (Díaz, 2009).

2.3.2. Partes de un Deslizamiento

Las partes principales son las siguientes:

Cabeza. Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima. El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona. El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal. Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.

Escarpe secundario. Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios. **Superficie de falla.** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado.

Pie de la superficie de falla. La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base. El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

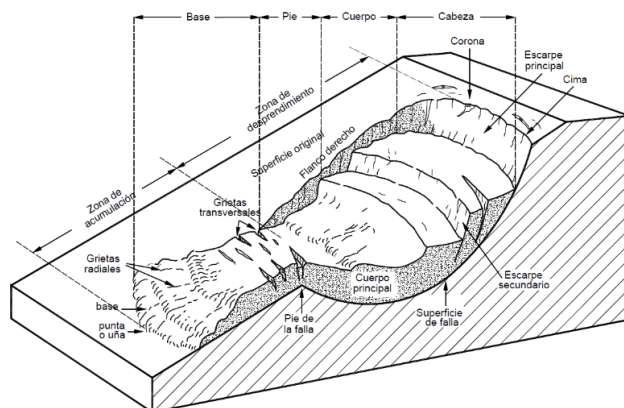
Punta o uña. El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Cuerpo principal del deslizamiento. El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno. La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco. Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo (Díaz, 2009).

Figura 1: Nomenclatura de las diferentes



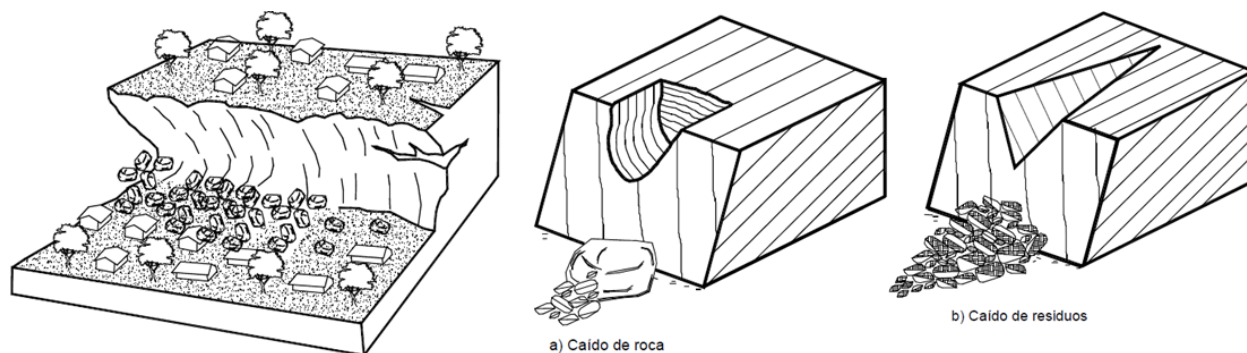
2.3.3. Clasificación De Los Movimientos

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento (Díaz, 2009).

Caído

Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da. Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando (Díaz, 2009).

Figura 2: Caído o desprendimiento de suelo

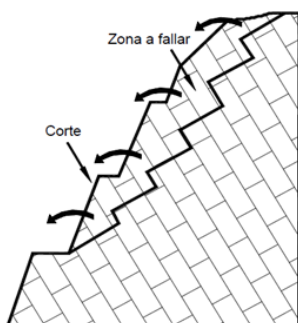


Inclinación o Volcamiento

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad.

Generalmente, los volcamientos ocurren en las formaciones rocosas, pero también, se presentan en suelos cohesivos secos y en suelos residual. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes grandes hasta de varios millones de metros cúbicos (Díaz, 2009).

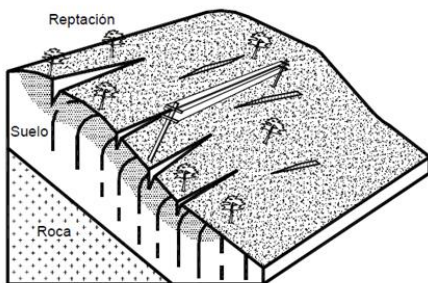
Figura 3: Desmoronamiento del talud o falla en escalera



Reptación (“Creep”)

La reptación o “creep” consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Díaz, 2009).

Figura 4: Esquema de un proceso de reptación

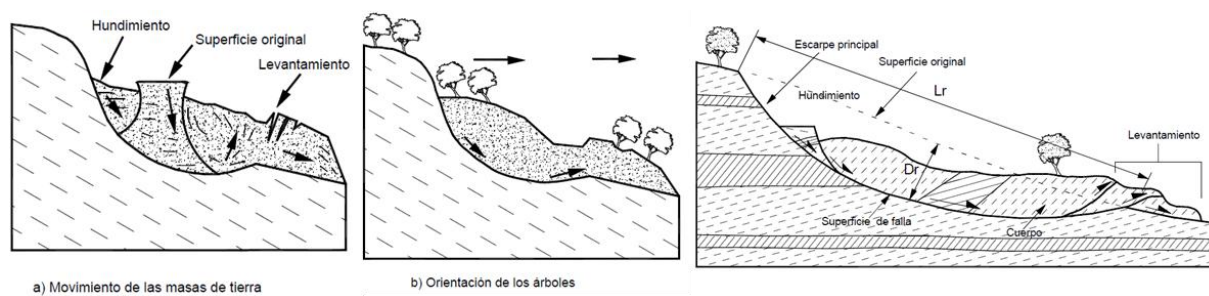


Deslizamientos en Masa (Traslacionales y Rotacionales)

Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento (Díaz, 2009).

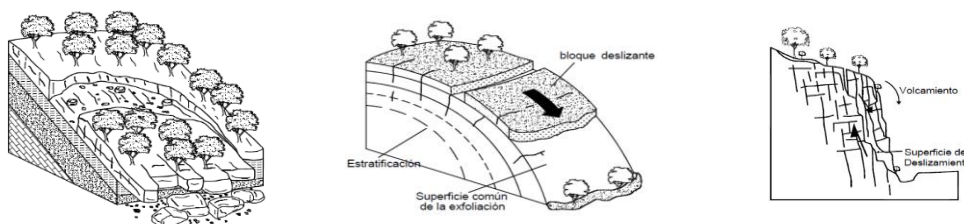
Figura 5: Deslizamiento rotacional típico y desplazamiento de rotación en una ladera



Deslizamiento de Traslación

En el desplazamiento de traslación la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1. En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte (Díaz, 2009).

Figura 6: Ejemplos de desplazamientos de traslación



2.2.1. ¿Por qué se producen y qué daños provocan?

Casi siempre son provocados por la acción del ser humano, aunque la naturaleza también pone su parte. Entre las principales causas pueden citarse:

La deforestación de las faldas de los cerros o montañas.

Las formas de sembrar en las montañas no son las más adecuadas (sembrar a favor de la pendiente).

La construcción de muchas casas o comunidades en las faldas de las montañas.

Las lluvias fuertes que duran varios días.

Los cortes que se hacen en las faldas de las montañas para construir carreteras, caminos o viviendas. (Desastres, s.f.)

2.2.2. Causas De Los Deslizamientos De Tierra

- La causa principal de los deslizamientos de tierra suele ser la saturación del suelo debido a la lluvia intensa, el deshielo o la infiltración de agua en el terreno.
- La inclinación o pendiente de un terreno es un factor crítico. Las laderas empinadas son más propensas a los deslizamientos de tierra, ya que la fuerza gravitatoria tiende a superar la resistencia del suelo a mantenerse en su lugar. Incluso una pendiente moderada puede volverse peligrosa si el suelo está saturado o debilitado.
- La composición del suelo y el tipo de rocas presentes en una zona también influyen en la susceptibilidad a los deslizamientos.
- La lluvia intensa, especialmente en un corto período de tiempo, puede saturar rápidamente el suelo y aumentar la presión del agua en las capas superficiales.

Esto reduce la fricción entre las partículas del suelo, debilitándolo y facilitando los deslizamientos.

- Hay que tener muy en cuenta que los movimientos sísmicos pueden desencadenar deslizamientos de tierra al perturbar la estabilidad del terreno. Los temblores hacen que las capas de suelo se separen o deslicen, lo que provoca el desplazamiento. Te puede interesar este post sobre la Diferencia entre sismos, temblores y terremotos.
- Otro aspecto a tener en cuenta es el factor humano. La alteración del paisaje debido a la construcción, la minería, la tala de árboles o la excavación puede debilitar la estabilidad del suelo y aumentar el riesgo de deslizamientos de tierra. (Portillo, 2023).

2.2.3. Consecuencias de los deslizamientos de tierra

- Los deslizamientos de tierra causan daños graves o incluso la destrucción completa de viviendas, edificios y estructuras. Esto da lugar a pérdidas económicas considerables para los propietarios y las comunidades afectadas. Los residentes atrapados en zonas de deslizamientos o áreas cercanas pueden resultar heridos o perder la vida debido a la velocidad y la fuerza del deslizamiento.
- Otra de las consecuencias es que algunos de ellos afectan a las carreteras, vías férreas y otras rutas de transporte, dificultando la movilidad y el acceso a las áreas afectadas.
- Los deslizamientos de tierra pueden represar ríos o arroyos, lo que lleva a la acumulación de agua. Cuando estos represamientos ceden, provocan inundaciones repentinas aguas abajo, aumentando aún más el riesgo para las personas y las

propiedades. Te recomendamos leer este artículo sobre las Causas y consecuencias de las inundaciones.

- Después de un deslizamiento de tierra, la recuperación suele ser costosa y llevar mucho tiempo. Esto incluye la limpieza y la restauración de las áreas afectadas, así como la reparación de infraestructuras dañadas. Las comunidades que experimentan deslizamientos de tierra a menudo enfrentan un impacto económico a largo plazo.
- En algunos casos, los deslizamientos de tierra pueden hacer que las personas se vean obligadas a abandonar sus hogares y comunidades debido a la inseguridad en el área afectada. Esto puede tener efectos devastadores en la vida de las personas y sus relaciones sociales. (Portillo, 2023).

2.2.4. Mecánica de suelos

Para definir la mecánica de suelos no se ocurre nada mejor que recurrir al mismo Terzaghi, quien en su libro *Theoretical Soil Mechanics* dice: “La Mecánica de Suelos es la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que traten con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica (Terzaghi, 1956)”

La mecánica de suelos incluye:

- a) Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basadas en simplificaciones necesarias dado el actual estado de la técnica.
- b) Investigación de las propiedades físicas de los suelos reales.

- c) Aplicación del conocimiento teórico y empírico a los problemas prácticos (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

La Mecánica de Suelos ofrece las herramientas que permiten la solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos: el origen y la formación del suelo es el primer análisis para sectorizar o inferir sobre la aspecto de formaciones litológicas diferentes, de comportamientos diversos; la relación de fases permite conocer los pesos y volúmenes de los suelos y sus variaciones cuando cambia su humedad; la clasificación de los suelos se soporta en los laboratorios de granulometría y plasticidad, donde se asemejan las propiedades de los suelos granulares, dependiendo de la cantidad y frecuencia de los tamaños de los granos que conforman el suelo o las cualidades de los suelos finos por la plasticidad que exponen sus partículas finas.

El suelo y el agua tienen vínculos muy estrechos y tanto la ausencia de agua dentro de la estructura del suelo cuando éste se seca, o el exceso hasta la saturación ejercen control sobre su peso, alteran la resistencia de ese suelo y cambia su volumen; además de la respuesta del suelo fino saturado por la aplicación de cargas estáticas, cuando se induce el flujo del agua libre, se deforma y sufre asentamiento la estructura apoyada en él.

El suelo debe ser un elemento funcional en los proyectos de ingeniería cuando conforma taludes de corte y de terraplenes, y su funcionalidad se vincula con la conservación de la humedad y de la plasticidad para soportar la vegetación que lo protege y conservar sus cualidades que permiten la estabilidad del talud (Macías , y otros, 2018).

2.2.5. Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS)

Divide a los suelos en dos grupos:

- a) Suelos De Partículas Gruesas, Son aquellas en que más del 50% son retenidos en el tamiz N° 200. Este suelo a su vez se subdivide en gravas y arenas.

b) Suelos De Partículas Finas, Son aquellos en que más del 50%, pasa el tamiz N° 200.

Para el método del “SUCS”, se utiliza el cuadro N° 2, donde básicamente aparece la carta de plasticidad de Casagrande.

Curva Granulométrica. - La gráfica granulométrica, suele dibujarse con los porcentajes como ordenada y los tamaños de las partículas como abscisas.

Las ordenadas, se refieren a porcentaje en peso de las partículas menores que el tamaño correspondiente (BORDA).

Características De La Curva Granulométrica

1) Coeficiente de Uniformidad (Cu)

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Para gravas bien graduadas (GW):

$$C_u > 4$$

Para arenas bien graduadas (SW):

$$C_u > 6$$

2) Coeficiente de Curvatura (Cc)

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Para suelos bien graduados (W):

Entre 1 y 3

D_{60} = Tamaño tal que, el 60% en peso del suelo, sea igual o menor.

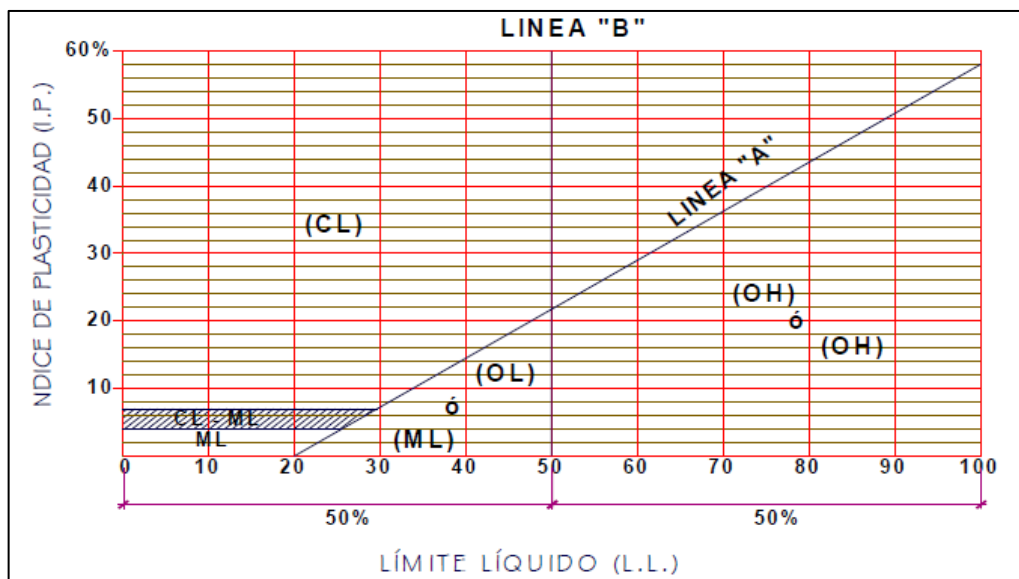
D_{10} = Tamaño tal que, sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo, llamado por

HAZEN, Diámetro Efectivo.

D_{30} = Se define análogamente que los anteriores.

Tabla 2*Tipo de suelo*

Nombre	Suelos, Grosos, Tamaño
Gravas	Más de la mitad de la fracción de material grueso queda retenida en el tamiz N° 4. Tamiz N° 4 (4.76 mm.) a 3 pulg. (7.6 cm.)
Arenas	Más de la mitad de la fracción de material grueso pasa el tamiz N° 4. Tamiz N° 200 (0.074 mm.) a Tamiz N° 4 (4.76 mm.)

Carta De Plasticidad**Para Clasificación De Suelos De Partículas Finas****Ecuación Línea "A" I.P. = 0.73 (L.L. - 30)***Ilustración 6: Limite líquido***2.2.6. Análisis De Estabilidad De Taludes**

En el estudio de la estabilidad de los taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. Los agentes externos responsables de la inestabilidad son una fuerza de masa, el peso y, eventualmente, los efectos de filtración, a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas (estáticas/dinámicas).

En Ecuador, los movimientos en masa, también conocidos como deslizamientos o procesos de remoción en masa, se clasifican principalmente en los siguientes tipos:

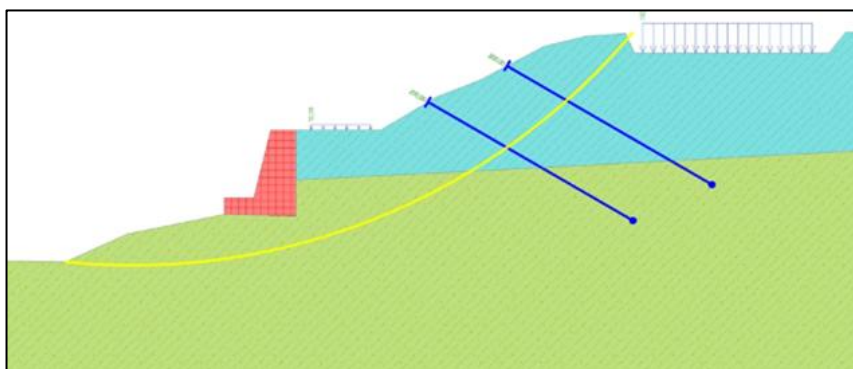
1. **Deslizamientos:** movimiento de una masa de suelo o roca ladera abajo, predominantemente a lo largo de una superficie de falla. Se subdividen en:
 - **Rotacionales:** Ocurren sobre una superficie de falla curva con un centro de giro por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento
 - **Traslacionales:** Se desarrollan sobre una superficie de falla ‘plana o ligeramente ondulada con desplazamiento paralelo a la pendiente.
2. **Caídas:** Desprendimiento súbito de bloques de roca o suelo desde una pendiente o acantilado, cayendo libremente o rodando cuesta abajo.
3. **Flujo:** Movimiento de materiales saturados de agua que se comportan como fluidos viscosos. Incluyen:
 - **Flujos de lodo:** Desplazamiento rápido de suelo fino saturado.
 - **Flujos de escombros:** Movimiento de una mezcla de suelo, rocas y agua.
4. **Reptaciones:** Desplazamientos lentos y continuos de suelo o roca en una pendiente, generalmente imperceptibles a corto plazo. (Ecuador, 2021)

2.2.7. Análisis De Estabilidad

Análisis de Estabilidad para Taludes de Tierra

La estabilidad de un talud especificado de forma genérica en suelos o rocas erosionadas se puede resolver analíticamente en el programa. Estabilidad de Taludes puede determinar la peor superficie de deslizamiento circular o poligonal, resolver escenarios específicos de aguas subterráneas e incorporar elementos de estabilización como anclajes, clavos, refuerzos y/o pilotes.

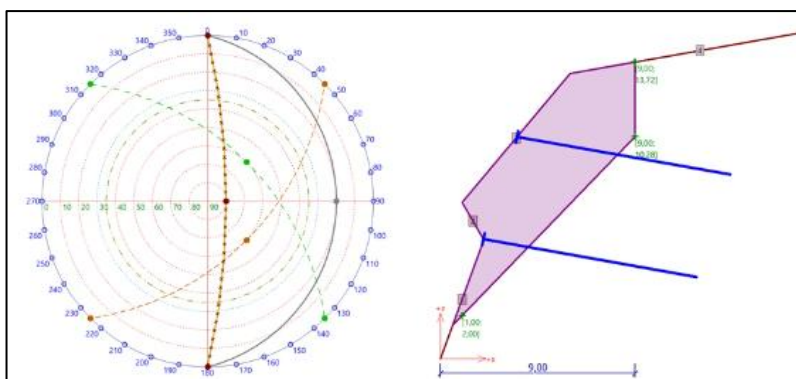
Figura 7: *Análisis de estabilidad para taludes de tierra*



Análisis de Estabilidad de Macizos Rocosos

El programa Estabilidad de Roca resuelve la estabilidad de taludes rocosos según superficies de deslizamiento planas o poligonales. También es posible analizar cuñas de roca utilizando la proyección estereográfica de Lambert.

Figura 8: *Análisis de Estabilidad de Macizos Rocosos*



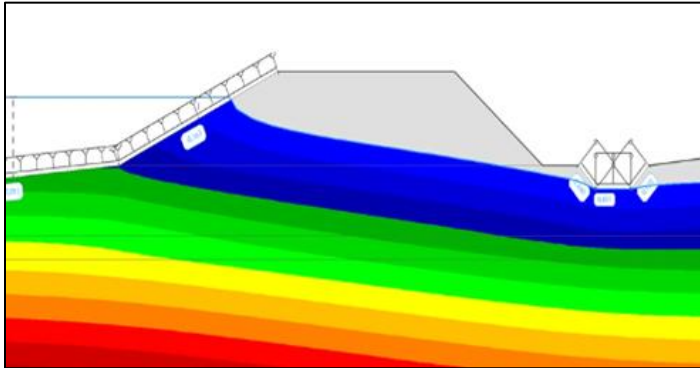
Análisis de Estabilidad por MEF

El agua subterránea se puede analizar mediante cálculo numérico de filtración del flujo de agua en el módulo de extensión Estabilidad de Taludes – Flujo de Agua. Se puede considerar tanto el flujo de agua transitoria como en estado estacionario.

La estabilidad genérica de un talud también se puede resolver numéricamente con el programa MEF. El programa utiliza el método basado en reducción gradual de los parámetros de resistencia al corte M-C (ϕ , c) el cual se puede ejecutar en cualquier etapa de construcción. De

ser necesario, el análisis numérico de filtración se puede resolver utilizando el módulo de extensión MEF - Flujo de Agua.

Figura 9: *Análisis de Estabilidad por MEF*



2.2.8. Factor De Seguridad

Una definición del factor de seguridad contra la falla de un talud es la del valor resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo, a lo largo de una superficie crítica de deslizamiento, por la resistencia al corte requerido para mantener el equilibrio.

La tarea del ingeniero encargado de analizar la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad. En general el factor de seguridad se define como:

$$FS_S = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FS= Factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = Resistencia cortante promedio del suelo

τ_d = Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se expresa como:

$$\tau_f = c + \sigma' x \tan \phi$$

Donde:

c = Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción

σ' = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla

De manera similar:

$$\tau_d = c_d + \sigma' x \tan \phi_d$$

Donde:

c_d y ϕ_d son, respectivamente, la cohesión efectiva y el ángulo de fricción que se desarrolla a lo largo de la superficie potencial de falla. Sustituyendo las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1), se obtiene:

$$FS_s = \frac{c + \sigma' x \tan \phi}{c_d + \sigma' x \tan \phi_d}$$

Se puede introducir algunos otros aspectos del factor de seguridad, es decir, el factor de seguridad con respecto a la cohesión FS_c y el factor de seguridad con respecto a la fricción FS_ϕ y se define como sigue:

$$FS_c = \frac{c}{c_d} \quad FS_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}$$

Se aprecia que cuando FS_c se vuelve igual a FS_ϕ , ese es el factor de seguridad con respecto a la resistencia. O si:

$$\frac{C}{C_d} = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d}$$

Se puede escribir:

$$\frac{C}{C_d} = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d}$$

Cuando FS sea igual a 1,00, el talud está en un estado de falla incipiente. Generalmente un valor de 1,40 como factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable. El valor mínimo del factor de seguridad aceptable en una ladera depende de varias circunstancias, que se pueden asociar con el tipo de talud (Escobar & Duque, 2017).

Nota: se advierte que los esfuerzos normales empleados son valores relativos a la presión atmosférica P_A y que cualquier otra definición de esfuerzo cortante a la falla debe ir en termino de esfuerzos efectivos.

2.2.9. GEO 5

Es un conjunto de soluciones de software de gran alcance para resolver problemas geotécnicos por métodos analíticos tradicionales y por el método de elementos finitos (MEF). Los distintos programas verifican estructuras específicas, manteniéndolos intuitivos y fáciles de usar.

Soluciones para Muchos Problemas Geotécnicos

GEO5 está diseñado para resolver diferentes problemas geotécnicos, desde los más básicos (verificación de cimentaciones, muros, estabilidad de taludes), hasta programas altamente especializados (análisis de los túneles, daños debido a la construcción de un túnel, estabilidad de roca). Cada programa GEO5 resuelve un tipo definido de estructura, por lo que el cliente puede adquirir sólo aquellos que necesita.

El análisis de estabilidad de taludes y terraplenes es un aspecto crucial del diseño de ingeniería civil, especialmente para proyectos que involucran carreteras, ferrocarriles, presas, diques o vertederos. GEO5 es un potente paquete de software que ofrece una gama de herramientas y métodos para evaluar la seguridad y fiabilidad de taludes y terraplenes en diversas condiciones y escenarios.

Elige el módulo adecuado

GEO5 tiene varios módulos que pueden realizar análisis de estabilidad de taludes y terraplenes, como estabilidad de taludes, muros MSE, estabilidad de rocas y pilotes antideslizantes. Cada módulo tiene diferentes características y capacidades, dependiendo del tipo y la complejidad del problema. Por ejemplo, Slope Stability puede manejar superficies de deslizamiento circulares o poligonales, clavos de suelo, anclajes, geotextiles y presiones de agua, mientras que MSE Wall puede diseñar y verificar muros de tierra estabilizados mecánicamente con varios tipos de revestimiento. Debe elegir el módulo que mejor se adapte a los requisitos de su proyecto y a la disponibilidad de datos.

Introduzca la geometría y los parámetros del suelo

Una vez que haya seleccionado el módulo, debe ingresar la geometría y los parámetros del suelo del talud o terraplén. Puede utilizar la interfaz gráfica para dibujar la sección transversal del talud o terraplén, o importarla desde un archivo DXF. También puede definir el nivel del agua subterránea, la carga superficial y el coeficiente sísmico, si corresponde. A continuación, debe asignar los parámetros del suelo a cada capa o zona del talud o terraplén. Puede utilizar la biblioteca de suelo incorporada o introducir sus propios valores para el peso unitario, la cohesión, el ángulo de fricción, el ángulo de dilatación y otras propiedades relevantes.

Seleccione el método de análisis y los criterios de falla

GEO5 ofrece varios métodos de análisis y criterios de falla para el análisis de estabilidad de taludes y terraplenes, como métodos de equilibrio límite, métodos de elementos finitos, Bishop, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price y más. Cada método y criterio tiene sus propios supuestos y limitaciones, y puede producir diferentes resultados y factores de seguridad. Debe seleccionar el método y el criterio que sean más apropiados para las especificaciones y estándares de su proyecto, y comparar los resultados con otros métodos y criterios para verificar la sensibilidad y confiabilidad del análisis.

Generar las superficies de deslizamiento y los resultados

Después de elegir el método de análisis y los criterios de falla, puede generar las superficies de deslizamiento y los resultados del análisis de estabilidad de taludes y terraplenes. Puede dejar que GEO5 genere automáticamente las superficies de deslizamiento más críticas, o especificar sus propias superficies de deslizamiento manualmente o a partir de una plantilla. También puede modificar las superficies de deslizamiento añadiendo o eliminando vértices, o cambiando su posición o radio. A continuación, puede ver los resultados del análisis, como el factor de seguridad, la ubicación y la forma de la superficie de deslizamiento, las fuerzas normales y cortantes, las presiones de poro y los desplazamientos.

Evalúa las opciones de armadura y las variantes de cálculo

Si el talud o terraplén es inestable o no cumple con los criterios de diseño, puede evaluar las opciones de armadura y las variantes de diseño utilizando GEO5. Puede añadir diferentes tipos de elementos de refuerzo, como clavos de suelo, anclajes, geotextiles, pilotes o bermas, y ajustar sus parámetros, como la longitud, el diámetro, el espaciado, la inclinación y el pretensado. También puede cambiar la geometría o los parámetros del suelo del talud o terraplén,

y ver cómo afectan a la estabilidad y al factor de seguridad. Puede comparar los resultados de diferentes opciones de armadura y variantes de diseño, y elegir la solución más óptima y económica.

Exportar el informe y la documentación

Por último, puede exportar el informe y la documentación del análisis de estabilidad de taludes y terraplenes utilizando GEO5. Puede exportar el informe como un archivo PDF, RTF o HTML, e imprimirlo. También puede exportar la documentación del análisis, como los datos de entrada, los datos de salida, los gráficos y los diagramas, como un archivo XML o TXT, y utilizarla para su posterior procesamiento o verificación.

Metodologías según el tipo de deslizamiento

De acuerdo con el tipo de deslizamiento, circular o poligonal, se analizan a través de diferentes metodologías. El objetivo es satisfacer las ecuaciones de las fuerzas de equilibrio y de momento de equilibrio con respecto al punto.

Deslizamiento circular: las metodologías empleadas pueden ser Fellenius/Petterson, Bishop, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Shahunyants, ITF.

Deslizamiento poligonal: las metodologías empleadas por el programa pueden ser: Sarma, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Shahunyants, ITF.

A diferencia de los taludes rocosos, los modelos que permiten calcular la resistencia pico, son Mohr-Coulomb y Hoek-Brown.

Cuenta con procesos de optimización en la superficie de deslizamiento circular y poligonal. Consiste en ubicar dicha superficie con el menor factor de seguridad posible, el cual se conoce como superficie de deslizamiento crítica.

Además, se pueden establecer restricciones en el proceso de optimización. Esto se realiza introduciendo en el cuerpo del suelo aquellos sitios que no deben ser traspasados por la nueva superficie de deslizamiento. (Software de estabilidad de taludes GEO5, s.f.)

2.2.10. Global Mapper

Global Mapper es una aplicación de procesamiento de datos SIG asequible y fácil de usar que ofrece acceso a una variedad inigualable de conjuntos de datos espaciales y proporciona el nivel justo de funcionalidad SIG para satisfacer tanto a profesionales con experiencia en SIG como a principiantes en cartografía. Ideal tanto como herramienta independiente de gestión de datos espaciales como componente integral de un SIG empresarial, Global Mapper es imprescindible para cualquier persona que trabaje con mapas o datos espaciales.

Global Mapper es más que una simple utilidad; tiene funcionalidad incorporada para cálculos de distancia y área, combinación de ráster, suavizado, análisis espectral, consulta de elevación, cálculos de línea de visión, cálculos de volumen de corte y relleno, así como capacidades avanzadas como rectificación de imágenes, generación de contornos a partir de datos de superficie, análisis de cuencas visuales, delineación de cuencas hidrográficas, comparación de capas de terreno y triangulación y cuadriculado de datos de puntos 3D.

La interfaz de usuario intuitiva y el diseño lógico de Global Mapper facilitan el aprendizaje y garantizan que estará listo para usar en poco tiempo. Los usuarios verán rápidamente un retorno de la inversión significativo gracias al procesamiento eficiente de datos, la creación precisa de mapas y la gestión optimizada de datos espaciales.

Al ofrecer una solución completa de traducción SIG lista para usar, Global Mapper simplifica la implementación de tecnología espacial en su empresa u organización. Olvídense de las extensiones y los costosos módulos para acceder a la funcionalidad que necesita. El dinámico

ciclo de desarrollo y lanzamiento de Global Mapper garantiza que el producto crezca con usted a medida que sus necesidades y requisitos cambian. Ahora puede superar el estancamiento del flujo de datos SIG proporcionando una herramienta de software SIG práctica para todos los que necesiten acceder a estos datos críticos. (Geographics, 2025).

2.2.11. Infraestructura Vial

Destrucción y deterioro del pavimento. (Alcántara-Ayala, 2002)

Bloqueo de la vía por acumulación de escombros. (Froude, 2018)

Fallas estructurales en puentes y drenajes. (Hermanns, 2019)

2.2.12. Seguridad de los usuarios

Aumento del riesgo accidentes vehiculares.

Pérdida de vidas humanas en eventos de gran magnitud.

Obstaculización de servicios de servicios de emergencia.

2.2.13. Economía local

Afectación del transporte de productos agrícolas y comerciales.

Disminución del turismo y la conectividad entre comunidades.

Costos elevados en mantenimiento y reparación de la vía.

2.3.Base Legal

Para el marco legal se va a hacer la revisión de los artículos de la constitución de la república del Ecuador de modo que los que están enfocados en la gestión del riesgo son los que se mencionan a continuación

2.4.1. Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las

unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo.

2.4.2. Art. 390.- Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias

de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011).

Para la siguiente investigación se tomará en cuenta:

2.4.3. Ley De Gestión De Riesgos

Capítulo III Sistema Nacional Descentralizado De Gestión Integral Del Riesgo De Desastres

Sección Primera Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres

Art. 17.-Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres. - El Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres compone, entre otros, los principios, procesos, estructura, competencias e instrumentos para la reducción de riesgos, y recuperación ante emergencias y desastres. El Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres comprende todas las entidades, instituciones, organismos y organizaciones que actuarán en los términos previstos en esta ley, sin perjuicio de la facultad de gestión autónoma de orden administrativo, económico, financiero, presupuestario y organizativo que la Constitución o las leyes establezcan.

Las personas, colectividades y las entidades privadas aplicarán medidas de autoprotección y reducción de riesgos. Los lineamientos para este propósito serán emitidos por el ente rector de gestión del riesgo de desastres.

Art. 19.-Funciones generales de las entidades y actores integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres. -Todos los actores que conforman el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres, en

cumplimiento de sus atribuciones, funciones y responsabilidades, están obligados a organizar su gestión para garantizar la seguridad de la población ante el riesgo de desastres y están obligadas a:

1. Identificar y evaluar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información pública suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Incorporar en forma transversal, la gestión integral de riesgo en su planificación y gestión, estableciendo las medidas necesarias para la prevención del riesgo futuro, la reducción del riesgo existente, la respuesta y la recuperación ante emergencias o desastres.
4. Incorporar medidas de reducción del riesgo de desastre durante la fase de planificación y construcción en proyectos de infraestructura.
5. Establecer medidas para la continuidad de los servicios públicos a su cargo y proteger a su personal, las o los usuarios en caso de desastres.
6. Articular y coordinar acciones con las demás instituciones y actores del Sistema Nacional. (Ingeniero Hugo Enrique Del Pozo Barrezueta, 2024).

2.4.4. MAATE

Capítulo VII Obligaciones Del Estado Para El Derecho Humano Al Agua

Sección Primera De las Obligaciones y la Progresividad

Art. 83.- Políticas en relación con el agua. Es obligación del Estado formular y generar políticas públicas orientadas a:

- a) Fortalecer el manejo sustentable de las fuentes de agua y ecosistemas relacionados con el ciclo del agua;

b) Mejorar la infraestructura, la calidad del agua y la cobertura de los sistemas de agua de consumo humano y riego;

c) Establecer políticas y medidas que limiten el avance de la frontera agrícola en áreas de protección hídrica;

d) Fortalecer la participación de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades en torno a la gestión del agua;

e) Adoptar y promover medidas con respecto de adaptación y mitigación al cambio climático para proteger a la población en riesgo;

f) Fomentar e incentivar el uso y aprovechamiento eficientes del agua, mediante la aplicación de tecnologías adecuadas en los sistemas de riego; y,

g) Promover alianzas público-comunitarias para el mejoramiento de los servicios y la optimización de los sistemas de agua.

Art. 84.- Obligaciones de corresponsabilidad. El Estado en sus diferentes niveles de gobierno es corresponsable con usuarios, consumidores, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades del cumplimiento de las siguientes obligaciones:

a) Reducir la extracción no sustentable, desvío o represamiento de caudales;

b) Prevenir, reducir y revertir la contaminación del agua;

c) Vigilar y proteger las reservas declaradas de agua de óptima calidad;

d) Contribuir al análisis y estudio de la calidad y disponibilidad del agua;

e) Identificar y promover tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso del agua;

f) Reducir el desperdicio del agua durante su captación, conducción y distribución;

g) Adoptar medidas para la restauración de ecosistemas degradados;

h) Apoyar los proyectos de captación, almacenamiento, manejo y utilización racional, eficiente y sostenible de los recursos hídricos; y,

i) Desarrollar y fomentar la formación, la investigación científica y tecnológica en el ámbito hídrico (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

2.4. Conceptual

2.4.1. Afectados

Las personas que resultan perjudicadas, directa o indirectamente, por un suceso peligroso. Se considera directamente afectado a aquel que ha sufrido lesiones, enfermedades u otros efectos en la salud; los que han sido evacuados, desplazados, reubicados o han enfrentado daños directos en sus medios de vida o sus bienes económicos, físicos, sociales, culturales ambientales. (Naciones Unidad, 2009).

2.4.2. Amenaza

Es un proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, interrupciones sociales y económicas o daños ambientales (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.3. Angulo de fricción

Es una propiedad de los materiales granulares, el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material. El ángulo de fricción es el ángulo entre la fuerza normal (N) y la fuerza resultante (R) de la fuerza normal y la fricción. El ángulo de fricción es aplicable entre las superficies rígidas (García , 2017).

2.4.4. Capacidad

Combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una organización, comunidad o sociedad que pueden utilizarse para gestionar y reducir los riesgos de desastres y reforzar la resiliencia (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.5. Cohesión

La cohesión es una propiedad de los suelos que se refiere a la capacidad de las partículas del suelo para adherirse entre sí. Es la fuerza interna que mantiene unidas las partículas del suelo y permite que este se comporte como un cuerpo sólido. La cohesión es más común en los suelos finos, como las arcillas, donde las partículas tienen una mayor afinidad para unirse (Zuloaga, 2023).

2.4.6. Desastre

Es una interrupción grave en el funcionamiento de la comunidad en alguna escala, debido a la interacción de eventos peligrosos con las condiciones de exposición y de vulnerabilidad que conlleven a pérdidas o impactos de alguno de los siguientes tipos: humanos, materiales, económicos o ambientales que requiere atención del Estado central (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.7. Estabilidad de talud

La estabilidad de taludes se define como el equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes, se evalúan en condición estática (equilibrio entre fuerzas) y pseudoestática (intervención del movimiento dinámico) (Camacho, 2021).

2.4.8. Factor de seguridad

Factor de Seguridad (F) que se define como la relación entre fuerzas/momentos resistentes y fuerzas/momentos desequilibrantes. El factor de seguridad se define como el factor por el cual debe reducirse la resistencia cortante del suelo para llevar a la masa potencialmente

inestable a un equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento previamente seleccionada (CIDHMA Capacitaciones, 2020).

2.4.9. Método de Bishop

Este método se desarrolla mediante el equilibrio de momentos y equilibrio de fuerzas verticales de cada una de las franjas en que se divide la superficie de falla. Sin embargo, para las franjas individuales, ni los momentos ni los equilibrios de fuerzas horizontales son satisfechos (Bastardo, 2023).

2.4.10. Respuesta

Medidas adoptadas directamente antes, durante o inmediatamente después de un desastre con el fin de salvar vidas, reducir los impactos en la salud, velar por la seguridad pública y atender las necesidades básicas de subsistencia de la población afectada (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.11. Riesgo de desastres

Es la probable pérdida de vidas o daños ocurridos en una sociedad o comunidad en un período de tiempo específico, que está determinado por la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.12. Software Geo5

GEO5 está diseñado para resolver diferentes problemas geotécnicos, desde los más básicos (verificación de cimentaciones, muros, estabilidad de taludes), hasta programas altamente especializados (análisis de los túneles, daños debido a la construcción de un túnel, estabilidad de roca). Cada programa GEO5 resuelve un tipo definido de estructura, por lo que el cliente puede adquirir sólo aquellos que necesita (GEO5 Perú, 2024).

2.4.13. Software Global Mapper

Global Mapper es un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado por Blue Marble Geographics que se ejecuta en Microsoft Windows. Este programa maneja datos vectoriales, rasterizados y de elevación, ofreciendo funcionalidades de visualización, conversión y otras características típicas de los SIG. (Geographics, 2025)

2.4.14. Susceptibilidad

Es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento peligroso. ((CIIFEN), s.f.)

2.4.15. Talud

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto la horizontal que haya de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. El talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, tomando en cuenta el papel geológico (Suarez, 2017).

2.4.16. Víctima

Persona afectada que ha sufrido daño en su salud e integridad física o mental provocado por un evento peligroso, requiere básicamente atención en salud (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.4.17. Vulnerabilidad

Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Capítulo III. Metodología

3.1. Tipo de Investigación

Este estudio de investigación acerca del “**Análisis de Susceptibilidad ante Deslizamientos y sus Afectaciones a los Elementos Expuestos en la vía Guanujo – Echeandía Sector “Piedra Blanca”, en el periodo septiembre – diciembre 2024**” enmarca el tipo de investigación descriptiva.

Descriptiva: se utilizó el tipo de investigación descriptiva ya que, se llevó a cabo la recopilación de información y datos suministrados por fuentes oficiales (SIG TIERRAS, MTOP) para que posteriormente los investigadores se centraran en analizar sus características a través de la observación directa, recolectando y documentando la información obtenida.

3.2. Enfoque de la Investigación

Mixta: La investigación mixta es un enfoque relativamente nuevo que implica combinar los métodos cuantitativo y cualitativo en un mismo estudio. (Hernández Sampieri et al., 2014)

El enfoque cualitativo busca describir las características de la estabilidad e inestabilidad del talud en la vía Guanujo – Echeandía sector “Piedra Blanca”. Este enfoque permitió analizar la incidencia que tienen los graduales sobre los elementos esenciales, lo que facilitó la propuesta de medidas para reducir los riesgos en el área de estudio.

Es cuantitativo ya que el software GEO 5 que utilizamos está diseñado para realizar análisis geotécnicos detallados, especialmente en lo que respecta a la estabilidad del talud, suelo y estructura, además permite una evaluación precisa y detallada de las áreas susceptibles a deslizamientos, una simulación precisa de condiciones geotécnicas, evaluación del factor de seguridad. Al emplear herramientas avanzadas de modelado y simulación, el uso de GEO 5 se

alineada con un enfoque científico y técnico que permite obtener resultados fiables y válidos, aplicables a la planificación de medidas preventivas en zonas de alto riesgo

3.3. Métodos de Investigación

De campo: se realizó la visita al lugar de estudio, se tomaron muestras de suelo para así obtener datos mediante un ensayo granulométrico, entrevista con los actores clave de las instituciones como el Ministerio de transporte y Obras Públicas (MTOP) con la finalidad de realizar el objetivo 1 de la investigación.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Las técnicas e instrumentos de recopilación de datos que se utilizaron para la investigación son:

A través de la observación directa, se recopiló información esencial para analizar el comportamiento del evento y comprobar la exactitud de los datos obtenidos mediante el DEM que se descargó desde la plataforma SIGTIERRAS, además de evidenciar la exposición de la infraestructura vial del área de estudio.

Mediante el estudio documental obtuvimos la recopilación de información a partir de fuentes secundarias, como repositorios de instituciones públicas, artículos académicos y libros. Este proceso se lleva a cabo mediante la búsqueda de términos clave relacionado con la amenaza de deslizamientos, lo que permite obtener información clave para llevar a cabo la investigación.

Se efectuó una salida de campo con el propósito de identificar las zonas críticas dentro del área de estudio y lograr una comprensión integral de la naturaleza del deslizamiento.

Además, se tomaron dos muestras de suelo para su análisis, cuyos resultados fueron registrados en una tabla de Excel, permitiendo la clasificación del tipo de suelo y roca presentes en la zona. Paralelamente, se realizó una revisión bibliográfica para contrastar los resultados

obtenidos en el Excel con el análisis granulométrico. Asimismo, se empleó el software AutoCAD, para la representación de 7 perfiles geotécnicos, lo que permitió un diseño preciso de la geometría del terreno y así llevarlo al software GEO5 para el modelamiento de la estabilidad del talud. Además, se realizó una salida de campo en el que se hizo un vuelo con el dron y se obtuvo un modelo digital de elevación (DEM) actualizado para realizar una comparación con el DEM descargado de la plataforma SIGTIERRAS.

Con el software Global Mapper se ejecutó un modelamiento basado en el análisis de diferencia de terreno usando la herramienta Combine Terrain Options. Este análisis se realizó comparando dos modelos digitales de elevación (MDE) de distintos años.

Para la elaboración de mapas y la representación espacial de los datos obtenidos, se utilizó el software ARCGIS, lo que permitirá una visualización detallada y precisa del área de estudio.

3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información

3.5.1. Objetivo 1

Para el desarrollo del objetivo 1 *Determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el sector “Piedra Blanca” en la vía Guanajujo-Echeandía mediante la recopilación, análisis y modelado de datos geológicos y geotécnicos, utilizando el software GEO5* se realizó un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el software ARCGIS, así como también un análisis granulométrico con un tamizaje del suelo y para determinar si el talud es estable o inestable se usa el software GEO5.

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

Para realizar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos se utilizaron los siguientes criterios:

- Pendiente
- Cobertura Vegetal
- Precipitación
- Vías
- Ríos

Mismo que se elaboró mediante la metodología ESPE, la cual permite analizar, evaluar, identificar y manejar riesgos por fenómenos naturales. Una de estas aplicaciones hace referencia al riesgo por deslizamiento, por otro lado, esta metodología es útil para construir un modelo jerárquico que represente el problema objeto de estudio, mediante criterios y alternativas planteadas inicialmente, para luego poder deducir, cual o cuales son las mejores alternativas.

Del mismo modo, esta metodología es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso.

Fórmula:

Pendiente* 0,5468 + Precipitación* 0,2618 + Vegetación * 0,0384 + Vías *0,0573 + Ríos * 0,0957.

Ensayos granulométricos (suelo y roca)

Para la recopilación de datos del área de estudio se va a realizó un tamizaje de dos muestras de suelo del lugar. Para ello, se efectuó una salida de campo en la que se tomaron las muestras correspondientes en dos sitios.

Para determinar la distribución de tamaños de partículas y que tipo de suelo/roca predomina en el lugar, se realizara un análisis granulométrico por tamizado con las muestras

secas. Se utilizó una serie de tamices estándar (1", ¾", ½", 3/8", N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100, N°200) y se agitó cada tamiz con las muestras durante 3 minutos para garantizar una separación eficiente de las partículas y así determinar si predomina el material grueso o fino.

Cohesión

Para la cohesión vamos a hacer uso del esclerómetro sacando 6 muestras de 6 lugares diferentes del lugar de estudio de modo que nos permita saber cuál es la resistencia de la roca que está ubicada en el sitio.

Angulo de fricción

Adicionalmente, se estimó el ángulo de fricción mediante una prueba empírica. Se seleccionaron dos fragmentos de roca y se colocaron sobre una superficie inclinada, aumentando gradualmente el ángulo de inclinación hasta que se produjo el deslizamiento.

GEO5

Para finalizar el objetivo 1, se realizó el modelamiento de los perfiles geológicos y geotécnicos en el software GEO5, con el fin de verificar la estabilidad del área de estudio.

3.5.2. Objetivo 2

En el caso del objetivo 2 que es *Identificar los elementos expuestos y sus afectaciones en el área de estudio* se realizó una intersección entre el mapa de susceptibilidad a deslizamientos y las vías que se encuentran en la zona de estudio, para así determinar el total de vías en km y m, que podrían ser afectadas durante un deslizamiento.

Además, se realizaron 3 mapas en los que se evidencia lo siguiente:

- Aplicando el SIG del Global MAPPER que permite realizar un análisis de las diferencias de elevación de la geomorfología del terreno se pudo obtener líneas de ruptura lo que representan los cambios bruscos de la zona de estudio.

- Se identifican las zonas afectadas por erosión, procesos químicos y erosión hídrica propensa a deslizamientos. Asimismo, su interrelación, da como resultado el mapa de predicción a deslizamientos en la zona de estudio.
- Finalmente, con los dos modelos digitales de elevación explicados en la fase técnicas de análisis y procesamiento de información se pudo obtener un mapa de desprendimientos este mapa se elaboró utilizando el DEM del año 2016 obtenido de SIG TIERRAS y el nuevo DEM realizado con el dron. Con estos dos DEM generamos el mapa de desprendimientos.

3.5.3. Objetivo 3

Para desarrollar el objetivo 3 *Proponer medidas de reducción de riesgos asociados con la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos* se realizó una revisión bibliográfica sobre medidas de reducción de riesgos enfocadas en deslizamientos y áreas susceptibles, considerando la realidad de la zona de estudio. En este análisis se describieron tanto medidas estructurales como no estructurales.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

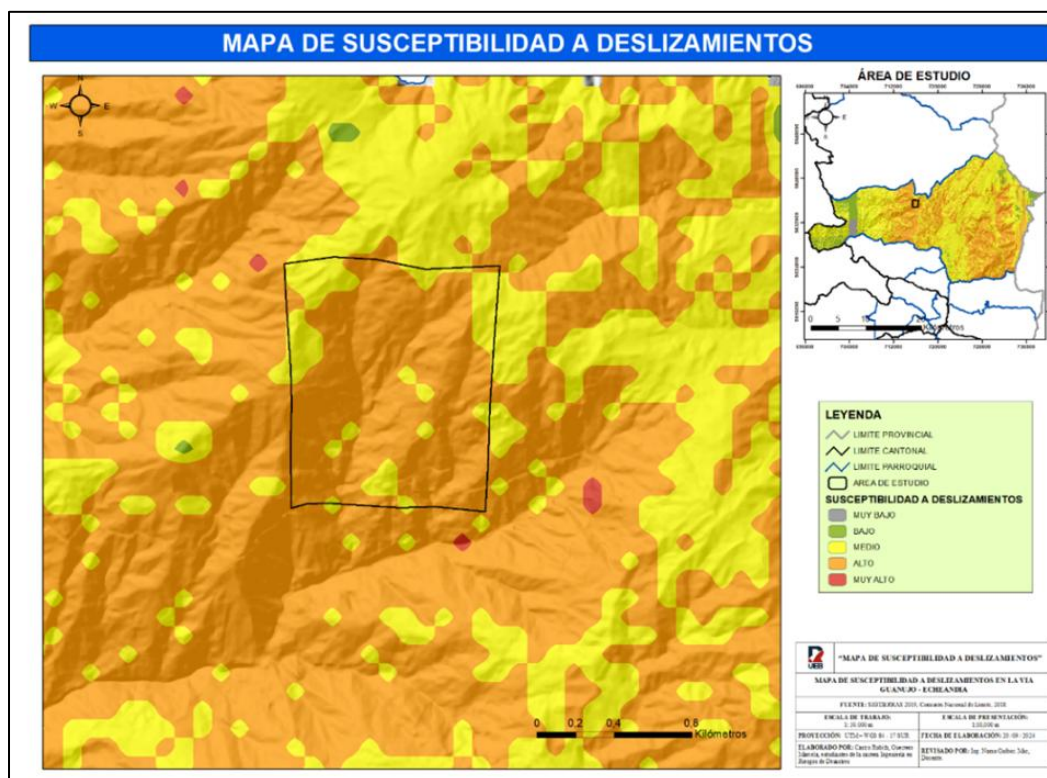
4.1.1. Determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el sector “Piedra Blanca” en la vía Guanajujo-Echeandía mediante la recopilación, análisis y modelado de datos geológicos y geotécnicos, utilizando el software GEO5.

Para la interpretación de los resultados del objetivo 1 se estructuró de la siguiente manera:

- **Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos**

Para obtener el resultado del primer objetivo se elaboró un mapa de susceptibilidad a deslizamientos utilizando variables como la pendiente, las vías, los ríos, cobertura vegetal y precipitación, aplicando la metodología ESPE, tal como se muestra en la **Ilustración 7: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos**, además se llevaron a dos ensayos de clasificación de suelo/roca, para lo cual se recolectaron 12 muestras durante la salida de campo con el fin de modelar los resultados en el software GEO5.

ilustración 7: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

En el mapa se puede observar que nuestro lugar de estudio tiene una susceptibilidad a deslizamientos medio y alto, ya que la pendiente del lugar se encuentra en un rango que va de 44.5% hasta >100% indicando que tiene una pendiente muy fuerte a moderada escarpada hasta muy escarpada acantilada, y además el tipo de suelo que prevalece son las arenas y gravas

Ensayo Granulométrico (suelo y roca)

Durante la salida de campo se llevaron a cabo diversas actividades, entre ellas la recolección de dos muestras de diferentes lugares con el propósito de realizar los ensayos de clasificación suelo/roca.

Primer ensayo de clasificación de suelo/roca

Tabla 3

Ensayo de clasificación de suelo/roca

Tamiz	Abertura (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3''	76.20		0.00%	100.00%
2''	50.80		0.00%	100.00%
1''	25.40	0	0.00%	100.00%
3/4''	19.05	0.32	21.86%	78.14%
1/2''	12.70	0.222	15.16%	62.98%
3/8''	9.53	0.17	11.61%	51.37%
N 4	4.75	0.254	17.35%	34.02%
PASA N 4				34.02%
N 10	2.00	0.188	12.84%	21.17%
N 20	0.84	0.124	8.47%	12.70%
N 30	0.60	0.032	2.19%	10.52%
N 40	0.43	0.02	1.37%	9.15%
N 60	0.25	0.032	2.19%	6.97%
N 100	0.15	0.022	1.50%	5.46%
N 200	0.08	0.028	1.91%	3.55%
PASA N 200				3.55%
FONDO		0.052	3.55%	0.00%
TOTAL		1.464		

El análisis de este ensayo granulométrico se enfoca en determinar la distribución de tamaños de las partículas de suelo, identificando si predomina material grueso o fino y evaluando su gradación para clasificarlo adecuadamente.

Análisis de granulometría:

Tamices grandes: El material pasa completamente por el primer tamiz, a partir del tamiz de 3/4" (19.05 mm), se retiene un 21.86% del material, disminuyendo progresivamente en los tamices de menor tamaño.

Material que pasa el tamiz N4:

El 34.02% del material pasa el tamiz N4 (4.75 mm), lo que nos da a entender que más de un tercio de las partículas son más finas que este tamaño. A medida que se pasa a tamices más pequeños como el N10, N20, y N200, la porción retenida disminuye, evidenciando una distribución de partículas finas en menor proporción.

Material que pasa el tamiz N200:

El material que pasa el tamiz N200 (0.08 mm), correspondiente a los finos (limos o arcillas), es del 3.55%, lo cual es relevante para la clasificación del suelo.

Así mismo, a continuación, se presenta el tipo de suelo que predomina en el área de estudio.

Tabla 4

Resultado del análisis granulométrico - Tipo de suelo

SUELO GRUESO	SI	SUELO FINO	NO
GRAVA			

Por lo tanto, la clasificación del suelo:

Tipo de suelo: En el recuadro inferior se menciona que el suelo es **grava**, y dado que el porcentaje de finos es menor al 5%, indica que el suelo está compuesto principalmente por arenas o gravas. Si predomina las arenas o gravas y en el porcentaje de finos es <5%, tenemos arenas o gravas mal o bien graduadas.

Curva granulométrica: La curva granulométrica se muestra en la parte inferior, visualizando la distribución de los tamaños de partículas. Esta curva ayuda a determinar la gradación del suelo. Los parámetros calculados son:

Figura 10: Curva granulométrica

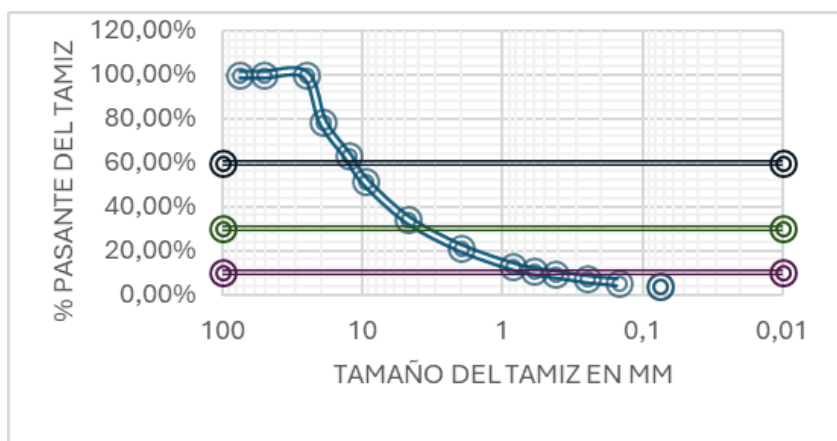


Tabla 5
Granulometría

Granulometría

SW: $C_u > 6; 1 \leq C_c \leq 3$	C_u =	20.6	D10	0.5
	C_c =	2.8	D30	3.8
GW: $C_u > 4; 1 \leq C_c \leq 3$	$C_c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$		D60	10.3

Coefficiente de uniformidad (Cu): 20.60

Coefficiente de curvatura (Cc): 2.80

Valores D10, D30 y D60 característicos del tamizado:

D10 = 0.5 mm

D30 = 3.8 mm

D60 = 10.3 mm

Para determinar si el suelo está bien o mal graduado, se consideran los siguientes criterios:

Para suelos bien graduados (GW o SW), se debe cumplir que $Cu > 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$.

En este caso, Cu (20.60) es significativamente mayor a 6, lo que indica una amplia distribución de tamaños de partículas. Sin embargo, el Cc (2.80) está dentro del rango, pero cercano al límite superior. Esto sugiere que el suelo es pobremente graduado, compuesto principalmente por arena y grava.

El análisis granulométrico revela que el suelo presenta un bajo contenido de finos (3.55% pasa el Tamiz N° 200), lo que confirma la predominancia de partículas gruesas, como arena y grava, con presencia de roca. Dado que el coeficiente de curvatura es 2.80, el suelo se clasifica como arena o grava pobremente graduada (SP o GP).

El propósito de esta prueba es determinar la distribución del tamaño de partículas en el suelo, identificar si predominan materiales gruesos o finos y evaluar su gradación para una clasificación adecuada.

Segundo ensayo de clasificación de suelo/roca

Tabla 6
Clasificación de suelo/roca

Tamiz	Abertura (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3''	76.20		0.00%	100.00%
2''	50.80		0.00%	100.00%
1''	25.40	0	0.00%	100.00%
3/4''	19.05	0.6	22.18%	77.82%
1/2''	12.70	0.41	15.16%	62.66%
3/8''	9.53	0.28	10.35%	52.31%
N 4	4.75	0.472	17.45%	34.86%
PASA N 4				34.86%
N 10	2.00	0.272	10.06%	24.81%
N 20	0.84	0.214	7.91%	16.89%
N 30	0.60	0.059	2.18%	14.71%
N 40	0.43	0.044	1.63%	13.09%
N 60	0.25	0.078	2.88%	10.20%
N 100	0.15	0.068	2.51%	7.69%
N 200	0.08	0.08	2.96%	4.73%
PASA N 200				4.73%
FONDO		0.128	4.73%	0.00%
TOTAL		2.705		

En este análisis granulométrico después de haber procesado los datos en la tabla se muestra los pesos retenidos y porcentaje acumulados a través de distintos tamices. Por lo que se puede observar que a partir del tamiz N4 pasa el 34.85% el mismo que representa el 65.15% del material total lo cual quiere decir que esto corresponde a gravas ya que contiene un poco de roca. Ya para el tamiz N10 al tamiz N200 se considera que es arena ya un porcentaje que pasa es del 4.73%, por lo que el total de 2.71 de peso retenido corresponde a finos lo cual es menor a 5.

Los coeficientes proporcionados son el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura

Cu: 51.50

Cc: 5.95

Valores D10, D30 y D60:

D10 = 0.2 mm

D30 = 3.5 mm

D60 = 10.3 mm

Estos valores indican si el material está bien o mal graduado:

Para suelos bien graduados (GW o SW), $Cu > 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$.

Aquí, Cu es mucho mayor a 6 y Cc es mayor a 3, lo que indica que es un suelo pobremente graduado con arena.

- **Análisis con Esclerómetro**

Por otro lado, durante la salida de campo, además de la recolección de muestras de suelo, se obtuvieron muestras de rocas con el objetivo de analizar su resistencia y el ángulo de fricción del lugar. Para determinar la resistencia de las rocas, se utilizó el esclerómetro, instrumento que permite medir la resistencia y genera una onda mecánica de choque cuando impacta la superficie del material. Específicamente el golpe del martillo produce una onda elástica de compresión que viaja a través de la roca, obteniendo como resultado la cohesión. En este proceso, se recolectaron 6 muestras de roca, cada una de las cuales fue sometida a 12 golpes tal como se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 9*Muestra 1 con esclerómetro*

MUESTRA 1		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	52	530.2544
M2	59	601.6348
M3	58	591.4376
M4	61	622.0292
M5	56	571.0432
M6	57	581.2404
M7	55	560.846
M8	59	601.6348
M9	62	632.2264
M10	63	642.4236
M11	63	642.4236
M12	60	611.832

Tabla 10*Muestra 2 con esclerómetro*

MUESTRA 2		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	44	448.6768
M2	61	622.0292
M3	57	581.2404
M4	63	642.4236
M5	49	499.6628
M6	41	418.0852
M7	73	744.3956
M8	58	591.4376
M9	42	428.2824
M10	55	560.846
M11	51	520.0572
M12	33	336.5076

Tabla 11
Muestra 3 con esclerómetro

MUESTRA 3		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	53	540.4516
M2	48	489.4656
M3	60	611.832
M4	57	581.2404
M5	45	458.874
M6	48	489.4656
M7	48	489.4656
M8	52	530.2544
M9	61	622.0292
M10	57	581.2404
M11	49	499.6628
M12	50	509.86

Tabla 12
Muestra 4 con esclerómetro

MUESTRA 4		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	51	520.0572
M2	56	571.0432
M3	48	489.4656
M4	46	469.0712
M5	48	489.4656
M6	35	356.902
M7	54	550.6488
M8	52	530.2544
M9	56	571.0432
M10	58	591.4376
M11	58	591.4376
M12	51	520.0572

Tabla 13
Muestra 5 con esclerómetro

MUESTRA 5		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	60	611.832
M2	55	560.846
M3	58	591.4376
M4	44	448.6768
M5	58	591.4376
M6	50	509.86
M7	55	560.846
M8	50	509.86
M9	60	611.832
M10	55	560.846
M11	60	611.832
M12	56	571.0432

Tabla 14
Muestra 6 con esclerómetro

MUESTRA 6		
Cohesión Esclerómetro		Valor en Pascales
M1	43	438.4796
M2	35	356.902
M3	42	428.2824
M4	48	489.4656
M5	46	469.0712
M6	50	509.86
M7	48	489.4656
M8	46	469.0712
M9	38	387.4936
M10	54	550.6488
M11	55	560.846
M12	37	377.2964

Después de obtener los valores de las 6 muestras realizamos un promedio entre estas para saber cuál es la resistencia de las rocas y el resultado es de 534,79 Mpa siendo este el resultado para la cohesión.

- **Angulo de Fricción**

Del mismo modo para determinar el ángulo de fricción en el área de estudio recolectamos 12 muestras de piedras cercanas al sitio. Los ángulos de fricción obtenidos oscilaron entre 20° y 40°, siendo este último el valor más alto. Al sumar los ángulos de las 12 muestras, se obtuvo un total de 447°. Finalmente, al dividir este valor entre el número de muestras, se calculó que el ángulo de fricción promedio es de 37.25°.

Tabla 15
Datos del Ángulo de Fricción

MUESTRA	PROMEDIO
M1	30
M2	20
M3	40
M4	35
M5	40
M6	28
M7	45
M8	40
M9	43
M10	38
M11	48
M12	40
SUMA TOTAL	447
	37,25

- **Humedad Natural**

Por último, en el proceso de tamizaje comenzó con el pesaje inicial de las muestras, que luego se colocaron en un horno para su secado durante 12 horas. Una vez secas, se volvieron a pesar. A partir de los datos obtenidos, tanto del suelo seco como del húmedo, se calculó la humedad natural mediante una regla de tres, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16
Humedad Natural

MUESTRAS DE TIERRA LUGAR 1	UNIDAD	REGLA DE 3	RESULTADO REGLA DE 3
MASA DEL RECIPIENTE	0,068 Kilogramos	%SUELO	93,83
MUESTRA	1,622 Kilogramos	%AGUA	6,16
MUESTRA SECA	1,522 Kilogramos		

RESTA	0,1	Kilogramos		
MUESTRAS DE TIERRA LUGAR 2		UNIDAD	REGLA DE 3	
MASA DEL RECIPIENTE	0,26	Kilogramos	%SUELO	95,02
MUESTRA	3,096	Kilogramos	%AGUA	4,97
PESO SECO	2,942	Kilogramos		
RESTA	0,154	Kilogramos		

Muestra de tierra del primer lugar tiene el 93.83% de suelo y 6.16% de agua lo cual nos indica que es el porcentaje de humedad natural.

Así mismo en la muestra tomada en el segundo lugar es de 95.02% de suelo y 4.97% de agua lo cual quiere decir que es nuestro porcentaje de humedad natural.

- **MODELAMIENTO EN GEO 5**

Tabla 17

Factores de seguridad por corte mínimos

Condición **	FS Corte Mínimo	
	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Nominal	1.5	1.25
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.1
Carga Muerta + Carga Viva Nominal + Sismo De Diseño Pseudo Estático	1.1	1.00*
Taludes – condición estática y Agua Subterránea Normal	1.5	1.25
Taludes – condición pseudo estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1.05	1.00*

Fuente: (Econ. Diego Aulestia Valencia (Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda), 2015)

La Carga Viva Nominal, se considera un factor de reducción por simultaneidad de la carga viva.

La Carga Viva Máxima no se considera un factor de reducción.

(*) la demanda sísmica para los análisis pseudo estáticos será del 60% de la aceleración máxima en el terreno:

$$kh = \frac{0,6 * amax}{g}$$

Donde:

$$amax = Z * Fa$$

Fa = Factor de amplificación

(**) En cualquier caso los Factores de Seguridad por corte aplicados al material terreo (suelo, roca o material intermedio) no deben ser inferiores a los Factores de Seguridad Básicos Mínimos según la tabla de factores de seguridad por corte mínimos, en la cual las cargas se refieren a valores nominales de trabajo o servicio sin coeficientes de mayoración (Vivienda, 2014)

Remplazando datos en la fórmula se obtiene el siguiente resultado:

$$amax = Z * Fa$$

$$amax = 0,35 * 1,23$$

$$amax = 0,43$$

$$kh = \frac{0,6 * amax}{g}$$

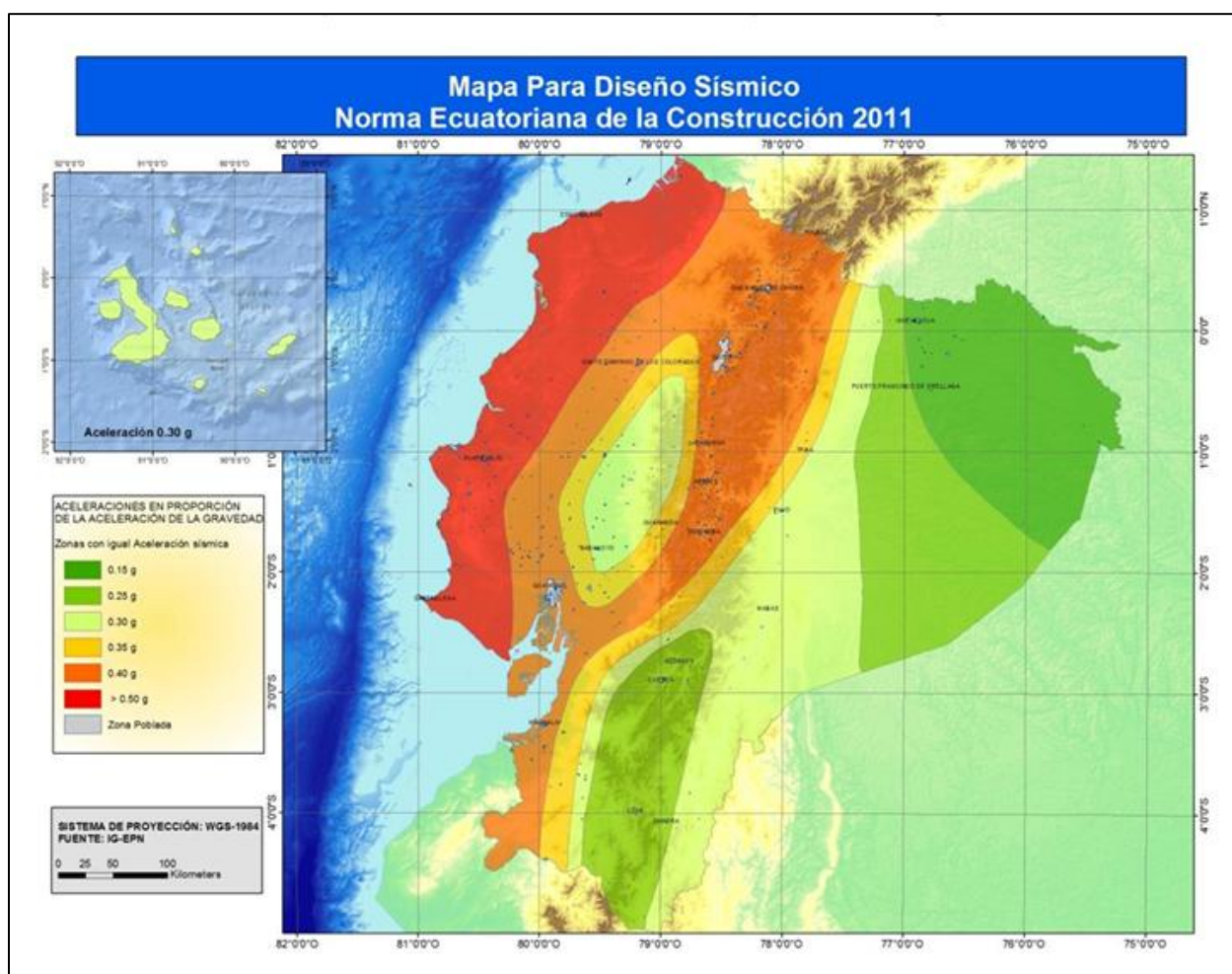
$$kh = \frac{0,6 * 0,43}{9,8}$$

$$kh = \frac{0,258}{9,8}$$

$$kh = 0,026$$

Según el Código Ecuatoriano de la Construcción - NEC (2014) el valor z es decir la aceleración del suelo en Guaranda es de 0,35 por lo tanto se trabajó con ese valor, mientras tanto,

para el Fa se realizó el análisis de la tabla de clasificación de los perfiles de suelo donde se determinó que es el suelo tipo C considerado como perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios, por otro lado, con el análisis de los valores del factor de amplificación (Fa) en función del factor de zona (Z) y del perfil de suelo se consideró que su valor es de 1,23 dándonos como resultado que el coeficiente sísmico horizontal (k_h) es de 0,026.



El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una

saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. (Econ. Diego Aulestia Valencia, 2014).

Tabla 18

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 19

Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
GUARANDA	GUARANDA	GUARANDA	BOLIVAR	0,35
SAN LORENZO	SAN LORENZO	GUARANDA	BOLIVAR	0,35
SANTIAGO	SANTIAGO	SAN MIGUEL	BOLIVAR	0,35
SAN JOSE DEL TAMBO	SAN JOSE DEL TAMBO	CHILLANES	BOLIVAR	0,35
SAN SIMON	SAN SIMON (YACOTO)	GUARANDA	BOLIVAR	0,35
SAN MIGUEL DE BOLIVAR	SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	BOLIVAR	0,35
SAN JOSE DE CHIMBO	SAN JOSE DE CHIMBO	CHIMBO	BOLIVAR	0,35
SIMIATUG	SIMIATUG	GUARANDA	BOLIVAR	0,30
SAN LUIS DE PAMBIL	SAN LUIS DE PAMBIL	GUARANDA	BOLIVAR	0,30
FACUNDO VELA	FACUNDO VELA	GUARANDA	BOLIVAR	0,30
LAS MERCEDES	LAS NAVES	LAS NAVES	BOLIVAR	0,30
LAS NAVES	LAS NAVES	LAS NAVES	BOLIVAR	0,30
SAN LUIS DE LAS MERCEDES	SAN LUIS DE PAMBIL	GUARANDA	BOLIVAR	0,30
ECHEANDIA	ECHEANDIA	ECHEANDIA	BOLIVAR	0,30
CHILLANES	CHILLANES	CHILLANES	BOLIVAR	0,40

Se definen seis tipos de perfil de suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.

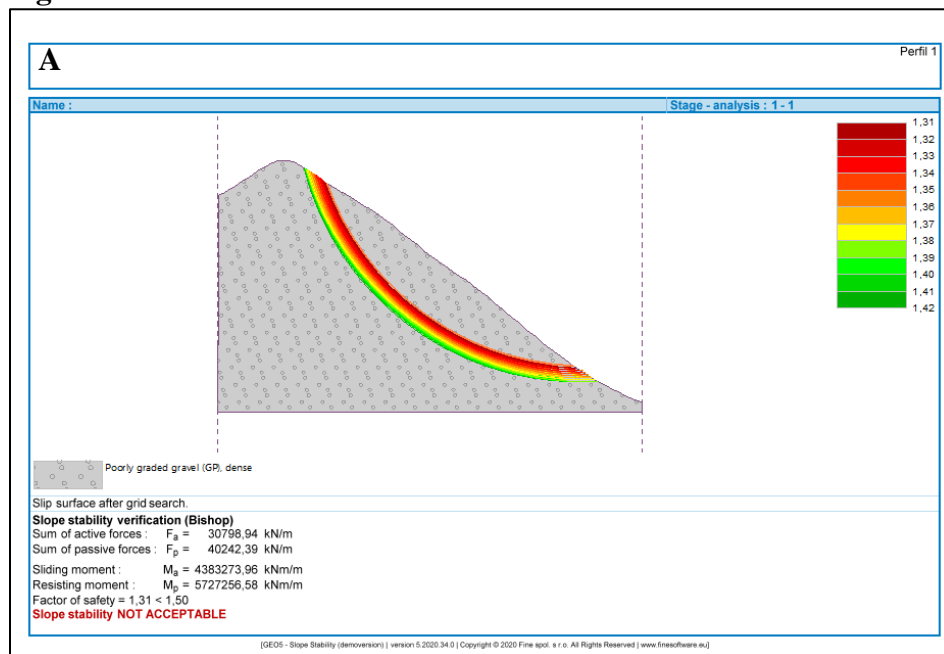
Tabla 20
Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)		

F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.

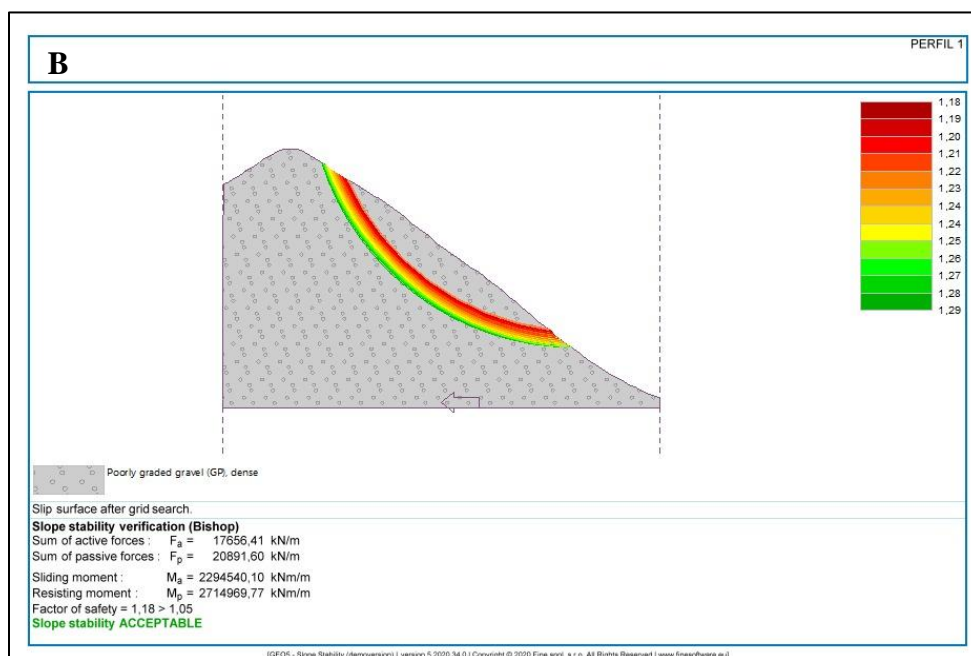
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.

Figura 12: Perfil 1 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 1, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,31 nos indica la estabilidad del talud No aceptable

Figura 13: Perfil 1 con coeficiente sismo



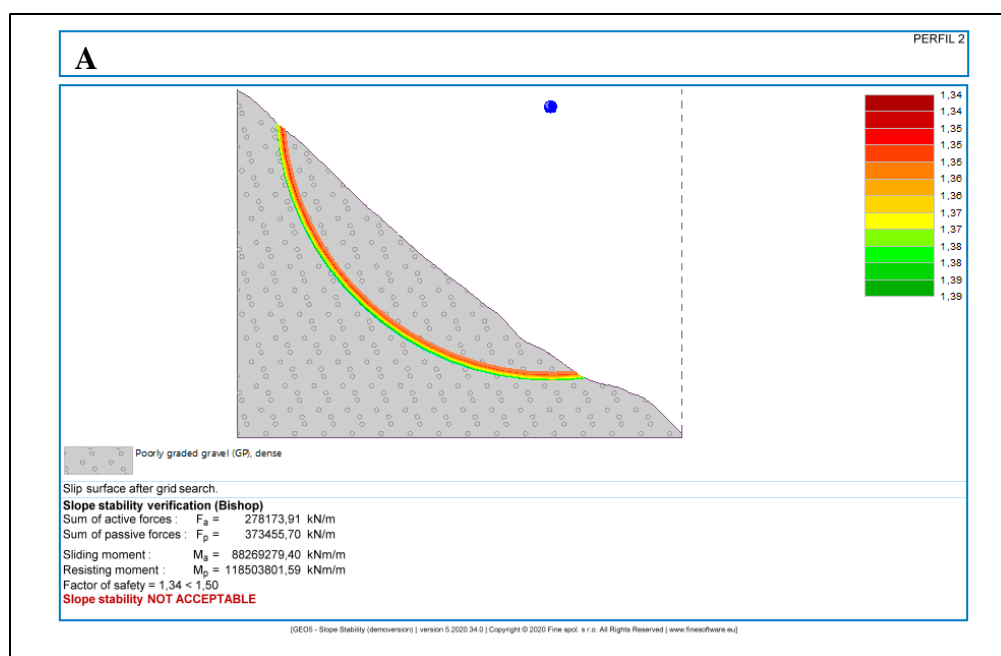
Nota: Corte del perfil 1, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,18 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

Análisis

El perfil 1 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 1.31, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar bajo las condiciones actuales. La escala de colores muestra que el factor de seguridad es bajo en la zona de la superficie de deslizamiento potencial, lo que indica que esta área es la más crítica. El área de deslizamiento se desarrolla a través del material gravas y arenas pobremente graduado (GP), lo que sugiere que este material tiene una menor resistencia al corte y contribuye significativamente a la inestabilidad del talud.

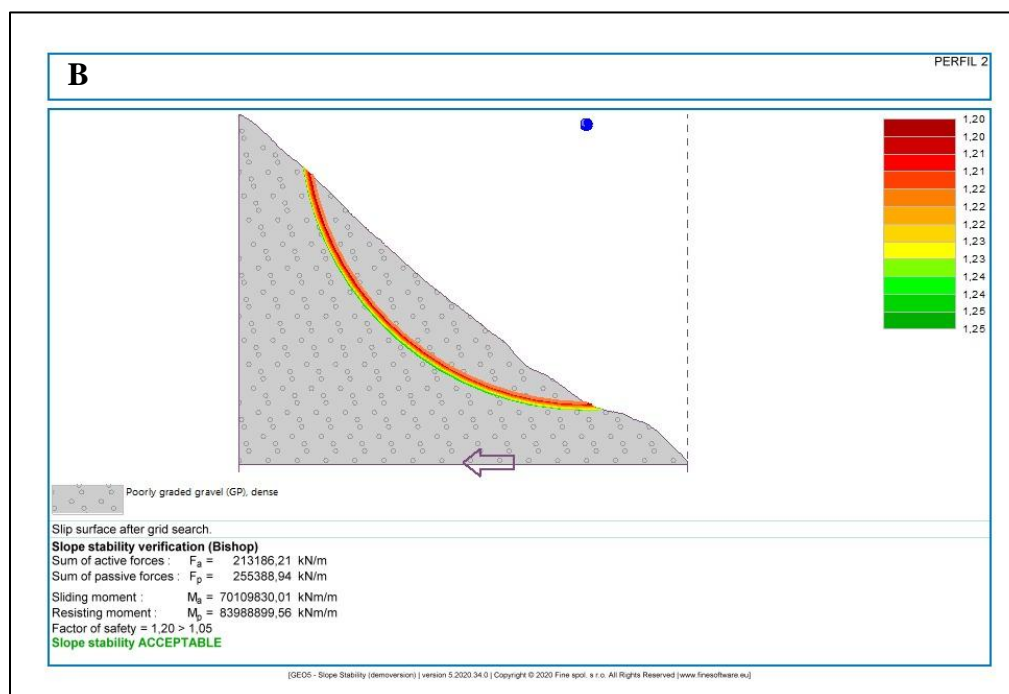
Perfil 1 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.18. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 14: Perfil 2 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 2, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,34 nos indica la estabilidad del talud No aceptable

Figura 15: Perfil 2 Con coeficiente sismo



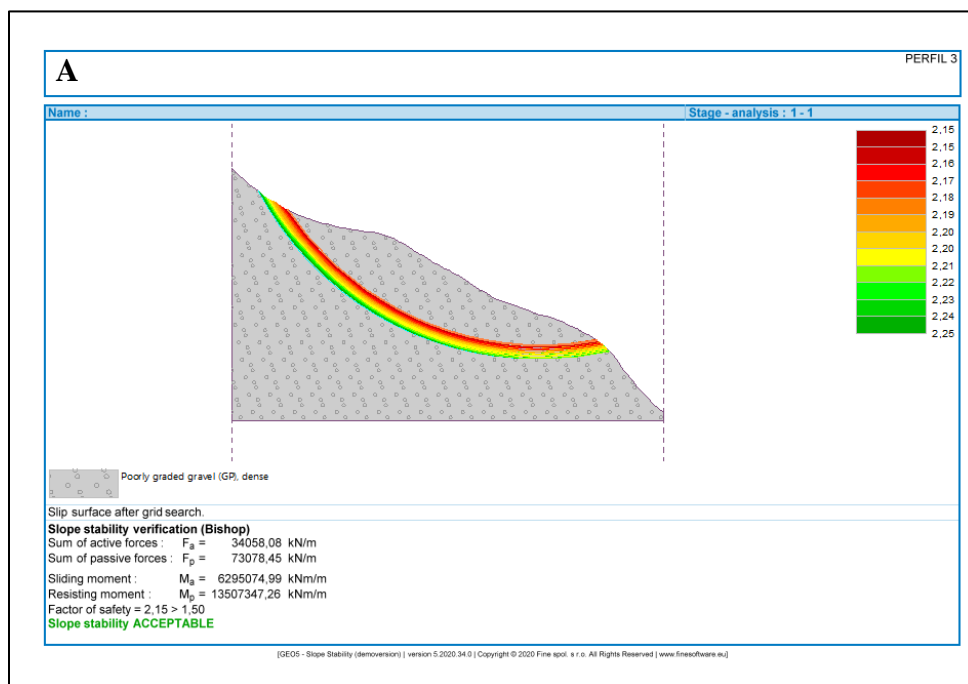
Nota: Corte del perfil 2, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,20 nos indica la estabilidad de talud aceptable

Análisis

El perfil 2 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 1.34, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar bajo las condiciones actuales. La escala de colores muestra que el factor de seguridad es bajo en la zona de la superficie de deslizamiento potencial, lo que indica que esta área es la más crítica. El área de deslizamiento se desarrolla a través del material gravas y arenas pobremente graduado (GP), lo que sugiere que este material tiene una menor resistencia al corte y contribuye significativamente a la inestabilidad del talud.

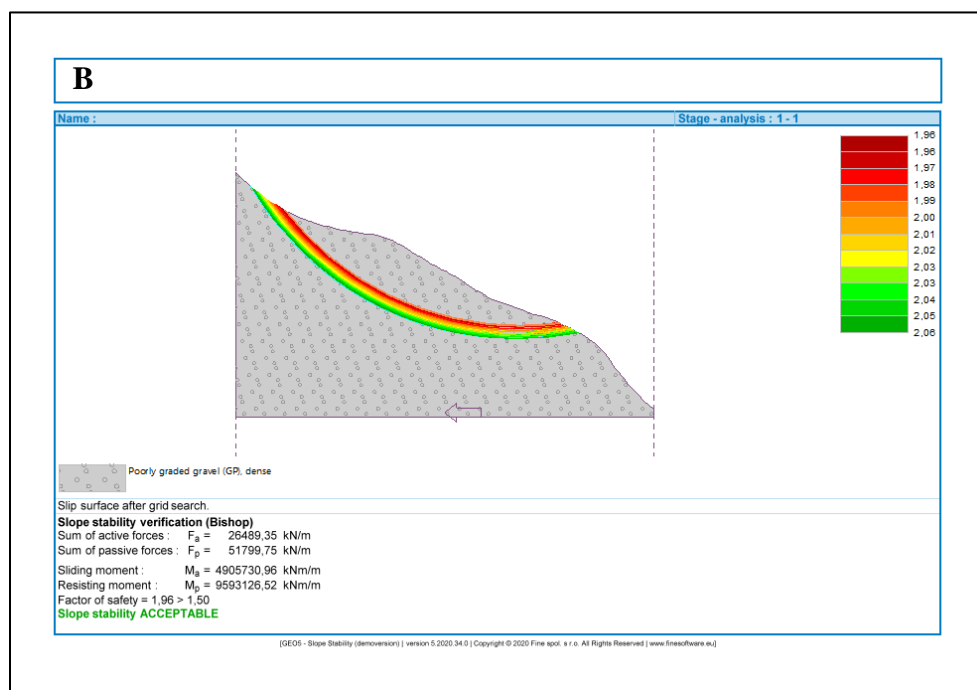
Perfil 2 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.20. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 16: Perfil 3 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 3, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 2,15 nos indica la estabilidad del talud aceptable

Figura 17: Perfil 3 Con coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 3, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,96 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

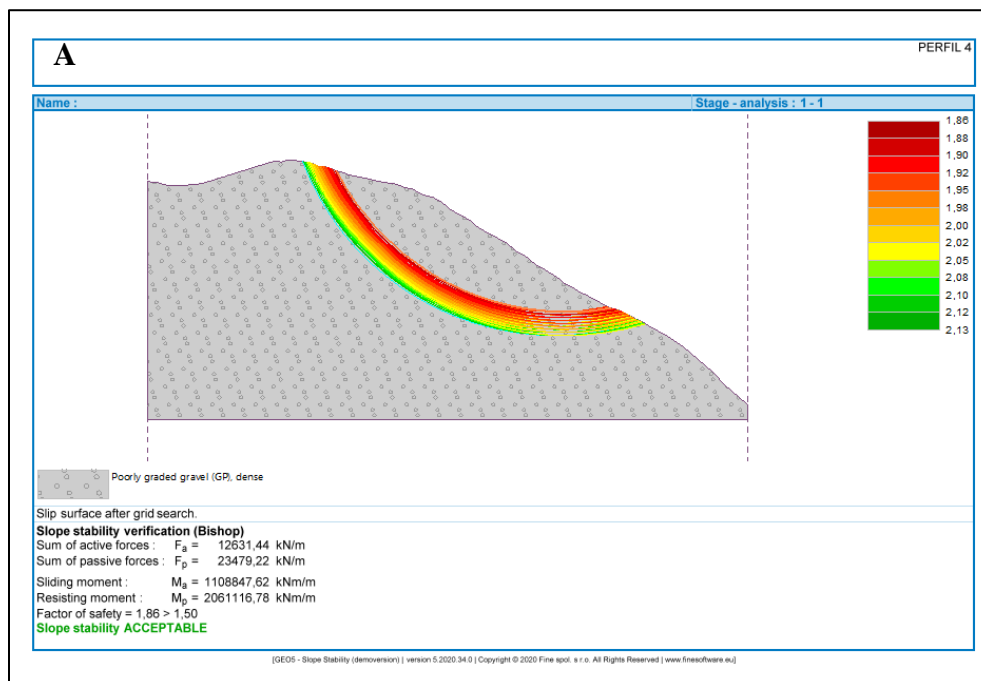
Análisis

El perfil 3 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 2.15, lo cual es superior de 1.5. Esto significa que el talud es sumamente estable.

Perfil 3 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.96. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena

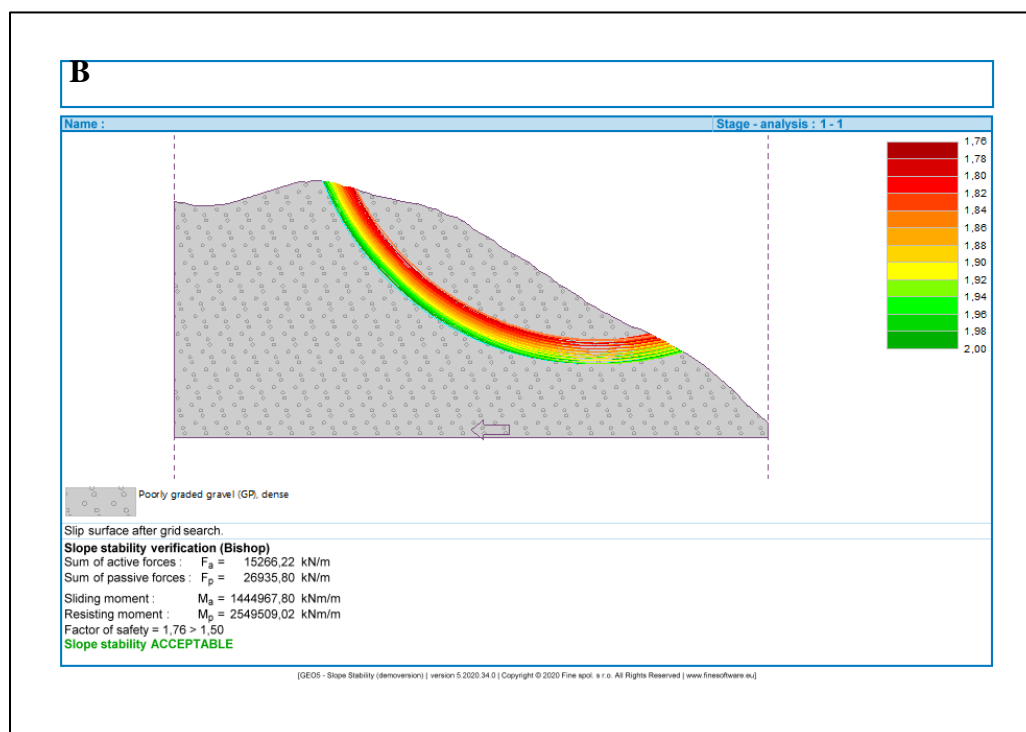
distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 18: Perfil 4 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 4, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,86 nos indica la estabilidad del talud aceptable

Figura 19: Perfil 4 Con coeficiente sismo



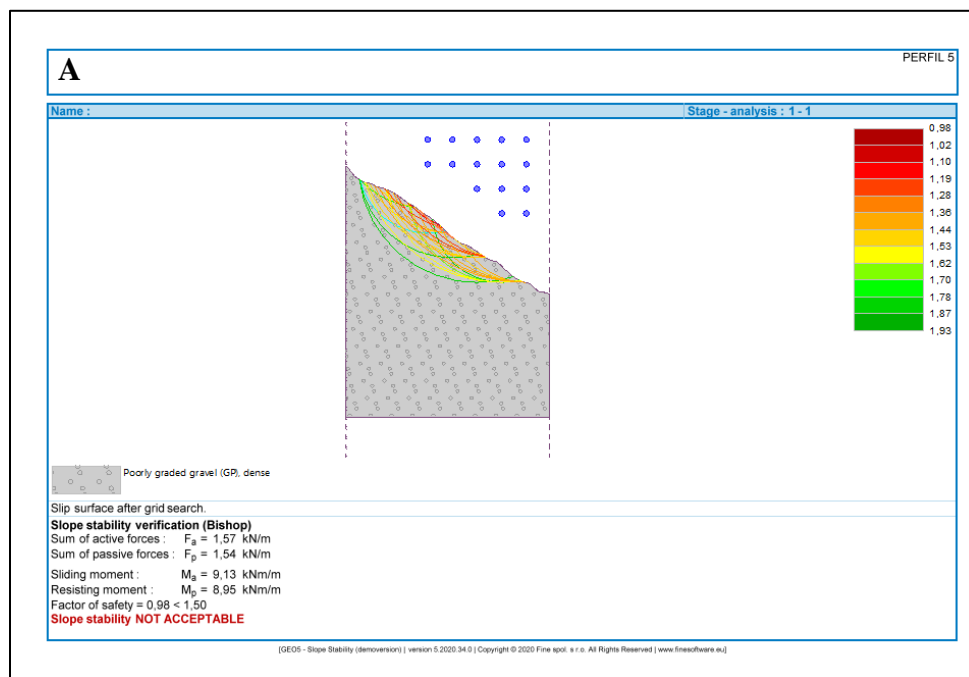
Nota: Corte del perfil 4, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,76 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

Análisis

El perfil 4 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método de Bishop, el método simplificado de Bishop satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 1.86, lo cual es superior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es estable.

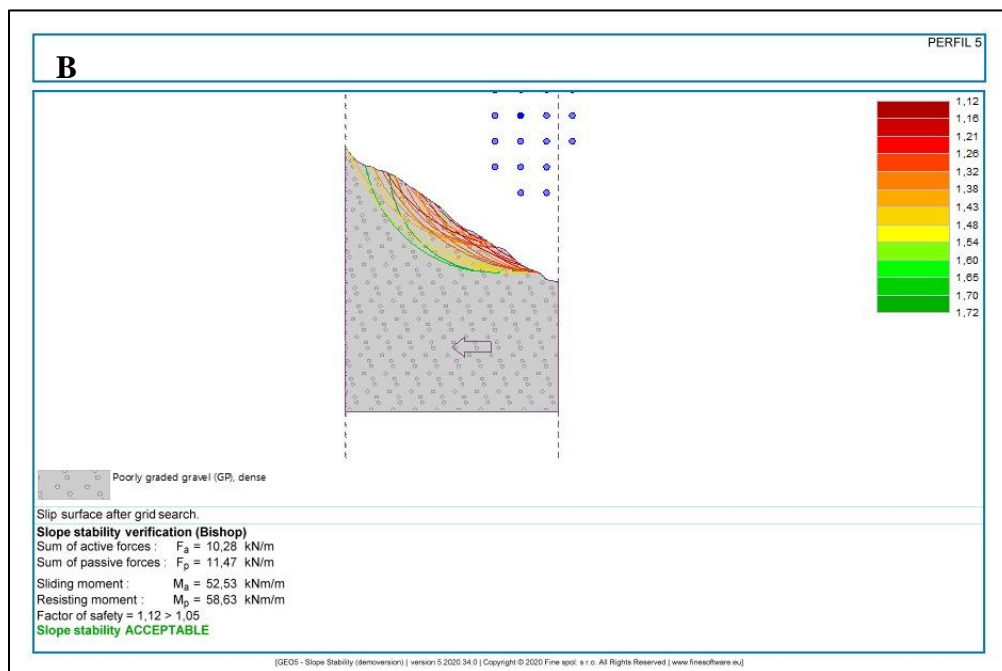
Perfil 4 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.76. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 20: Perfil 5 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 5, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,98 nos indica la estabilidad del talud aceptable

Figura 21: Perfil 5 Con coeficiente sismo



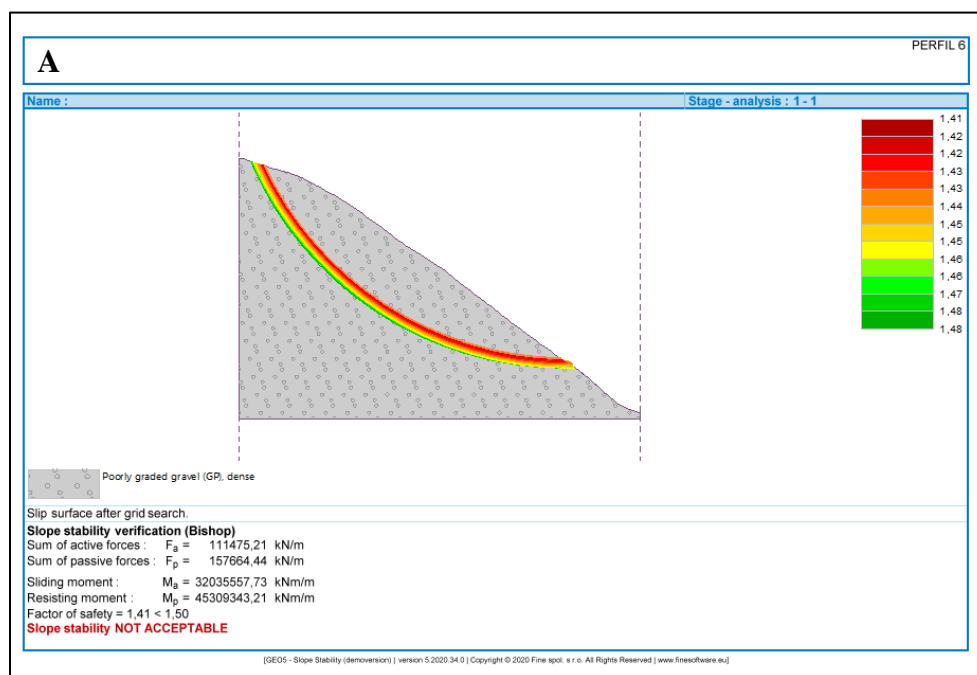
Nota: Corte del perfil 5, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,12 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

Análisis

El perfil 5 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 0.98, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar bajo las condiciones actuales. La escala de colores muestra que el factor de seguridad es bajo en la zona de la superficie de deslizamiento potencial, lo que indica que esta área es la más crítica. El área de deslizamiento se desarrolla a través del material gravas y arenas pobremente graduado (GP), lo que sugiere que este material tiene una menor resistencia al corte y contribuye significativamente a la inestabilidad del talud.

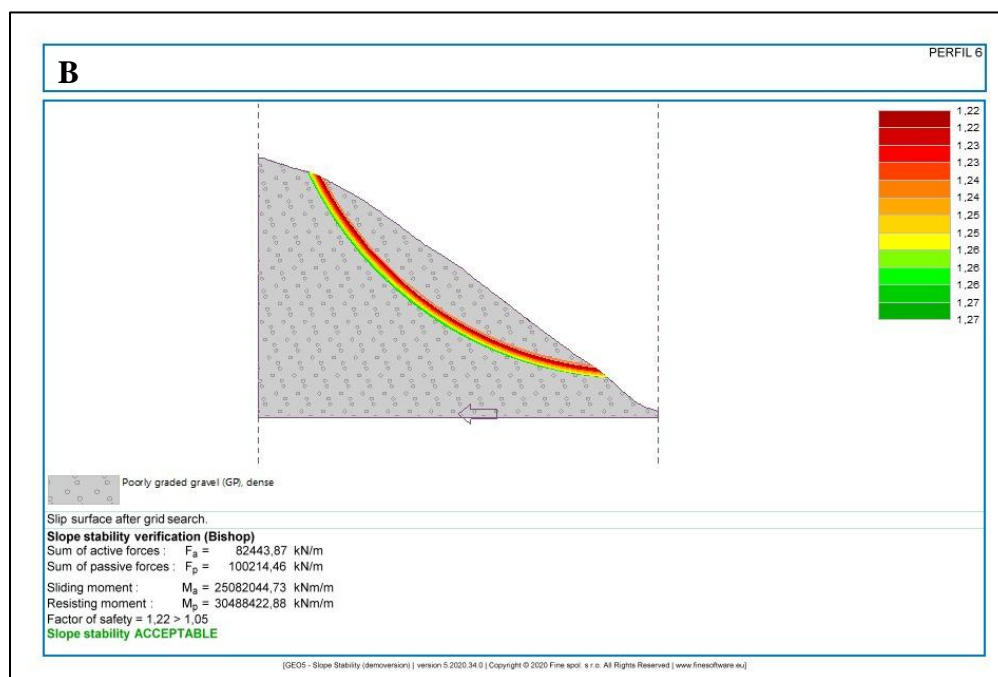
Perfil 5 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.12. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 22: Perfil 6 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 6, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,41 nos indica la estabilidad del talud No aceptable

Figura 23: Perfil 6 Con coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 6, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,22 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

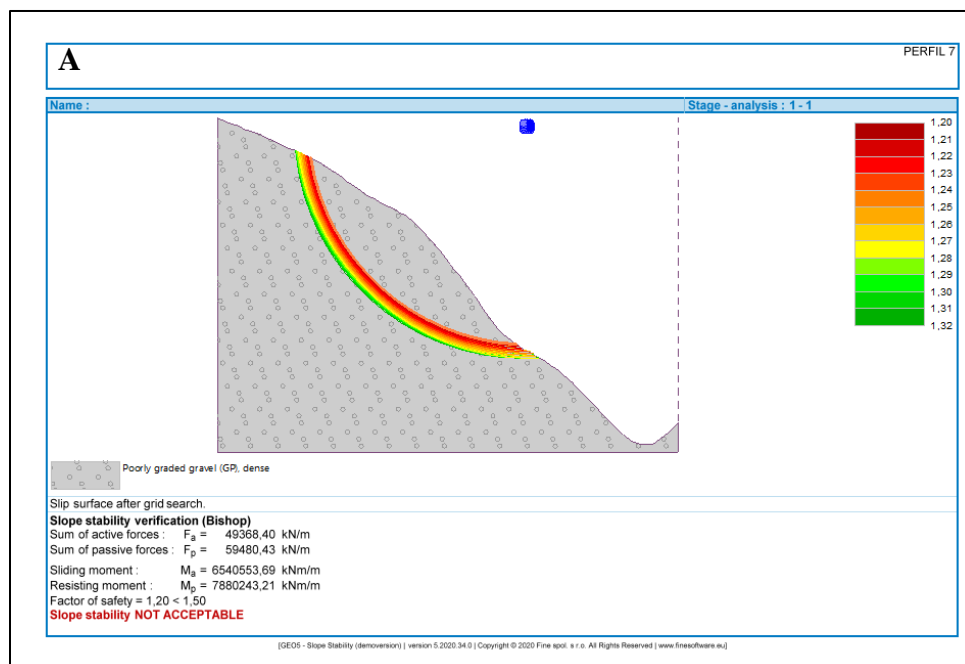
Análisis

El perfil 6 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 1.41, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar bajo las condiciones actuales. La escala de colores muestra que el factor de seguridad es bajo en

la zona de la superficie de deslizamiento potencial, lo que indica que esta área es la más crítica. El área de deslizamiento se desarrolla a través del material gravas y arenas pobremente graduado (GP), lo que sugiere que este material tiene una menor resistencia al corte y contribuye significativamente a la inestabilidad del talud.

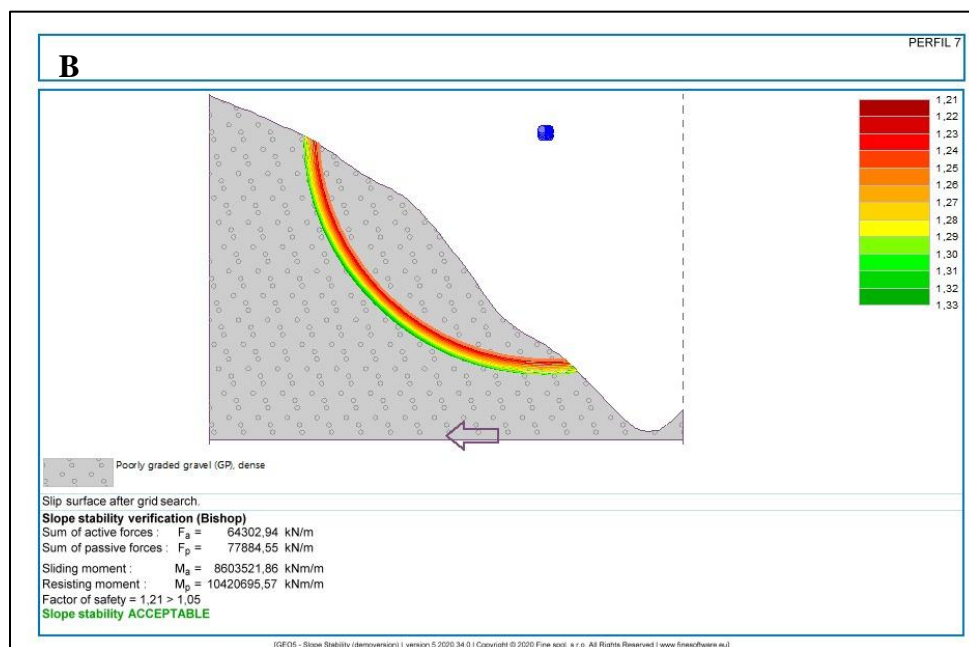
Perfil 6 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.22. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Figura 24: Perfil 7 Sin coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 7, lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1.20 nos indica la estabilidad del talud No aceptable

Figura 25: Perfil 7 Con coeficiente sismo



Nota: Corte del perfil 7, lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,21 nos indica la estabilidad de talud aceptable.

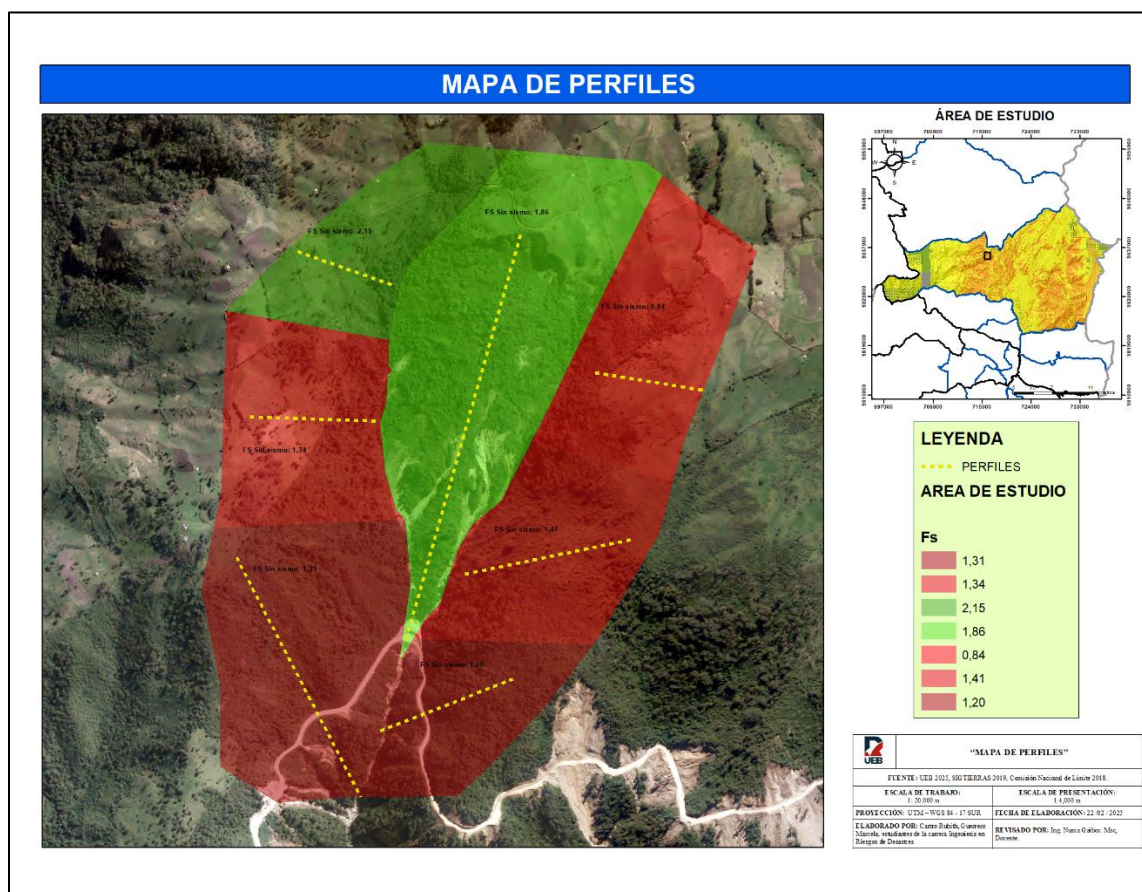
Análisis

El perfil 7 A sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, mismo que satisface el equilibrio general de momento alrededor del centro de la superficie circular de prueba, así como el equilibrio de fuerzas verticales para cada corte, así como también supone cero fuerzas cortantes entre cortes, el equilibrio de momento general de las fuerzas que actúan sobre cada corte. La escala de colores del talud indica el factor de seguridad en cada punto, siendo el rojo los valores más bajos que indican menor seguridad y el verde los más altos mayor seguridad. La línea roja curva representa la superficie de deslizamiento potencial, es decir, la zona donde se estima que podría ocurrir un fallo. El factor de seguridad general del talud es de 1.20, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1.5. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar

bajo las condiciones actuales. La escala de colores muestra que el factor de seguridad es bajo en la zona de la superficie de deslizamiento potencial, lo que indica que esta área es la más crítica. El área de deslizamiento se desarrolla a través del material gravas y arenas pobremente graduado (GP), lo que sugiere que este material tiene una menor resistencia al corte y contribuye significativamente a la inestabilidad del talud.

Perfil 7 B con coeficiente sísmico el factor de seguridad obtenido es de 1.21. Este valor es superior al factor de seguridad mínimo aceptable de 1.05, lo que indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas. La escala de colores muestra una distribución de tensiones relativamente uniforme a lo largo de la superficie de deslizamiento, lo que sugiere una buena distribución de las cargas. La grava pobremente graduada, es menos resistente que otros materiales, lo que significa que a pesar de que el Software nos dé un resultado de estabilidad aceptable mediante el análisis por método de grilla en la que se consideró cada uno de los cortes que se muestran en la escala y la superficie de corte, así como también el análisis de la profundidad, se deduce que el talud no es completamente estable.

Ilustración 8: Mapa de perfiles

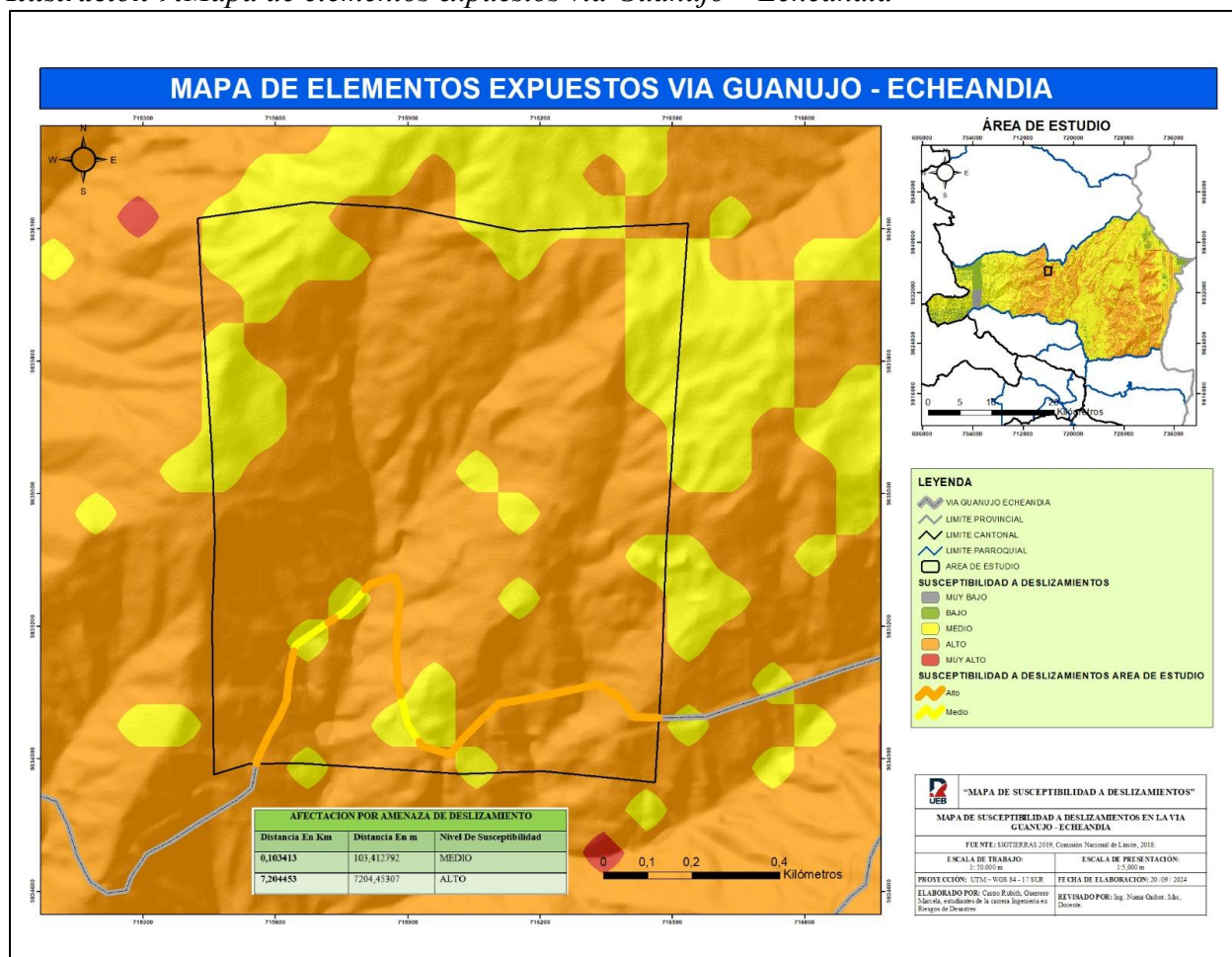


Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

Tras analizar los 7 perfiles, se elaboró un mapa de clasificación por colores, considerando el factor de seguridad. Los resultados indican que 5 perfiles, representados en rojo, se encuentran inestables, mientras que 2 perfiles, identificados con el color verde, presentan estabilidad. Por lo tanto, es necesario proponer medidas para mejorar la estabilidad del talud.

4.1.2. Identificar los elementos expuestos y sus afectaciones en el área de estudio.

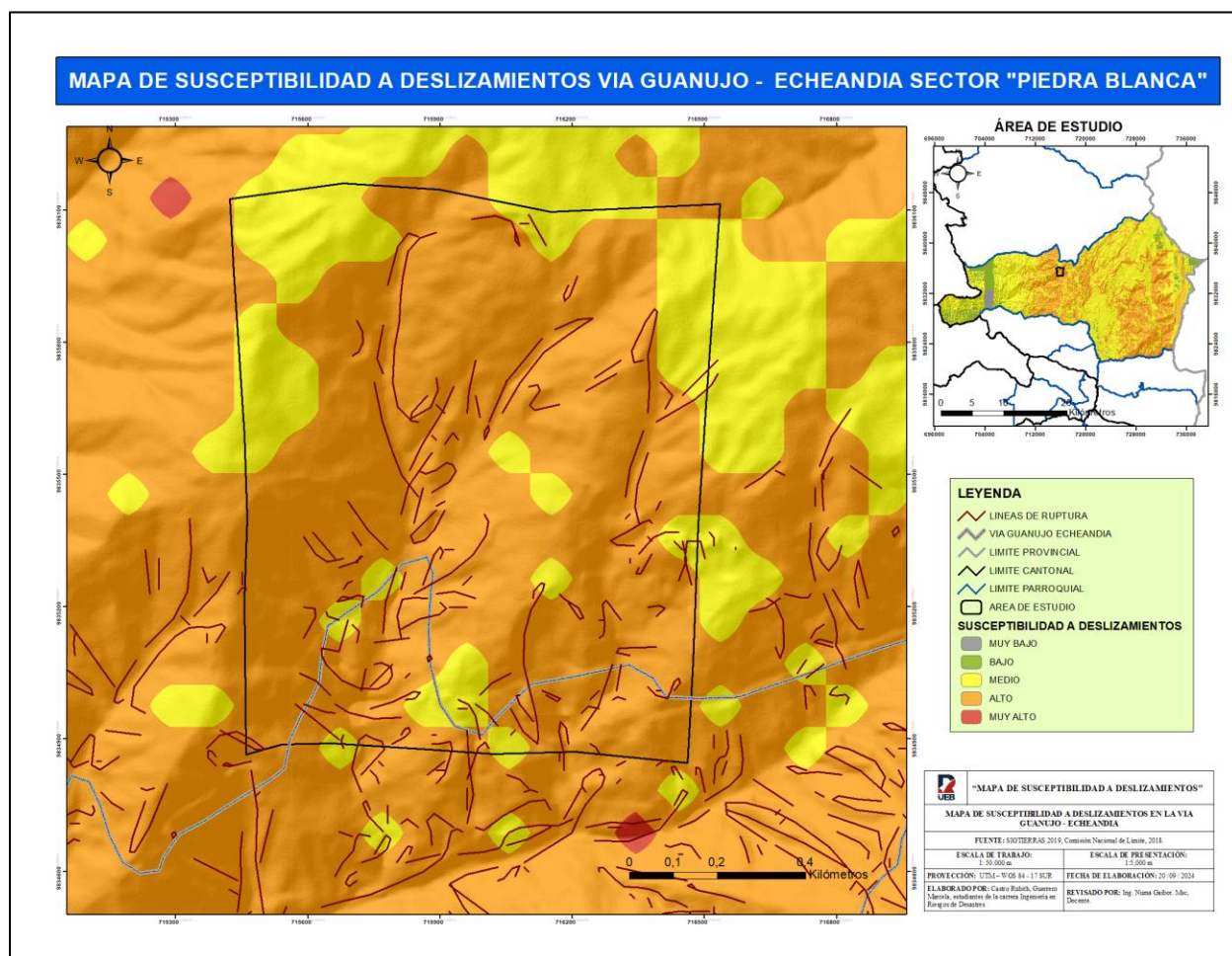
Ilustración 9: Mapa de elementos expuestos vía Guanajujo – Echeandía



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

Para el resultado del objetivo específico 2 identificamos las vías que es el elemento expuesto en nuestra área de estudio, del mismo modo para saber cuál es su afectación hemos realizado una intersección entre el mapa de susceptibilidad a deslizamientos y las vías, además se añadieron 2 campos en los que hemos calculado los km y m de la vía que se encuentra dentro de nuestra área de estudio, misma que se ha visto afectada años atrás y que podría ser afectada por la ocurrencia de un deslizamiento, así mismo la vía que se encuentra dentro del área de estudio la clasificamos según su nivel de susceptibilidad dándonos como resultado que tiene una susceptibilidad media y alta.

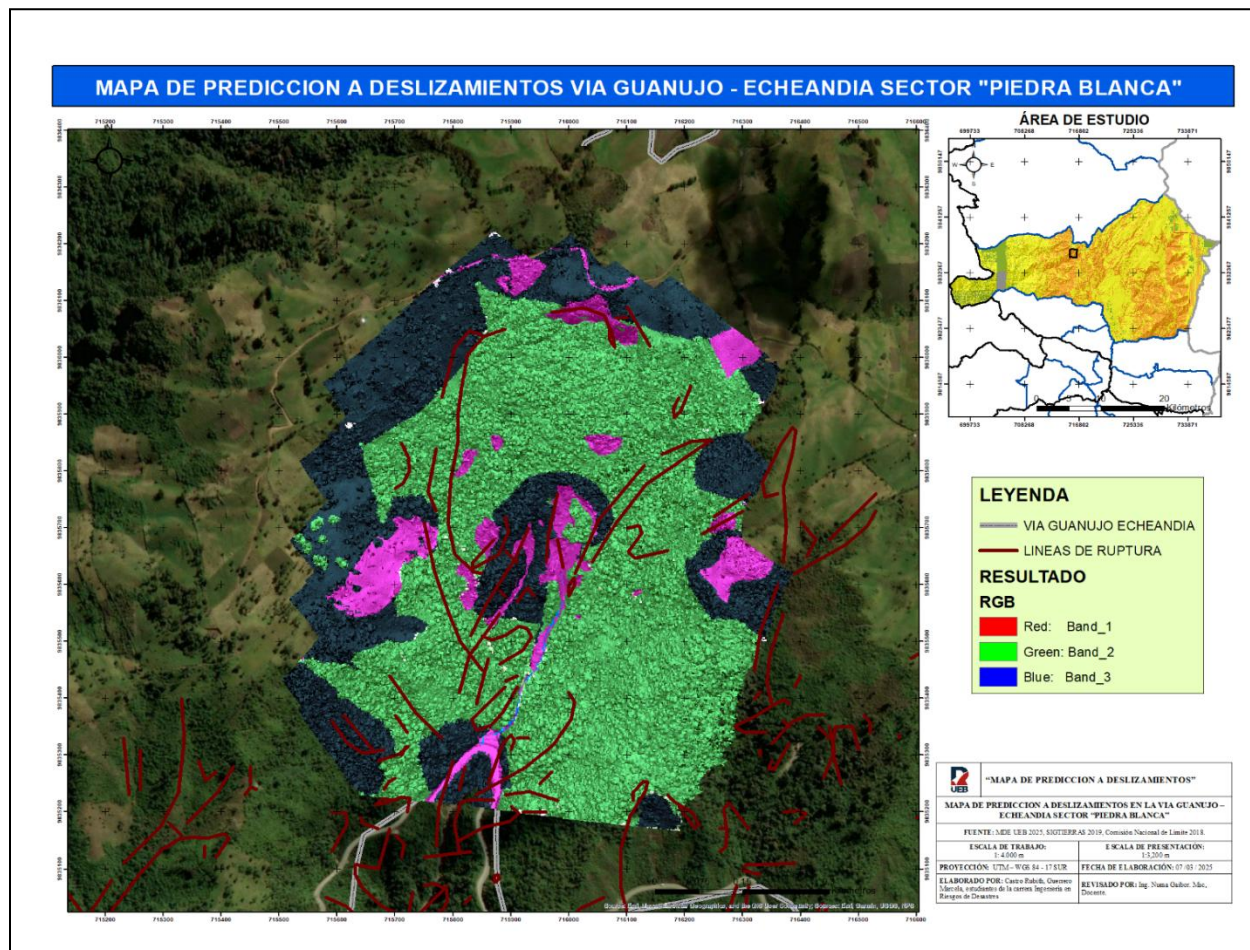
Ilustración 10: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos - Líneas de ruptura



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

En el mapa elaborado mediante la metodología de la ESPE se identifican las zonas susceptibles a deslizamientos en niveles muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo; así como también las líneas de ruptura las cuales delinear las zonas de deslizamientos correlacionándose entre sí, obteniendo como resultado el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio.

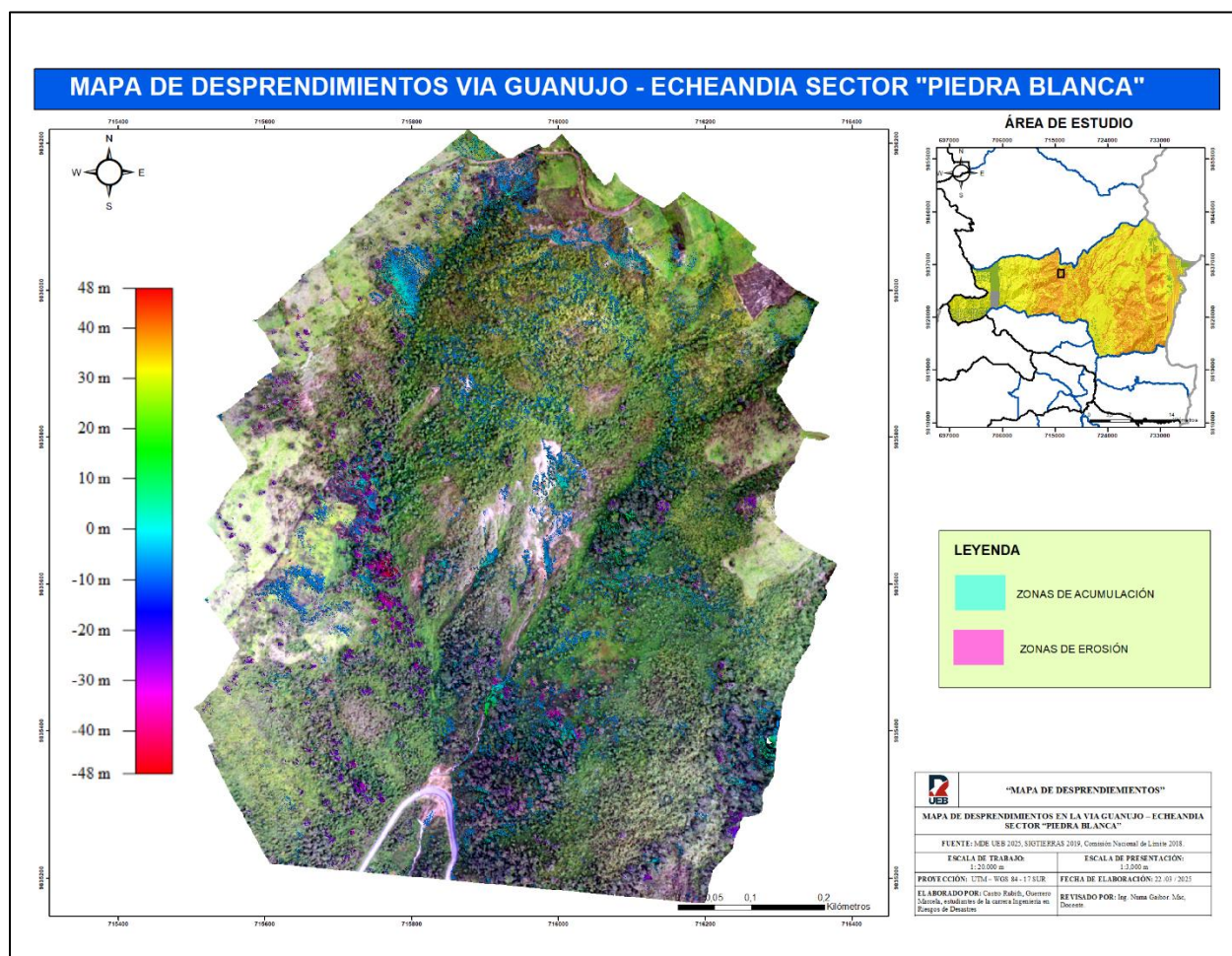
Ilustración 11: Mapa de predicción a deslizamientos vía Guanujo- Echeandía sector “Piedra Blanca”



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

En el presente mapa se identifican las zonas de erosión por procesos químicos y erosión hídrica, de la misma manera se muestran las líneas de ruptura las cuales delimitan las zonas de deslizamientos, mismas que correlacionan entre sí, dándonos como resultado el mapa de predicción a deslizamientos en la zona de estudio.

Ilustración 12: Mapa de desprendimientos vía Guanajujo - Echeandía sector "Piedra Blanca"



Elaborado por: Castro R. & Guerrero M., 2024

El mapa de desprendimientos elaborado para la vía Guanajujo – Echeandía sector “Piedra Blanca” basado en el análisis de diferencia de terreno usando el software Global Mapper con la herramienta Combine Terrain Options. Este análisis se realizó comparando dos modelos digitales de elevación (MDE) de distintos años uno del año 2017 y otro del 2025.

En la parte central del mapa se muestra una concentración de colores magenta los cuales indican zonas de erosión y en la parte superior con los colores cian estos muestran zonas de acumulación, lo que evidencia un proceso activo de deslizamiento. Las áreas que no se

encuentran marcadas y que presentan mínimos cambios de altura, pueden ser consideradas relativamente estables.




La combinación de datos históricos y actuales permiten visualizar la dinámica del terreno con un nivel bajo de incertidumbre, misma que puede servir para emitir alertas tempranas, establecer zonas de restricción del uso del suelo y proponer medidas para la reducción del riesgo.

La herramienta Combine Terrain Options de Global Mapper es muy útil para este tipo de comparaciones temporales ya que genera un modelo de diferencia de elevación, evidenciando procesos de acumulación y erosión.

Finalmente, se recomendaría hacer estudios más especializados y así minimizar el nivel de incertidumbre y de esta manera reducir significativamente los riesgos en esta zona.

4.1.3. Proponer medidas de reducción de riesgos asociados con la susceptibilidad a deslizamientos y sus afectaciones a los elementos expuestos.

Tabla 21: Medidas estructurales de reducción de riesgos

MEDIDAS DE REDUCCION DE RIESGOS		
MEDIDAS ESTRUCTURALES		
MEDIDA	RESPONSABLE	FOTO/EJEMPLO
<p>Construcción de un muro de contención de concreto armado en el talud ya que, estos se usan para soportar grandes cargas y estabilizar los taludes.</p>	<p>MTOP</p>	
<p>Eliminación de una cantidad adecuada de materiales de la parte superior del talud para lograr un equilibrio de fuerzas y aumentar su estabilidad.</p>	<p>MTOP</p>	
<p>Realizar drenajes como canales de paso de agua y ductos de desfogue de agua para controlar de esta manera el flujo de agua.</p>	<p>MTOP</p>	

Construir bermas y colocar mallas de protección en la zona para así reducir la erosión por vertientes y de la misma manera evitar que los desprendimientos de piedra-tierra causen daños a la infraestructura vial.

MTOP

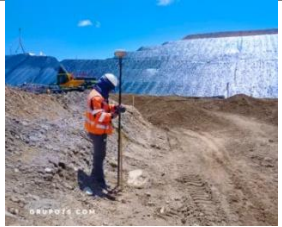





Usar anclajes para aportar estabilidad en el talud y mejorar la cohesión del suelo.

MTOP



Tabla 22: Medidas no estructurales de reducción de riesgos

MEDIDAS DE REDUCCION DE RIESGOS		
MEDIDAS NO ESTRUCTURALES		
MEDIDA	RESPONSABLE	FOTO/EJEMPLO
Realizar inspecciones regulares para verificar la estabilidad del talud y detectar posibles indicios de riesgo, como fisuras o deslizamientos.	MTOP	
Implementar sistemas de alerta temprana mediante la instalación de sensores de humedad y deformación para identificar posibles movimientos en el talud y permitan dar a conocer el inicio de los deslizamientos.	MTOP/COMUNIDAD	
Capacitar a la comunidad en general y a los transportistas que circulan por el sector a identificar señales de riesgo.	GAD/COMUNIDAD	
Difusión de información, desarrollar campañas educativas sobre Gestión de riesgos y los riesgos relacionados con el talud y sus afectaciones a la infraestructura vial.	GAD/COMUNIDAD	

Realizar mantenimiento a los drenajes periódicamente para prevenir la acumulación de agua.



Incorporar la Gestión de Riesgos en la planificación y el ordenamiento territorial

GAD



Realizar la reforestación con plantas nativas del lugar que tengan raíces profundas para consolidar el suelo y reducir la erosión.

POBLACION



Tabla 23: Medidas y acciones para reducir la exposición de la infraestructura vial (elementos expuestos) ante la amenaza de deslizamiento

Indicador	Descripción	Medidas de reducción de riesgos	Acción	Responsables
Red Vial Panamericana norte vía Guanujo – Echeandía	El sistema vial Guanujo – Echeandía tiene un nivel de exposición medio y alto, considerando que en tramo de la vía se ve afectado por la ocurrencia de deslizamientos.	Optimizar el sistema vial, ya que durante la temporada de lluvias se presenta inaccesibilidad y existen pocas rutas alternativas.	Realizar canales de paso de agua y ductos de desfogue de agua para impedir la saturación de la montaña. A largo plazo ejecutar de manera definitiva la construcción de una variante vial por la parte alta de la montaña, aprovechando las propiedades del piso de la montaña y asegurando de manera definitiva la conectividad entre Guanujo y Echeandía	MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

4.2. Comprobación de la idea a defender

Luego de realizar el análisis de susceptibilidad a deslizamientos en el cual se emplearon metodologías como ESPE y software especializados como ArcGIS y GEO5 para evaluar el nivel de riesgo en el sector “Piedra Blanca”, tomando en cuenta variables como la pendiente, la geología y la cobertura vegetal, se evidenciaron niveles de susceptibilidad entre medio y alto. Se realizó un mapeo de los elementos expuestos, determinando que los deslizamientos afectan significativamente la conectividad y la seguridad de los usuarios en la vía, además de generar pérdidas económicas debido a la interrupción del tránsito, costos de reparación y posibles accidentes. Por lo tanto, estos insumos permitieron determinar medidas estructurales, como muro de contención, drenajes superficiales y subterráneos, estabilización de taludes y revegetación, además de medidas no estructurales, como monitoreo constante, señalización de zonas de riesgo y educación comunitaria sobre prevención de deslizamientos. Los hallazgos del estudio confirman que, sin una intervención adecuada, la vía continuará enfrentando deslizamientos con consecuencias graves, reforzando la necesidad urgente de aplicar las medidas propuestas.

Capítulo V. Propuesta (de ser el caso)

5.1. Conclusiones

1. Para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio, se recopiló y analizó información geológica, textura del suelo, morfología, geomorfología, pendiente y relieve, aplicando la metodología ESPE. Esta metodología permitió clasificar el nivel de susceptibilidad especialmente en zonas con pendientes pronunciadas, el cual se determinó como medio y alto, según se observa en el mapa (ver [Ilustración 7](#)). Además, se realizaron dos ensayos granulométricos, cuyos resultados indicaron que el tipo de suelo presente es grava y arena pobremente graduado, con predominancia de roca. Esta información fue procesada en el software GOE5 donde se generaron 7 perfiles de análisis, tanto con coeficiente sísmico como sin él. Los resultados revelaron que 5 de los perfiles, al no considerar el coeficiente sísmico, no cumplen con los parámetros de estabilidad y, por tanto, no son aceptables.
2. Mediante el “Mapa De Susceptibilidad A Deslizamientos” con la metodología ESPE, se determinó que la vía Guanajujo – Echeandía, con una extensión de 53,3km, presenta 0,10 km con susceptibilidad media y 7,20 km con susceptibilidad alta, identificando así las áreas más propensas a deslizamientos (ver [ilustración 8](#)). De igual forma, el mapa de líneas de ruptura, predicción de deslizamientos y el uso de herramientas como Global Mapper ha permitido identificar zonas de riesgo con respecto al elemento expuesto (vía). La comparación de modelos digitales de elevación evidencia procesos activos de erosión y acumulación haciendo del talud inestable, lo que confirma la dinámica

del terreno y su evolución en el tiempo, siendo necesario proponer medidas de reducción de riesgos.

3. En el contexto del análisis de susceptibilidad a deslizamientos y su impacto sobre los elementos expuestos en la vía Guanujo – Echeandía, sector “Piedra Blanca” se propusieron medidas de reducción de riesgos enfocadas en dos directrices principales: estructurales y no estructurales. Estas medidas se desarrollaron considerando las características de las zonas identificadas como inestables. Su implementación busca reducir la susceptibilidad a deslizamientos en la vía. Estas medidas están dirigidas tanto a las autoridades como a la población, promoviendo su aplicación para disminuir la exposición y los riesgos asociados en las áreas.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda considerar estos hallazgos en futuros estudios y proyectos de desarrollo en la región, priorizando la implementación de medidas preventivas y correctivas. En particular, se sugiere aplicar técnicas de estabilización del terreno en las zonas con susceptibilidad media y alta, con especial atención a los cinco perfiles geotécnicos que, sin la consideración del coeficiente sísmico, no cumplen con los criterios de estabilidad. Asimismo, se propone establecer un programa de monitoreo continuo del comportamiento del suelo y realizar estudios geotécnicos complementarios, incorporando análisis sísmicos más precisos, a fin de garantizar la seguridad de las infraestructuras y asentamientos presentes y futuros en la zona.
2. Es esencial realizar levantamientos de información precisos mediante estudios e investigaciones topográficas a escala, garantizando que los datos estén actualizados y georreferenciados. Esto permitirá una mejor identificación de los

factores desencadenantes en el área de la vía Guanujo – Echeandía sector “Piedra Blanca”. Además, se debe prestar especial atención a las zonas clasificadas con un nivel alto de susceptibilidad, con el objetivo de implementar medidas efectivas que protejan el bienestar de los transeúntes que hacen uso de la vía, y de la misma que podría verse afectada.

3. Se recomienda al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) consideren las normativas vigentes, al momento de llevar a cabo las obras de recuperación de la vía y el mantenimiento necesario para la vía. A las autoridades de acuerdo con sus competencias, efectuar las medidas de reducción de riesgos ante deslizamientos en la vía Guanujo – Echeandía sector “Piedra Blanca”, las medidas y acciones para los elementos expuestos (vía) con el objetivo de mejorar el tránsito, la seguridad e integridad, así como también la calidad de vida de los ciudadanos que hacen uso de la misma. Se recomienda realizar la señalización de las pendientes que presentan niveles altos de susceptibilidad a deslizamientos para que los transeúntes puedan reconocer los sitios de riesgos y estar alerta ante la presencia de deslizamientos. Además, es fundamental fomentar la capacitación de la comunidad sobre gestión de riesgos y promover la participación de la ciudadanía en la prevención de desastres naturales.

Bibliografía

- (CIIFEN), C. I. (s.f.). *CIIFEN*. Obtenido de Definición de Riesgo: <https://ciifen.org/definicion-de-riesgo/#:~:text=Susceptibilidad%20es%20el%20grado%20de,ocurrencia%20de%20un%20evento%20adverso.>
- Alcántara-Ayala, I. (1 de Octubre de 2002). *Geomorfología, riesgos naturales, vulnerabilidad y prevención de desastres naturales en países en desarrollo*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X02000831?via%3Dihub>
- Bastardo, C. (22 de Octubre de 2023). *Guía práctica] Análisis de Estabilidad de Taludes (Fellenius y Bishop)*. Obtenido de <https://sismica-institute.com/guia-practica-analisis-de-estabilidad-de-taludes-fellenius-bishop/#t-1678180067791>
- BORDA, A. R. (s.f.). *PROBLEMAS DE MECANICA DE SUELOS*. MONQUEGUA: WILBER CUTIMBO CHOQUE.
- Camacho, G. M. (2021). *Determinación del factor de seguridad para comparar técnicas de estabilización de taludes utilizando GEO5 caso: parque El Milagro Huaraz, Áncash, 2020*. Obtenido de Universidad César Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60818>
- CIDHMA Capacitaciones. (2020). *¿QUÉ ES EL FACTOR DE SEGURIDAD?* Obtenido de <https://www.cidhma.edu.pe/que-es-el-factor-de-seguridad/>
- Desastres, E. I. (s.f.). *Deslizamientos*. Obtenido de <https://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/deslizamiento.htm>
- Díaz, J. S. (2009). *Deslizamientos Volumen 1 Analisis Geotécnico*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander (UIS).

Ecuador, I. G. (11 de Febrero de 2021). *Geoportal IGM*. Obtenido de

<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Escobar, C., & Duque, G. (2017). *Factor de Seguridad*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/analisisdeestabilidaddetaludes.pdf>

Escorsa, L. (1993). *Levantamiento Geológico de la depresión de Guaranda*.

FERRANDO, F. (1992). “Bases Para la Confección de Cartas de Erodabilidad”. En *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas* (pág. 8). Talca: Universidad de Talca.

Froude, M. J. (23 de Agosto de 2018). *Ocurrencia mundial de deslizamientos de tierra mortales entre 2004 y 2016*. Obtenido de Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016.

Natural Hazards and Earth System Sciences:

<https://nhess.copernicus.org/articles/18/2161/2018/>

García , W. (20 de Mayo de 2017). *Cohesion y angulo de friccion*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/slideshow/cohesion-y-angulo-de-fricciodocx-1/76165240>

GEO5 Perú. (agosto de 2024). *Características principales de GEO5*. Obtenido de

<https://geo5peru.pe/software-geotecnico/caracteristicas/>

Geographics, B. M. (10 de Febrero de 2025). *Global Mapper*. Obtenido de

https://www.blumarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper/Combine_Compare_Terrain_Layers.htm

Gonzalez, L. (23 de Julio de 2020). *Suelos Francos*. Obtenido de Prezi:

https://prezi.com/sov2_uizpbyp/suelos-francos/

- GUARANDA, G. (25 de Mayo de 2024). *Alcaldía de Guaranda*. Obtenido de <http://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/datos-importantes/>
- Hermanns, R. L. (1 de Junio de 2019). *A Geosensor Network Based Monitoring and Early Warning System for Landslides*. Obtenido de *Landslides and infrastructure*. *Landslide Science and Practice*: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31445-2_10
- Juárez Badillo , E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica De Suelos Tomo 1 Fundamentos De La Mecánica De Suelos*. México: Limusa.
- Macías , A., Carvajal, D., Cobos, D., Fienco, B., Peralta , J., & Zambrano, J. (Abril de 2018). *Mecánica de Suelos Tomo I*. Obtenido de *Ingeniería y Teconología*: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2070/1/Mecanica%20de%20Suelo.pdf>
- MAGAP. (Septiembre de 2015). “*LEVANTAMIENTO DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA ESCALA 1:25.000, LOTE 2*”. Obtenido de SIGTIERRAS: http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_GUARANDA_20151117.pdf
- MORA-ORTIZ, R.-G. (Marzo de 2012). *Scielo México*. Obtenido de *Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas.*: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-77432012000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- MTOP. (2019). *Estudio de los sitios geológicos inestables de las carreteras. Guaranda*.
- Portillo, G. (4 de Octubre de 2023). *EcologíaVerde*. Obtenido de *Deslizamientos de tierra: causas, consecuencias y cómo prevenirlos*: <https://www.ecologiaverde.com/deslizamientos-de-tierra-causas-consecuencias-y-como-prevenirlos-4622.html>

Software de estabilidad de taludes GEO5. (s.f.). Obtenido de Geotécnia:

<https://geotecniafacil.com/programa-estabilidad-taludes/>

Suarez, J. (12 de febrero de 2017). *Talud y Talud Natural definiciones y tipos*. Obtenido de

<https://www.mecanicasuelosabcchile.com/talud-natural/>

Terzaghi, K. (1956). *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.

Valiente, R., Sobrecases, S., & Díaz, A. (2020). *Estabilidad de talud*. Obtenido de Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76781/taludes.pdf>

VERGARA , A., J.F, & BORGEL. (1972). En “*Definición de Parámetros para Establecer un Banco Nacional de Riesgos y Amenazas Naturales. Criterios para su Diseño*” (pág. 219). Chile : ONEMI/PNUDUchile/92/009/A.

Vivienda, M. d. (2014). Geotécnia y Cimentaciones. En *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)* (págs. 29-31). Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>

YOUNG, A. (1977). *Slopes*. London United Kingdom: Longman Group Limited.

Zuloaga, I. (7 de agosto de 2023). *¿Qué es la cohesión ? geotecnia*. Obtenido de

<https://geotecnia.ai/que-cimentacion-es-la-mas-adecuada-si-el-suelo-presenta-oquedades-y-materia-organica/>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2011). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL*

ECUADOR 2008. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS*

USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

Cargua, C. J., Espin, R., Valencia, B. G., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., & Ocampos,

A. (2024). LANDSLIDES SUSCEPTIBILITY ANALYSIS EMPLOYING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS ON AN AMAZONIAN ROADWAY IN ECUADOR. *Granja*, 39(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07>

Cristian José Correa Campués. (2020). *Análisis de la susceptibilidad de los fenómenos de remoción en masa de la carretera Loja-Zamora*.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/578/1/CD-0871.pdf>

Econ. Diego Aulestia Valencia. (2014). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO*

RESISTENTE. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

Econ. Diego Aulestia Valencia (Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda). (2015).

GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., &

Méndez Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2014). *Con la colaboración*

de. [https://www.esup.edu.pe/wp-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-)

[content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-)

[Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-)

Herrera Rodríguez, F. (2020). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Análisis de estabilidad de taludes.*

file:///C:/Users/paulg/Downloads/ANALISIS_DE_ESTABILIDAD_DE_TALUDES.pdf

Ingeniero Hugo Enrique Del Pozo Barrezueta. (2024). *LEY ORGÁNICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES Ley 0 Registro Oficial Suplemento 488 de 30-ene.-2024 Estado: Vigente Asamblea nacional REPÚBLICA DEL ECUADOR* (Issue 5). www.lexis.com.ec

Mauricio, E., & Malla, C. (2021). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Loja-Ecuador.*
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24356/1/EdgarMauricio-CabreraMalla.pdf>

Naciones Unidas. (2009). *7817_UNISDRTerminologySpanish.*

https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Raúl Mauricio Villacís Salazar. (2020). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8688/3/CD-1371.pdf>

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2018). *GLOSARIO-DE-TÉRMINOS-DE-GESTIÓN-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.*

[https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%3%89RMINOS-DE-GESTI%3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf)

[content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%3%89RMINOS-DE-GESTI%3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%3%89RMINOS-DE-GESTI%3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf)

ANEXOS

- Cronograma (Gantt)

CRONOGRAMA TENTATIVO (GANTT)

Fases y Tareas:

Fase 1: Planificación y Recolección de Datos (Meses 1-3)

- ❖ Definición del tema y alcance de la tesis (Semana 1-4)
- ❖ Recolección de datos geológicos y geotécnicos (Semana 5-8)
- ❖ Revisión de datos históricos y estudios previos (Semana 9-12)

Fase 2: Análisis de Datos y Evaluación de Impacto (Mes 4-6)

- ❖ Análisis de datos recolectados (Semana 13-16)
- ❖ Modelado geotécnico y simulaciones de estabilidad (Semana 17-20)
- ❖ Evaluación del impacto de deslizamientos en infraestructura y seguridad (Semana 21-24)

Fase 3: Desarrollo de Medidas de Reducción de Riesgos (Mes 7)

- ❖ Propuesta de medidas de reducción de riesgos asociados con la inestabilidad de taludes y sus afectaciones a los elementos expuestos (Semana 25-26)
- ❖ Evaluación de efectividad y viabilidad de las medidas propuestas (Semana 27)
- ❖ Revisión y ajustes de las medidas según los comentarios del tutor (Semana 28)

Fase 4: Implementación y Monitoreo (Mes 8)

- ❖ Implementación piloto de medidas seleccionadas (Semana 29)
- ❖ Monitoreo y ajuste continuo de la implementación (Semana 30)
- ❖ Evaluación de resultados y efectividad de las medidas implementadas (Semana 31)
- ❖ Preparación y presentación del informe final (Semana 32)

Gráfico Gantt:**Mes 1-3:**

Semana	1-4	5-8	9-12	
Actividades	Definición del tema y alcance de la tesis	Recolección de datos geológicos y geotécnicos	Revisión de datos históricos y estudios previos	

Semana	13-16	17-20	21-24	
Actividades	Análisis de datos recolectados	Modelado geotécnico y simulaciones de estabilidad	Evaluación del impacto de deslizamientos en infraestructura y seguridad	

Semana	25-26	27	8-9	
Actividades	Propuesta de medidas de reducción de riesgos asociados con la inestabilidad de taludes y sus afectaciones a los elementos expuestos	Evaluación de efectividad y viabilidad de las medidas propuestas	Revisión y ajustes de las medidas según los comentarios del tutor	

Semana	29	30	31	32
Actividades	Implementación piloto de medidas seleccionadas	Monitoreo y ajuste continuo de la implementación	Evaluación de resultados y efectividad de las medidas implementadas	Preparación y presentación del informe final

- Presupuesto Ejecutado
- Cuadro de Presupuesto

Concepto	Descripción	Costo Unitario (USD)	Cantidad	Costo Total (USD)
Personal				
Geologogo	Salario mensual (1 mes)	400	1	400
Sub-total Personal				400
Equipos y Materiales				
Equipos de Topografía	Alquiler diario (1 semana)	50	7	350
Materiales de Campo	Herramientas, equipos de seguridad, materiales de muestreo	50	1	50
Sub-total Equipos y Materiales				400
Transporte y Viáticos				
Pasajes para ir al lugar	Para vehículos de campo (1 semana)	50	1	50
Sub-total Transporte y Viáticos				50
Gastos Administrativos				
Papelería y Material		50	1	50
Comunicaciones	Teléfono, internet, y otros gastos de comunicación	50	1	50
Subtotal Gastos Administrativos				100
Total, General				1,000

ANEXOS (FOTOGRAFÍAS)

