



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL 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 la susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos de la quebrada Negroyacu en el sector Alpachaca hasta el barrio la Primavera de la ciudad de Guaranda en el periodo agosto - diciembre 2024”

AUTOR(A) (ES):

Mariela Melisa Cadena Talahua

Gustavo Bladimir Gavilanez García

DIRECTOR(A)

Ing. Abelardo Paucar Camacho

PARES ACADÉMICOS

Ing. Grey Barragán Aroca

Ing. Oswaldo López

GUARANDA – ECUADOR 2024

TEMA

“Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos de la quebrada Negroyacu en el sector Alpachaca hasta el barrio la Primavera de la ciudad de Guaranda en el periodo Agosto - Diciembre 2024”

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a Dios por brindarme la vida, salud, sabiduría para culminar esta etapa.

Gracias infinitas a mis padres, por ser un ejemplo de perseverancia, por su amor incondicional y su apoyo moral en cada etapa de mi vida, su paciencia y confianza en mí. También, expreso mi agradecimiento a mis hermanos, quienes supieron brindar su apoyo, me guiaron mi camino con sus consejos y experiencia, sobre todo por ser mi fuente de inspiración.

Por otro lado, agradezco a la Universidad Estatal de Bolívar por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar y culminar mi carrera profesional, a cada uno de los docentes de la Carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres quienes, con su experiencia, compromiso me brindaron conocimientos, valores y principios, su apoyo y enseñanza que contribuyen la base de mi vida profesional, a su vez agradezco a los ingenieros Abelardo Paucar y Numa Gaibor quienes, me impartieron sus conocimientos, comprensión y paciencia para culminar con éxito este proyecto de investigación. A todos quienes formaron parte de todo mi proceso estudiantil, mis más sinceros agradecimientos.

Mariela Melisa Cadena Talahua

AGRADECIMIENTO 2

Agradezco en primer lugar a dios por brindarme salud y sabiduría y permitirme culminar una etapa más, a pesar de los momentos difíciles que se han presentado en el camino, ha sido quien me ha dado fuerzas para salir adelante y no rendirme.

De manera especial agradezco infinitamente a mis padres, Efraín Gavilánez y Marlene García, por ser los pilares fundamentales que me impulsan día a día, y que han estado en cada etapa importante, apoyándome de forma económica y sentimental, que a diario me ha llenado de mucho valor para tener éxitos y bendiciones, también agradezco a mis hermanos que han estado al pendiente de mí, dándome su apoyo y ayudándome en lo que más han podido, por sus buenos consejos que me sirvieron para tomar buenas decisiones en la vida.

Agradezco profundamente a los Ingenieros. Abelardo Paucar y Numa Gaibor, por brindarme su orientación, por sus valiosas sugerencias y por su inquebrantable voluntad de compartir sus conocimientos. Su asesoría ha sido fundamental para dar forma a mis ideas y enfocar mis esfuerzos de investigación.

De la misma manera agradezco a esta noble institución Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano, carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, la cual me ha brindado la oportunidad de formarme, y brindarme conocimientos durante toda la carrera universitaria, también un agradecimiento en general a todos los docentes quienes han dedicado su tiempo para compartir sus aprendizajes.

Gustavo Bladimir Gavilanez García

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a toda mi familia, quienes son mi refugio y mayor inspiración. Agradezco a mis padres por inculcarme los valores de perseverancia y el amor al ser una gran profesional, a mis hermanos, cuñadas, sobrinos por su apoyo incondicional, han sido mi motivación e inspiración en el transcurso de mi carrera. También, un agradecimiento especial a mi novio por apoyarme y creer en mí en los momentos más difíciles.

A cada uno de ustedes, les expreso mis más sinceros agradecimientos, pues; en cada página, se encuentra marcado mi dedicación y amor, el apoyo y la amistad que me han sostenidos en este viaje académico. Su constante respaldo ha sido un pilar fundamental en mi camino y me han dado fuerzas para salir adelante y no darme por vencida.

Mariela Melisa Cadena Talahua

DEDICATORIA 2

De manera especial se lo quiero dedicar principalmente a Dios por ser quien me guía por el buen camino, y no me abandona en los momentos difíciles, por estar presente en cada fase de mi vida.

Este proyecto se los dedico a mis padres Efraín Gavilánez y Marlene García por darme su amor y confiar en mí, por ser quienes me han dado buenos valores que hoy en día los pongo en práctica, por enseñarme a no rendirme y alcanzar mis sueños, los amo mucho, aquí es donde refleja que todo su esfuerzo va dando frutos, por eso y mucho más estoy tan agradecido de tenerlos en mi vida, este proyecto también va dedicado a mis hermanos que han sido de gran apoyo con sus enseñanzas por estar cuando más lo he necesitado y por darme su amor. A mis queridos sobrinos, que cada día alegran mis días y me motivan a salir adelante con cada meta propuesta, los amo con todo mi corazón.

También quiero dedicar de manera especial a quien encamino mi vida y me acompañó en toda esta etapa, mi novia Gabriela Montero por alentarme a ser mejor y ser un apoyo muy importante, gracias por el amor que me demuestra todos los días.

Gustavo Bladimir Gavilanez García

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR Y PAR ACADÉMICO

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR

Guaranda, 31 de enero de 2025.

El suscrito Ing. José Alberto Paucar Camacho, Ph.D., Tutor del Trabajo de Titulación de Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS Y ELEMENTOS EXPUESTOS DE LA QUEBRADA NEGROYACU EN EL SECTOR ALPACHACA HASTA EL BARRIO LA PRIMAVERA DE LA CIUDAD DE GUARANDA EN EL PERIODO AGOSTO - DICIEMBRE / 2024."; realizado por los señores: **Mariela Melisa Cadena Talahua y Gustavo Bladimir Gavilanez García**, 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. JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO, PH.D
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO
PROFESOR IRD/UEB

DERECHOS DE AUTORÍA

DERECHOS DE AUTOR

Yo/nosotros **Cadena Talahua Mariela Melisa y Gustavo Bladimir Gavilanez García**, portador/res de la Cédula de Identidad No 025003037-6 y 020211171-2 en calidad de autor/res y titulares/ es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: "ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS Y ELEMENTOS EXPUESTOS DE LA QUEBRADA NEGROYACU EN EL SECTOR ALPACHACA HASTA EL BARRIO LA PRIMAVERA DE LA CIUDAD DE GUARANDA EN EL PERIODO AGOSTO - 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.

Atentamente:



**Cadena Talahua
Mariela Melisa**



**Gustavo Bladimir
Gavilanez Garcia**

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	5
1.1. Planteamiento del problema.....	5
1.2. Formulación del problema.....	7
1.3. Justificación.....	7
1.4. Objetivos.....	8
<i>1.4.1. Objetivo General.....</i>	8
<i>1.4.2. Objetivos Específicos.....</i>	8
1.5. Hipótesis.....	9
1.6. Variables de estudio.....	10
1.6.1. Operacionalización de variables.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Marco Referencial.....	13
2.1.1. Datos generales de la provincia Bolívar.....	13
2.1.2. Descripción de la zona de estudio.....	14
2.2. Antecedentes de la investigación.....	15
2.3. Bases teóricas.....	20
2.3.1. Amenaza.....	20
2.3.2. Amenaza natural.....	20
2.3.3. Amenazas antropogénicas o de origen humano.....	20

2.3.4. Desastre	20
2.3.5. Susceptibilidad	21
2.3.6. Deslizamientos	21
2.3.7. Tipos de deslizamiento	21
2.3.8. Factores que generan un deslizamiento	22
2.3.9. Elementos constitutivos del talud	23
2.3.10. Parámetros geotécnicos de deslizamientos	24
2.3.11. Mecánica de suelos	25
2.3.12. Índice de estabilidad de taludes	26
2.3.13. Factores influyen en la estabilidad de un talud	27
2.3.14. Medidas de reducción ante deslizamiento	28
2.3.15. Elementos expuestos	29
2.3.16. Elementos expuestos en zonas susceptibles	29
2.3.17. Análisis de exposición de infraestructura esencial	30
2.3.18. Análisis de elementos expuestos por factor de seguridad	32
2.4. Marco legal	32
2.5. Marco conceptual	37
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	40
3.1. Tipo de investigación	40
3.2. Enfoque de la investigación	40

3.3. Métodos de la investigación.....	40
3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.....	41
3.5. Universo población y muestra.....	42
3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la información.....	44
3.7. Coeficiente sísmico horizontal.....	51
3.8. Método de Bishop “corte circular”.....	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultado objetivo 1: Determinar el nivel de susceptibilidad de los taludes en la quebrada Negroyacu sector Alpachaca hasta el barrio la primavera en la ciudad de Guaranda.....	56
4.1.1. Análisis de perfiles: con coeficiente sismo y sin coeficiente sísmico.....	57
4.1.2. Resumen de análisis: perfiles, tablas, mapa con sismo y sin sismo.....	78
4.1.3. Análisis comparativo de resultados de los perfiles con acción sísmica y mapa de amenaza de deslizamiento del área urbana.....	81
4.2. Resultado objetivo 2: Identificar los elementos expuestos a afectaciones por deslizamientos.....	83
4.2.1. Exposición de edificaciones.....	83
4.2.2. Análisis de la Exposición infraestructura básica (agua potable y vías).....	86
4.3. Resultado objetivo 3: Establecer medidas preventivas y correctivas frente a esta amenaza de deslizamiento.....	89
4.4. Comprobación de la hipótesis.....	94

CAPÍTULO V	95
5.1. CONCLUSIONES	95
5.2. RECOMENDACIONES	96
6. Bibliografía	98
7. ANEXOS	103
7.1. Anexos 1: vuelo de Dron.....	103
7.2. Anexos 2: Tipos de muestras de suelo de la quebrada Negroyacu	104
7.3. Anexos 4: registro fotográfico.....	109

Índice de tablas

Tabla 1: Variable Dependiente: Susceptibilidad a deslizamiento	11
Tabla 2: Variable Dependiente: Elementos expuestos	12
Tabla 3: Resultados de peso de suelo por tamizaje	48
Tabla 4: Resultados de peso de suelo por tamizaje	49
Tabla 5: Resultados de peso de suelo por tamizaje	50
Tabla 6: Resultados de los perfiles con acción sísmica y perfiles sin acción sísmica.....	78
Tabla 7: Número y tipo de edificaciones ubicadas en los niveles de amenaza alto y medio en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	84
Tabla 8: Infraestructura esencial de red de distribución de agua potable y vías.....	87
Tabla 9: Medidas estructurales.....	90
Tabla 10: Medidas no estructurales.....	92

Índice de imágenes/ilustraciones/gráficos

Ilustración 1: Mapa de ubicación.....	14
Ilustración 2: Elementos de un talud.....	24
Ilustración 3: Granulometría.....	25
Ilustración 4: Polígono de intervención de la quebrada Negroyacu.....	43
Ilustración 5: Nube de puntos densa.....	44
Ilustración 6: Modelo digital de elevación (DEM).....	45
Ilustración 7: Mapa de ubicación de puntos de muestra para del sistema unificado de la clasificación de suelos (SUCS).....	47
Ilustración 11: Mapa para diseño sísmico.....	51
Ilustración 12: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Guaranda.....	54
Ilustración 13: Mapa de división de polígonos	56
Ilustración 14: Análisis del perfil 1 lado A sin coeficiente sísmico	58
Ilustración 15: Análisis del perfil 1 lado A con coeficiente sísmico.....	59
Ilustración 16: Análisis del perfil 1 lado B sin coeficiente sísmico.....	60
Ilustración 17: Análisis del perfil 1 lado B con coeficiente sísmico.....	61
Ilustración 18: Análisis del perfil 2 lado A sin coeficiente sísmico	62
Ilustración 19: Análisis del perfil 2 lado A con coeficiente sísmico	63
Ilustración 20: Análisis del perfil 2 lado B sin coeficiente sísmico.....	64
Ilustración 21: Análisis del perfil 2 lado B con coeficiente sísmico.....	65
Ilustración 22: Análisis del perfil 3 lado A sin coeficiente sísmico	66
Ilustración 23: Análisis del perfil 3 lado A con coeficiente sísmico	67
Ilustración 24: Análisis del perfil 3 lado B sin coeficiente sísmico.....	68

Ilustración 25: Análisis del perfil 3 lado B con coeficiente sísmico.....	69
Ilustración 26: Análisis del perfil 4 lado A sin coeficiente sísmico	70
Ilustración 27: Análisis del perfil 4 lado A con coeficiente sísmico.....	71
Ilustración 28: Análisis del perfil 4 lado B sin coeficiente sísmico.....	72
Ilustración 29: Análisis del perfil 4 lado B con coeficiente sísmico.....	73
Ilustración 30: Análisis del perfil 5 lado A sin coeficiente sísmico	74
Ilustración 31: Análisis del perfil 5 lado A con coeficiente sísmico	75
Ilustración 32: Análisis del perfil 5 lado B sin coeficiente sísmico.....	76
Ilustración 33: Análisis del perfil 5 lado B con coeficiente sísmico.....	77
Ilustración 34: Mapa de factor de seguridad sin coeficiente sísmico	79
Ilustración 35: Mapa de factor de seguridad con coeficiente sísmico	80
Ilustración 36: Mapa de comparación entre el factor de seguridad con coeficiente sísmico y la amenaza de deslizamientos.	82
Ilustración 37: Mapa de exposición de las edificaciones.....	85
Ilustración 38: Mapa de exposición de servicio e infraestructura esencial.....	87

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se direcciona hacia el análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en la quebrada Negroyacu, situada en el casco urbano de la ciudad de Guaranda; esta área se caracteriza por una geología y geomorfología particular que la hace especialmente vulnerable a fenómenos como deslizamientos y erosión por flujo de agua, lo que pone en riesgo tanto las infraestructuras como la seguridad de la población; por ello, resulta esencial evaluar las condiciones de los taludes para garantizar la protección de las obras civiles y la población circundante.

En este proyecto se utilizó la metodología de investigación analítica la cual busca comprender las causas, explicaciones, relaciones entre fenómenos y situaciones de los factores de susceptibilidad de taludes que influyen en los deslizamientos. Adicionalmente, se considera descriptiva ya que detalla y analiza las características, prioridades y fenómenos que se relacionan con la gestión de riesgos.

Se evaluó la susceptibilidad de los taludes utilizando el programa geo 5 y el método de Bishop. Para ello, se introdujeron datos como, el tipo de suelo, su ángulo de fricción y cohesión, además de un factor de seguridad de 1,50 y un coeficiente sísmico horizontal de 0,024 gals. El software también permite analizar factores de seguridad bajo distintos escenarios, abarcando taludes naturales y artificiales, configuraciones de suelos, niveles freáticos y variaciones de pendiente.

Los resultados logrados en este estudio permitirán determinar las condiciones actuales de los taludes; al identificar las principales causas de susceptibilidad, posibilita plantear medidas de mitigación adecuadas. De esta manera, se busca no solo mejorar la seguridad y durabilidad de las obras civiles, sino también velar por la protección de los ciudadanos, conteniendo las pérdidas y los perjuicios materiales y salvaguardando la vida de las personas.

En el capítulo uno se identificó la zona de estudio utilizando mapas temáticos y salidas de observación, considerando las problemáticas existentes se planteó el problema, y se estableció el objetivo general, los objetivos específicos, la hipótesis y las variables de estudio. En el capítulo dos se desarrolló el marco teórico, el cual proporciona una estructura para la recopilación y análisis de datos. El capítulo tres está indicando la metodología, donde se describen los métodos y técnicas empleadas para recopilar y analizar la información. En el capítulo cuatro se presentan los resultados y la discusión, derivados de la recopilación y análisis de los datos. En el capítulo cinco se encuentran las conclusiones y recomendaciones, que resumen los hallazgos más importantes de la investigación basados en los resultados obtenidos. En el capítulo seis se encuentra la bibliografía en donde se presenta una lista de referencias citadas en el texto que incluye información detallada sobre las fuentes tomadas en consideración. Finalmente, en el capítulo siete se incluyen los anexos, que contienen evidencias del trabajo realizado tanto en campo como en oficina.

RESUMEN

El actual estudio de investigación se centra en el análisis de la susceptibilidad a deslizamientos en la quebrada Negroyacu, ubicada en el sector de Alpachaca hasta el barrio La Primavera de la ciudad de Guaranda. El objetivo principal del estudio es identificar las áreas con mayor susceptibilidad a deslizamientos y evaluar los elementos expuestos a este riesgo, con el fin de proponer medidas preventivas y correctivas.

En este proyecto se empleó la metodología de investigación analítica que busca comprender las causas, explicaciones y relaciones entre fenómenos, situaciones de los factores de susceptibilidad de talud que influyen en los deslizamientos. Adicionalmente, es descriptiva ya que explica y analiza las características, prioridades y fenómenos que están relacionados con la gestión de riesgos.

Para el análisis de los taludes en la quebrada Negroyacu se utilizó el software GEO 5 con el método de Bishop, Para ello, se introdujeron datos como, el tipo de suelo, su ángulo de fricción y cohesión, además de un factor de seguridad de 1,50 y un coeficiente sísmico horizontal de 0,024 gals.

Los resultados obtenidos permitieron identificar las áreas con mayor susceptibilidad a deslizamientos, Además, se identificaron los elementos expuestos como viviendas, infraestructura vial y redes de servicios. Como conclusión, se estableció que la quebrada Negroyacu presenta un alto grado de susceptibilidad a deslizamientos. Los resultados obtenidos permiten priorizar las zonas donde se deben intervenir las autoridades competentes.

Palabras claves: Deslizamientos, estabilidad de taludes, índice de susceptibilidad.

ABSTRACT

The current research study focuses on the analysis of the susceptibility to landslides in the Negroyacu ravine, located in the Alpachaca sector up to the La Primavera neighborhood of the city of Guaranda. The main objective of the study is to identify the areas with the greatest susceptibility to landslides and evaluate the elements exposed to this risk, in order to propose preventive and corrective measures.

In this project, the analytical research methodology was used, which seeks to understand the causes, explanations and relationships between phenomena, situations of slope instability factors that influence landslides. Additionally, it is descriptive since it explains and analyzes the characteristics, priorities and phenomena that are related to risk management. For the analysis of the slopes in the Negroyacu ravine, the GEO 5 software was used with the Bishop method. For this, data such as the type of soil, its friction and cohesion angle, in addition to a safety factor of 1.50 and a horizontal seismic coefficient of 0.024 gals were introduced.

The results obtained allowed to identify the areas with the greatest susceptibility to landslides. In addition, exposed elements such as housing, road infrastructure and service networks were identified. In conclusion, it was established that the Negroyacu ravine has a high degree of susceptibility to landslides. The results obtained allow prioritizing the areas where the competent authorities must intervene.

Keywords: Landslides, slope stability, stability index, susceptibility.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1.Planteamiento del problema

Los deslizamientos de tierra son un problema común en América Latina, especialmente en áreas tropicales y montañosas. Estos desastres naturales son causados por una combinación de factores, incluyendo fuertes lluvias, deforestación, erosión del suelo y actividades humanas. Los deslizamientos de tierra, junto con otros movimientos de masa como avalanchas, son los principales causantes de eventos catastróficos. Además, los deslizamientos de tierra pueden causar graves daños a la infraestructura, la propiedad y la salud humana. En los Estados Unidos, estos eventos cobran entre 25 y 50 vidas cada año, mientras que, en América Latina, han causado un promedio de 6,000 muertes anuales en los últimos 30 años. (CDC, 2019).

Ecuador, al tener una topografía montañosa, experimenta deslizamientos de tierra en su región costera, andina y oriental. Estos eventos son más comunes durante la temporada de lluvias, cuando el suelo saturado pierde su estabilidad y se desliza, a menudo en forma de flujos de lodo. (Ron, L. y Valera, R., 2022).

La ciudad de Guaranda está ubicada en la "Depresión de Guaranda", una zona delimitada por tres fallas geológicas principales. La falla más antigua es la del río Salinas (RS), una extensión de la falla del río Chimbo con dirección norte-sur, y que a su vez se considera parte de la falla regional Puná – Pallatanga – Riobamba.

En segundo lugar, se encuentra la falla del río Guaranda (RG), también conocida como falla Illangama-Guaranda, que corre paralela a la cordillera de Chimbo y al flanco occidental de la cordillera Occidental. Finalmente, la falla de Negroyacu (NG) completa el esquema tectónico de la depresión de Guaranda.

Según Escorza, la depresión de Guaranda se originó durante el Neógeno, como resultado de las últimas fases del levantamiento de los Andes, un evento tectónico distinto a la posible sutura de subducción o depresión del Oligoceno Superior que pudo haber afectado al valle del río Chimbo. (Castro, 2013).

El barrio Alpachaca ubicado en la ciudad de Guaranda estaría considerado como un área de consolidación urbana por la gran demanda de arriendos, ya que se encuentra cercano a la Universidad Estatal de Bolívar, actual centro de desarrollo educativo, y de gran cantidad de estudiantes que provienen de otras provincias y cantones del país. Al ser una zona de crecimiento y desarrollo presenta un desorden en la construcción de viviendas ya que se encuentran ubicadas a orillas de la quebrada Negroyacu, la leve intervención por parte de las autoridades, provoca que el uso de los suelos sea inadecuado y no se tome en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial (Bonilla, 2018).

La quebrada Negroyacu, ubicada en la ciudad de Guaranda, parroquia Guanujo, presenta una alta probabilidad de deslizamientos debido a su topografía, geología, erosión por flujo de agua y escasa intervención por parte de las autoridades competentes, aumenta la probabilidad de afectaciones a infraestructuras cercanas, poniendo en evidencia el peligro a la seguridad y la vida de sus habitantes; el desarrollo urbano sin normas de construcción, previos estudios de suelo y la erosión hídrica son las principales causas a que se evidencie la susceptibilidad a deslizamientos en esta área con presencia de elementos expuestos que podrían ser afectados por este evento.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el grado de susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos de la quebrada Negroyacu en el sector Alpachaca hasta el barrio La Primavera de la ciudad de Guaranda?

1.3. Justificación

La ciudad de Guaranda, caracterizada por su topografía irregular con numerosos relieves y quebradas, enfrenta un riesgo significativo de deslizamientos de tierra, especialmente en áreas como la quebrada Negroyacu, que atraviesa varios barrios y es particularmente susceptible debido a sus pendientes pronunciadas.

La presente investigación surgió por la importancia de analizar la susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos en la quebrada Negroyacu, desde el sector Alpachaca hasta el barrio la Primavera, el estudio detallado en la zona permitirá identificar con mayor precisión las áreas más susceptibles a deslizamientos, permitiendo mejorar la percepción del riesgo en la zona con el fin de tomar medidas preventivas para proteger a los residentes, contribuyendo al desarrollo sostenible del barrio y la ciudad.

La pérdida de biodiversidad puede tener un impacto significativo en el medio ambiente local, la erosión hídrica puede desempeñar un papel crucial debilitando la estabilidad del suelo y aumentando la predisposición de un área a deslizamiento, el análisis de los posibles deslizamientos ayuda a prevenir y preparar a los habitantes del sector tomando medidas que minimicen el riesgo.

Es de gran importancia para la seguridad pública, la comprensión de procesos geológicos, y ambientales, el estudio de los deslizamientos en la quebrada Negroyacu permitirá identificar claramente la exposición de las construcciones, las redes de distribución de agua y vías de primer y segundo orden susceptibles a las amenazas, esto implica considerar no sólo los aspectos geológicos y geomorfológicos, sino también aspectos sociales, a través de ciertas características como su ubicación, ya que los asentamientos humanos están ubicados a las orillas de la quebrada, la estabilidad de las estructuras construidas se ven vulnerables por pérdida de cobertura vegetal, aumentando el riesgo de daños y pérdidas materiales y humanas, una evaluación real del grado de vulnerabilidad proporciona una oportunidad para adoptar un enfoque de gestión integrada de riesgos (Palacios, 2020).

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos de la quebrada Negroyacu en el sector Alpachaca hasta el barrio La Primavera de la ciudad de Guaranda.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el nivel de susceptibilidad de los taludes en la quebrada Negroyacu desde el sector Alpachaca hasta el barrio la primavera en la ciudad de Guaranda.
2. Identificar los elementos expuestos a afectaciones por deslizamientos.
3. Establecer medidas preventivas y correctivas frente a esta amenaza de deslizamiento.

1.5.Hipótesis

Se plantea las siguientes hipótesis de investigación:

H1: El nivel de susceptibilidad a deslizamientos influye en la exposición de los elementos en la zona de incidencia de la quebrada Negroyacu en el tramo entre el sector Alpachaca y el barrio la primavera.

Ho: El nivel de susceptibilidad a deslizamientos no influye en la exposición de los elementos en la zona de incidencia de la quebrada Negroyacu en el tramo entre el sector Alpachaca y el barrio la primavera.

1.6. Variables de estudio**Variable independiente**

Susceptibilidad a deslizamientos

Variable dependiente

Elementos expuestos

1.6.1. Operacionalización de variables

Tabla 1: Variable independiente: Susceptibilidad a deslizamiento

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento
Susceptibilidad a deslizamientos	Un deslizamiento de tierra implica el movimiento de una masa de suelo o roca a lo largo de una o varias superficies de falla, que pueden ser claramente visibles o estar contenidas dentro de una zona delgada. Este movimiento puede ocurrir de manera gradual, comenzando en un punto y extendiéndose progresivamente a lo largo de la superficie de falla, o puede involucrar múltiples masas que se mueven de forma independiente o semi-independiente. (Suarez J. , deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales , 2012)	Geología y tipo de suelos	Composición del suelo	Tipo	Práctica de tamizaje y revisión de información secundaria
				Gals (Unidad de medida del coeficiente sísmico horizontal)	NEC-2015
				arenas mal gradadas (gramos)	Estudio de suelo (laboratorio) Revisión de información secundaria
			Saturación del suelo	kN/m3	
			Peso unitario del suelo	kN/m3	
			Ángulo de fricción	grados	
		Cohesión del suelo	kPa (Kilopascales) describe la adherencia entre las partículas del suelo		
Geomorfológica	Topografía de terreno (altura)	Metros	DRON y SIG		
Índice de susceptibilidad del talud	Índice sin sismo	Resultado $\geq 1,5$ ESTABLE; Resultado $< 1,5$ INESTABLE	Software GEO 5		

Nota: Operacionalización de la variable independiente, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024

Tabla 2: Variable Dependiente: Elementos expuestos

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento	
Elementos expuestos	Los elementos expuestos se refieren a las personas, sus medios de vida, recursos económicos, estructuras sociales y culturales, e infraestructura que pueden ser impactados por una amenaza específica. (CENEPRED, 2015)	Exposición de infraestructura esencial	Red de distribución de agua potable	Longitud en km	Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la ciudad de Guaranda. Mapas temáticos y matrices	
			Red de colectores de alcantarillado	Longitud en km		
			Vías urbanas	Longitud en km		
		Exposición de bloque de edificaciones	Número y tipo de uso de edificaciones	Comercio		
				Edificaciones públicas		
				Edificaciones residenciales		
				Servicios Sin uso		
Otros						

Nota: Operacionalización de la variable dependiente, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Datos generales de la provincia Bolívar

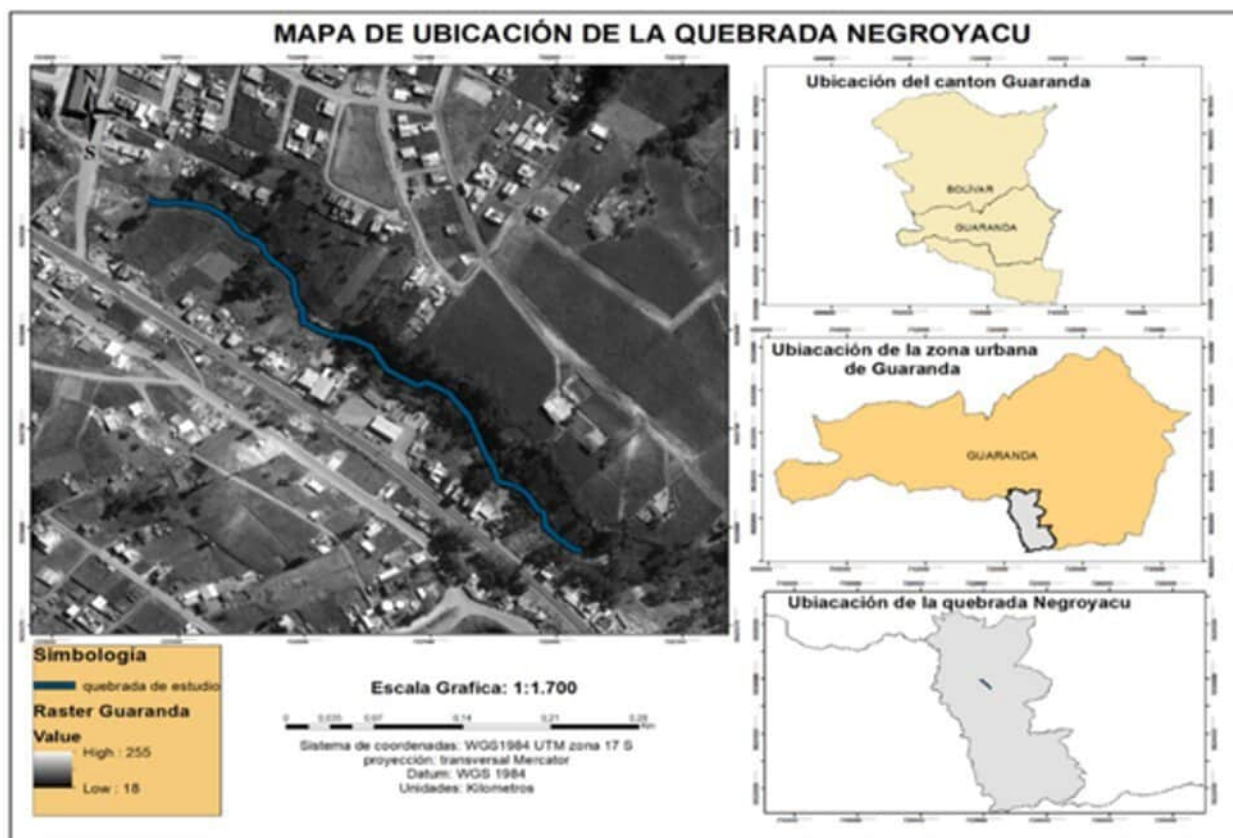
La ciudad de Guaranda se sitúa en la cuenca del río Chimbo, en el centro de Ecuador, y es la capital de la provincia de Bolívar. Limita al norte con la provincia de Cotopaxi, al sur con los cantones de Chimbo y San Miguel, al este con las provincias de Chimborazo y Tungurahua, y al oeste con los cantones de Las Naves, Caluma y Ecyheandía. Desde una perspectiva geológica, la Fosa o Graben de Guaranda, ubicada al norte de la provincia de Bolívar, tiene un ancho de 10 km y se extiende en dirección norte-sur. Está compuesta principalmente por rocas volcánicas andesíticas, como material piroclástico, tobas o cangahuas, mantos de lava, arena, polvo y cenizas volcánicas. Su extensión abarca desde el Arenal, en las laderas del Chimborazo, hasta la cordillera de Chimbo, y al sur, el cañón del mismo nombre. En cuanto a su geomorfología, la región es el resultado de una actividad volcánica reciente, que se ha mantenido activa durante aproximadamente 2 millones de años. (GAD-Guaranda, 2020).

La ciudad de Guaranda, ubicada en un terreno con laderas de materiales poco consolidados, rellenos mal compactados y drenaje superficial deficiente, presenta condiciones que favorecen la susceptibilidad en su área urbana. Estudios geotécnicos preliminares y análisis de imágenes satelitales respaldan esta situación, mostrando una alta probabilidad de deslizamientos y otros movimientos de tierra en la zona. (Serrano, 2015).

2.1.2. Descripción de la zona de estudio

La quebrada Negroyacu, se encuentra ubicada en el sector norte del cantón Guaranda, a orillas del barrio Alpachaca centro urbano de la parroquia Gabriel Ignacio Veintimilla, y la vía principal (AV. Alfredo Noboa Montenegro E491). El área específica de estudio se extiende desde el sector de Alpachaca hasta el barrio La Primavera. El polígono de intervención tiene una extensión de 8 hectáreas, en donde, 94 edificaciones se encuentran expuestas y un total de 3,601 km de infraestructura esencial como son las redes de distribución de agua y las vías de primer y segundo orden.

Ilustración 1: Mapa de ubicación



Nota: Localización de la zona de estudio, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

2.2. Antecedentes de la investigación

La falla de Negroyacu, una falla local derivada de la falla del río Guaranda, se caracteriza por la presencia de quebradas alineadas y levantadas con una dirección aproximada de este a oeste, como las quebradas Negroyacu y Suruhuayco, que atraviesan la zona en cuestión. En el "Estudio de evaluación de la amenaza sísmica para la ciudad de Guaranda. Provincia de Bolívar", realizado por el IG/EPN en colaboración con el Gobierno Municipal de Guaranda y la Universidad Estatal de Bolívar en septiembre de 2007, se llevó a cabo una evaluación probabilística y determinística del peligro sísmico que enfrenta la ciudad de Guaranda. El estudio concluye que el sismo máximo probable, analizado con las leyes de atenuación correspondientes, para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (práctica internacional), tendría valores de aceleración en roca entre 0.22 g y 0.28 g. Las zonas de origen que más contribuyen a la amenaza son aquellas ubicadas en la zona de subducción y el sistema de fallas transcurrentes, en particular la falla de Pallatanga. (Sifuentes, 2013).

“Zonificación de la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos caso de estudio: Nariño – Colombia”

El estudio de Osorio (Osorio, 2019), propone el concepto de corredor hidro-geo morfométrico como metodología para delimitar áreas de estudio en proyectos de susceptibilidad a deslizamientos en corredores viales. Esta metodología integra el paisaje mediante el cálculo de puntos de acumulación y microcuencas que se superponen al eje vial, utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM).

El Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) se obtuvo mediante el método estadístico bivariado propuesto por Van Westen (2000), utilizando el 80% (302 registros) de un inventario de deslizamientos en el área de estudio para el entrenamiento del modelo y el 20%

restante (76 registros) para su validación. Los factores condicionantes de la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos considerados fueron: pendiente, aspecto, curvatura, índice topográfico de humedad (TWI), densidad de drenajes, cobertura de la tierra, litología y número de curva de escorrentía.

Los factores geomorfométricos se calcularon mediante geoprocesamiento a partir del DEM (Alos Palsar; resolución espacial = 12,5 m). La cobertura de la tierra (escala 1:25.000) se obtuvo aplicando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. La litología se obtuvo del mapa geológico nacional (escala 1:100.000) del Servicio Geológico Colombiano.

Este trabajo de investigación se relaciona con otros estudios similares en cuanto a los métodos utilizados para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos y analizar los factores que condicionan este fenómeno. Aporta metodologías para determinar el índice de susceptibilidad a deslizamientos y factores geomorfológicos.

“Análisis de riesgos ante la amenaza de deslizamiento a las orillas de la quebrada Chusig en la Urbanización Santa Mónica Alta, parroquia de Conocoto, zona del Valle de los Chillos, Ciudad de Quito”

La siguiente investigación realizada por (Javier, 2017), se enfocó en realizar un análisis de riesgos en una zona residencial vulnerable a deslizamientos. Para evaluar las vulnerabilidades en función de las amenazas a nivel municipal, se adoptó una metodología propuesta por la SNGR & PNUD (2011). Esta metodología analiza la vulnerabilidad ante amenazas específicas, considerando principalmente las características de la infraestructura. Fue diseñada para analizar la vulnerabilidad ante sismos, erupciones volcánicas, inundaciones y deslizamientos de tierra.

Esta investigación, que combina trabajo de campo y documental, se basa en la metodología mencionada, la cual proporcionará resultados cualitativos y cuantitativos que

respaldarán la propuesta. Los residentes de los alrededores de la quebrada Negroyacu podrán comprender mejor las circunstancias en las que viven y, si lo consideran viable, tomar las medidas correctivas que crean convenientes.

Este estudio contribuye al análisis de la susceptibilidad a deslizamientos y la gestión del riesgo en zonas habitadas, complementando otros estudios y ofreciendo una visión integral del problema de los deslizamientos de tierra.

“Estudio de factores de susceptibilidad (topográfico, geológico, hidrológico, geomorfológico, desarrollo social y económico) de la quebrada situada al flanco este del Cerro Susanga, ante la posibilidad reactiva del macro deslizamiento, durante el periodo de noviembre 2011 a agosto 2012”

La investigación realizada por (Naranjo, 2012), indagó un gran deslizamiento y encontró que varios factores contribuyeron a él. Estos factores incluyen la forma del terreno (altura y pendiente), cómo se usa el suelo (mal uso, pastoreo, falta de mantenimiento), agua (filtración y lluvias), eventos naturales (temblores) y la falta de preparación de la comunidad.

Esta nueva investigación tomará en cuenta los hallazgos de Naranjo (2012), ya que los mismos factores pueden estar presentes en otros lugares. Sin embargo, cada situación es única y requerirá un análisis particular.

"Evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masas por deslizamientos mediante los índices de vegetación NDVI Y SBI del cantón Alausí, provincia de Chimborazo"

Un estudio de (Mejía, L. y Troya, L., 2021) sobre la susceptibilidad a deslizamientos en el cantón Alausí, provincia de Chimborazo, combinó mapas de vegetación (NDVI), suelo (SBI) y pendiente para identificar la actividad de deslizamientos. Se calcularon diferencias entre mapas de diferentes fechas para reducir errores y se superpusieron espacialmente para crear un mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

La metodología se validó mediante muestreo estratificado, verificación de deslizamientos históricos y análisis estadístico Kappa. El muestreo estratificado, que consideró diferentes grupos de población y estructuras, generó 62 puntos de muestreo a través de un programa. Este método resultó confiable ya que las muestras presentaron diversos estratos, asegurando que los componentes de cada estrato se relacionarán en diferentes subgrupos y coinciden con áreas geográficas del territorio.

La verificación en campo permitió conocer la situación real del territorio respecto a los deslizamientos. Se determinó que los deslizamientos activos tenían alta susceptibilidad, los interrumpidos susceptibilidad media y las zonas sin deslizamientos susceptibilidad baja. Se presenta un mapa temático de validación en campo.

Esta investigación proporciona técnicas geomáticas importantes para identificar deslizamientos en un territorio, utilizando modelos digitales de elevación, pendientes, orientaciones e índices espectrales de vegetación (NDVI y SBI). Sirve como guía para analizar la susceptibilidad a deslizamientos y elementos expuestos en la quebrada de Negroyacu en Guaranda.

“Estado del arte de metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad a nivel social y económico debido a amenazas de procesos de remoción en masa”

Este estudio se centra en la evaluación de la vulnerabilidad social y económica de la infraestructura vial ante riesgos (SNGR-PNUD, 2011), con el objetivo de contribuir a su mitigación. La investigación se desarrolló de manera progresiva, comenzando con una revisión bibliográfica exhaustiva de fuentes nacionales e internacionales, principalmente de países latinoamericanos, enfocándose en la afectación de la infraestructura vial por movimientos de remoción en masa.

Se identificaron cuatro metodologías relevantes, de las cuales dos fueron implementadas en casos de estudio en el país:

Metodología para la cuantificación de pérdidas económicas en corredores viales por deslizamientos y avalanchas: Se aplicó un caso piloto a tres tramos de la vía concesionada Bogotá-Villavicencio para deslizamientos superficiales.

Metodología para la Evaluación de Riesgo en Corredores Viales.

Metodología para estimación de curvas de vulnerabilidad económica por lluvia para infraestructura vial: Se aplicó a la carretera Bogotá-Villavicencio (Colombia).

Esta investigación servirá como guía, ya que las metodologías que presenta son útiles para analizar la susceptibilidad a deslizamientos y cuantificar las pérdidas económicas ocasionadas por eventos adversos.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Amenaza

“Es un proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otras afectaciones en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales” (Fernandéz, 2023).

2.3.2. Amenaza natural

Asociada predominantemente a procesos y fenómenos naturales.

2.3.3. Amenazas antropogénicas o de origen humano

Son las inducidas de forma total o predominante por las actividades y las decisiones humanas. Este término no abarca la existencia o el riesgo de conflictos armados y otras situaciones de inestabilidad o tensión social que están sujetas al derecho internacional humanitario y la legislación nacional (Jimenez, 2018).

2.3.4. Desastre

Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente. Esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida, genera adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente (Calderón, 2021).

2.3.5. Susceptibilidad

“Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos” (Fernández, 2023).

2.3.6. Deslizamientos

Según la “Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja”, un deslizamiento de tierra es el movimiento masivo de rocas, escombros, tierra o lodo por una pendiente. Si bien la mayoría de los deslizamientos de tierra son causados por la gravedad, también pueden ser causados por lluvias, terremotos, erupciones volcánicas, presión del agua subterránea, erosión, desestabilización de laderas como resultado de la deforestación, el cultivo y la construcción (UTAS, 2023).

La (SNGRE) afirma que “la naturaleza nos da algunas señales previas a la ocurrencia de un deslizamiento. Las más frecuentes son deformaciones y/o agrietamientos en la tierra, inclinación de los árboles; también, los caminos de herradura se desvían de su trazado original al igual que las cercas” (SNGR, 2024).

2.3.7. Tipos de deslizamiento

Deslizamientos rotacionales

Son movimientos hacia abajo y hacia fuera de una masa de suelo o roca a lo largo de una superficie curva. Los deslizamientos rotacionales suelen producirse en zonas con pendientes o laderas de forma cóncava, donde la pendiente pasa de ser más pronunciada en la parte superior a ser más suave en la parte inferior (Mendoza, 2020).

Deslizamientos traslacionales

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.

Flujos de lodo

Los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad (Suarez , 1998).

2.3.8. Factores que generan un deslizamiento

Los deslizamientos pueden tener factores naturales o provocadas por el hombre

Factores naturales:

- Condiciones de suelo y roca: Suelos saturados de agua, escombros poco consolidados y rocas fracturadas pueden generar deslizamientos.
- Topografía: La inclinación de las laderas es un factor determinante en la formación de deslizamientos. En general, mientras más grande es la pendiente, mayor es la amenaza por deslizamientos.
- Lluvia: La cantidad y duración de la lluvia controlan la desestabilización de una ladera.
- Actividad Sísmica: Cuando se produce un temblor se generan vibraciones que pueden afectar el equilibrio de las laderas y originar deslizamientos. Cuanto mayor sea la intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es la amenaza por deslizamientos.
- Deforestación: Las áreas deforestadas favorecen la erosión.

Actividades humanas

- Excavaciones para la construcción de viviendas, edificios, escuelas, puentes y carreteras.
- Explosiones en la construcción o minería, al construir carreteras. Las vibraciones producidas actúan como pequeños temblores fracturando y debilitando las rocas.
- Sobrecargas como resultado del aumento de peso. Se produce debido a varios tipos de construcciones sobre el suelo: rellenos, terraplenes, acumulación de materiales y de agua.
- Actividad minera: Originada por la extracción de materiales a cielo abierto (Escobar, 2020).

2.3.9. Elementos constitutivos del talud

El talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. (Medina, C. y Astudillo, J., 2009)

Ilustración 2: Elementos de un talud

Nota: Partes de un talud, (Suarez J. , 2021).

2.3.10. Parámetros geotécnicos de deslizamientos

Resistencia al cortante

La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento, los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno, los ángulos de fricción varían de cero en materiales muy blandos, a 50 grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de 10 Kg cm² en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas (Suarez J. , 2021).

Permeabilidad

La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc. Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/seg., en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10-10 cm/seg., en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos (Suarez J. , 2021).

2.3.11. Mecánica de suelos

Mecánica es la parte de la ciencia física que trata de la acción de las fuerzas sobre los cuerpos. De igual forma, la Mecánica de Suelos es la rama de la Mecánica que trata de la acción de las fuerzas sobre la masa de los suelos. El Dr. Karl Terzaghi definió a la Mecánica de Suelos como la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas. (Crespo, 2004)

Granulometría

La granulometría se refiere al análisis de los tamaños de las partículas que componen un árido. Para determinar cómo se distribuyen estos tamaños, se utiliza un proceso de separación que involucra el uso de cedazos o tamices. La tamizadora es un dispositivo mecánico diseñado para agilizar el proceso de tamizado de muestras. Permite realizar la separación de partículas en una sola operación. Se organiza una serie de tamices, desde el de mayor abertura de malla hasta el de menor, y mediante un movimiento de vibración, se lleva a cabo la clasificación de la muestra. (Crespo, 2004)

Ilustración 2: Granulometría



Nota: composición del suelo con la práctica del tamizaje, (Crespo, 2004)

Composición del suelo

es el resultado de procesos de formación que tiene lugar por la interacción de los factores de formación tiene alcance mundial, los suelos se valoran principalmente por las características de la composición bioquímica, mineralógica, revisando y sistematizando los tipos de reacciones órgano minerales, las leyes del ciclo biológico y su relación con el ciclo geológico. (Hernandes, Ascaneo, Morales, & Garcia, 2008)

Cohesión del suelo

“La cohesión es la propiedad que permite a las partículas de un suelo permanecer juntas gracias a fuerzas internas. Estas fuerzas están influenciadas, entre otros factores, por la cantidad de puntos de contacto entre las partículas adyacentes” (Cuadros, Montenegro, & Jorge, 2015).

Suelos cohesivos y suelos no cohesivos

Una característica que hace muy distintivos a diferentes tipos de suelos es la cohesión. Debido a ella los suelos se clasifican en "cohesivos" y "no cohesivos". Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava. (Crespo, 2004)

2.3.12. Índice de estabilidad de taludes

El índice de estabilidad de la pendiente se determina mediante el factor de seguridad (F), que es la relación entre la resistencia del terreno y la fuerza de inestabilidad:

Si el valor de F es mayor que 1.5, la pendiente es estable

Si el valor de F es menor que 1.5, la pendiente es inestable (COMOPA, 2022).

La inestabilidad en pendientes puede deberse a:

Irregularidades por causas geológicas como pendientes inestables, topografía, estratificación o meteorización. El nivel del agua subterránea cambia como resultado de condiciones estacionales u obras de construcción. Actividades técnicas como relleno o excavación.

2.3.13. Factores influyen en la estabilidad de un talud

- **Factores condicionantes:** estos factores afectan la estabilidad de la pendiente. Entre ellas, las más importantes son la estructura geológica y las características litológicas del terreno, así como las condiciones hidrogeológicas y la morfología del relieve.
- **Factores desencadenantes:** Estos factores son agentes de inestabilidad o inductores de deslizamientos, vuelcos, deslizamientos, flujos y movimientos, cambiando con ello la forma y función del talud.

2.3.13.1. Factores naturales

- **Factores geológicos:** incluyendo tipos de estructuras geológicas, movimiento de placas tectónicas, terremotos y actividad volcánica.
- **Factores climáticos:** Las precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) son un factor que puede cambiar la estabilidad de la pendiente.
- **Factores hidrogeológicos:** Las aguas subterráneas, la acción de los ríos, la erosión hidráulica, la acción de las olas sobre las rocas, el derretimiento del hielo y el movimiento de los glaciares son factores que tienen mayor influencia en la estabilidad de los taludes.

- **Factores biológicos:** la vegetación tiene un efecto protector natural sobre la superficie del talud. Las raíces ayudan a aumentar la estabilidad y resistencia del suelo, así como la absorción de agua y sales minerales. Los tallos reducen la resistencia del material y previenen la erosión del suelo.

2.3.12.2. Factores debidos a la actividad humana

Los factores ocasionados por la acción del hombre, generalmente están vinculados a la construcción de infraestructuras, obras civiles o a las actividades mineras y/o agrícolas.

- **Actividades mineras:** es necesaria la construcción de taludes mediante excavaciones (minas a cielo abierto) o galerías y túneles (minería subterránea), y el uso de explosivos, cuyas ondas de choque afectan la estabilidad del terreno.

Actividades agrícolas: “Es necesario construir proyectos de conservación del agua como canales, presas, presas, sistemas de riego y drenaje que afecten los niveles freáticos y los niveles piezométricos”. (Medina, C. y Astudillo, J., 2009).

- **Construcción de carreteras:** Muchas veces es necesario construir taludes y terraplenes para estabilizar el terreno y el trazado de carreteras o vías férreas. Después de la construcción, el tráfico de vehículos y trenes genera cargas dinámicas y vibraciones en el suelo. Instalaciones, edificios e infraestructura: a menudo se requiere alguna forma de estabilización de taludes, muros de contención, muros anclados (COMOPA, 2022).

2.3.14. Medidas de reducción ante deslizamiento

- **Prevención: Análisis de riesgo:** Identificar zonas propensas a deslizamientos mediante estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos
 - **Ordenamiento territorial:** Regularizar el uso del suelo en zonas de riesgo, evitando construcciones en áreas inestables

- **Sistemas de alerta temprana:** Implementar sistemas de monitoreo y alerta temprana para detectar signos precursores de deslizamientos
- **Protección: Obras de estabilización:** Construir estructuras como muros de contención, drenajes y anclajes para aumentar la estabilidad de los taludes
 - **Coberturas vegetales:** Promover la vegetación en taludes para aumentar la cohesión del suelo y reducir la erosión
 - **Preparación: Planes de emergencia:** Elaborar planes de evacuación y respuesta ante deslizamientos para las comunidades en riesgo
 - **Educación y concientización:** Capacitar a la población sobre los riesgos de deslizamientos y las medidas de autoprotección (USAC, 2021).

2.3.15. Elementos expuestos

Los deslizamientos de tierra son fenómenos geológicos que pueden causar daños significativos a infraestructuras, propiedades y vidas humanas. Al producirse, exponen una variedad de elementos que pueden ser de interés para diferentes disciplinas, como la geología, la ingeniería civil y la gestión de riesgos (CENEPRED, 2014).

2.3.16. Elementos expuestos en zonas susceptibles

Al respecto es importante indicar que, se cuantifica la probable afectación de los elementos expuestos (área geográfica en riesgo) que están dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, calculando las probables pérdidas o daños (vidas humanas, infraestructura, bienes, y el ambiente), que podrían generarse a consecuencia de la manifestación de los fenómenos naturales. (CENEPRED, 2014)

2.3.17. Análisis de exposición de infraestructura esencial

Edificios públicos

“Considerar la cantidad, el material de construcción predominante y el área total de los edificios públicos que se encuentran dentro del área geográfica expuesta al fenómeno de origen natural” (CENEPRED, 2014).

Exposición de red de distribución de agua

Los sistemas encargados de hacer llegar el agua a la población son pilares fundamentales para el bienestar y el progreso de cualquier comunidad. Sin embargo, estos sistemas se enfrentan a obstáculos significativos, siendo la escasez de agua y la irregularidad en su distribución los más apremiantes. Para superar estos retos, es crucial adquirir un conocimiento profundo y detallado de cómo funcionan los sistemas de distribución de agua. Solo así podremos tomar decisiones informadas y estrategias efectivas que permitan optimizar el servicio y garantizar un acceso equitativo y sostenible a este recurso vital. (comision nacional de agua)

Exposición de vías urbanas

Para empezar, las vías urbanas son todas aquellas carreteras, calles y caminos situados dentro de una ciudad o pueblo. Se caracterizan por tener un tráfico variado que incluye vehículos, peatones, ciclistas y transporte público. Estas vías son fundamentales para la movilidad diaria de las personas y para el transporte de bienes y servicios. Hablamos de exposición cuando estas se encuentran frente a una amenaza, puede ser de diferente tipo tales como, inundaciones, deslizamientos, terremotos, etc.

Vías de comunicación

Considerar todas las vías de comunicación que pueden ser potencialmente afectadas y se encuentren dentro del área geográfica expuesta.

- Caminos de rurales o de herradura
- Carreteras afirmadas
- Carreteras asfaltadas, indicar el material de la superficie de rodadura.
- Puentes vehiculares, debe considerar el tipo de puente, la luz en metros lineales y el material predominante de construcción.
- Puentes peatonales, debe considerar el tipo de puente, la luz en metros lineales y el material predominante de construcción.
- Aeropuertos, Indicar el nivel del aeropuerto, y si se encuentra dentro del área geográfica potencialmente afectada.
- Terrapuerto, indicar el nivel del Terrapuerto y si este se encuentra dentro del área geográfica potencialmente afectada.
- Puertos, Indicar la potencial afectación a la infraestructura de puertos existentes en el área geográfica.
- Canales de riego, se debe considerar el tipo de revestimiento, la longitud de canal que se encuentra dentro del área geográfica potencialmente afectada.
- Defensa ribereña, considerar la longitud, el tipo de material de la infraestructura de defensa ribereña (muros de contención, etc.).
- Diques, indicar la longitud y el material de los diques potencialmente afectados dentro del área afectada.

- Bocatomas, indicar la cantidad, el tipo de material de las bocatomas potencialmente afectados, dentro del área geográfica involucrada.
- Reservorios, Indicar la cantidad, el tipo de material de los reservorios nocturnos de agua involucrados en el área geográfica potencialmente afectada.

2.3.18. Análisis de elementos expuestos por factor de seguridad

En esta etapa se debe cuantificar los elementos expuestos, con la finalidad de que las recomendaciones estructurales y no estructurales resultantes del informe de evaluación de riesgos, sean las más convenientes y ayuden a la toma de decisiones. Se podrá integrar información adicional, en función de los tipos de elementos expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural (CENEPRED, 2014).

2.4. Marco legal

Constitución, 2008

Establece que el estado ecuatoriano es responsable de la gestión de riesgos a nivel del territorio nacional, además establece un órgano rector que debe trabajar en el Sistema Nacional Centralizado, ha contribuido al fortalecimiento de leyes y artículos, para una respuesta efectiva ante eventos adversos, ya que reconoce la naturaleza como sujeto de derechos y establece la obligación del Estado de protegerla, también ha permitido avances importantes en la protección de los derechos de las personas, la reducción de la pobreza y la promoción del desarrollo.

Según el artículo 389. Establece el marco legal para la protección de las comunidades y el medio ambiente frente a los desastres. La estructura organizativa a nivel nacional para la administración de riesgos se basa en la colaboración de las áreas de gestión de riesgos de todas las entidades, tanto gubernamentales como no gubernamentales, operando a nivel local, regional y nacional. Este sistema se caracteriza por su naturaleza descentralizada, y la legislación

establece un organismo técnico específico para llevar a cabo funciones especializadas en la gestión de riesgos."

Se identifican funciones principales:

1. Se requiere un análisis detallado para detectar tanto los peligros actuales como los posibles riesgos futuros que puedan afectar a Ecuador, sin importar si su origen es dentro o fuera del país.

2. Es imprescindible crear, facilitar el acceso y divulgar información clara y actualizada para que la gestión de riesgos sea eficaz y accesible para todos.

3. Todas las organizaciones, tanto del sector público como privado, deben incorporar la gestión de riesgos de manera obligatoria y en todas sus actividades de planificación y operación.

5. Es fundamental que las instituciones trabajen juntas para coordinar acciones de prevención y mitigación de riesgos, así como para responder, recuperarse y restablecer las condiciones previas a una emergencia o desastre.

6. Se deben implementar y coordinar las acciones necesarias para disminuir las vulnerabilidades y para prevenir, mitigar, responder y superar los efectos negativos de desastres o emergencias en todo el territorio nacional.

El artículo 390. Constituye un pilar fundamental para la reducción de riesgos en Ecuador, al establecer un enfoque descentralizado y participativo que permite una respuesta más efectiva, adecuada y sostenible ante eventos adversos. La implementación efectiva del principio de descentralización subsidiaria en la gestión de riesgos, como lo establece el artículo 390, es crucial para construir un Ecuador más resiliente y preparado para enfrentar los desafíos que presentan los eventos adversos (SNGR, 2023).

**Norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015); geotecnia y cimentaciones:
Estudio de estabilidad de laderas y taludes.**

El análisis de la firmeza de pendientes y terraplenes es crucial para salvaguardar vidas, proteger la seguridad física de las personas y preservar propiedades materiales, al reducir al mínimo los peligros relacionados con eventos adversos provocados por la falta de estabilidad del terreno. El estudio de estabilidad de laderas y taludes, tal como lo exige la NEC 2015, es una práctica esencial en la geotecnia y cimentaciones para la reducción de riesgos ante eventos adversos. Su implementación contribuye a la construcción segura, resiliente y sostenible de las infraestructuras en Ecuador. Las administraciones locales también están obligadas a adoptar regulaciones técnicas para la prevención y manejo de peligros sísmicos, con el fin de resguardar la seguridad de individuos y comunidades. (NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones, 2015).

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Guaranda (DPOT) 2020-2025

Dentro del marco del Sistema Ambiental, las políticas públicas establecen la creación de un sistema de seguridad ciudadana que abarque tanto los peligros naturales como los generados por el ser humano. Una de sus estrategias principales es promover actividades de prevención y disminución de riesgos, incentivando la participación de la comunidad en la protección contra desastres naturales. En el ámbito de los Asentamientos Humanos, se implementa una política pública que busca impulsar y desarrollar un sistema urbano-rural integrado, garantizando la equidad territorial y mejorando la normativa para la planificación urbana. Sin embargo, más allá de los mandatos legales y constitucionales, existe una responsabilidad ética colectiva para adoptar medidas de preparación y respuesta ante situaciones de emergencia. Por lo tanto, el Plan

de Ordenamiento Territorial de Guaranda se sustenta tanto en fundamentos legales como en principios éticos de autoprotección (PDOT-Guaranda, 2020-2025)

Plan de Uso y Gestión de Suelo (PUGS)

La ordenanza N° 006 CM-GADCG -2021 que regula el Plan de Uso y Gestión del Suelo, fraccionamientos y construcciones; del cantón Guaranda principalmente en las zonas de mayor probabilidad a sufrir un deslizamiento como las quebradas, lomas y colinas.

Que, el artículo 11 La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, en su artículo 11, sección 3, establece que los gobiernos municipales locales deben clasificar todo el territorio de su cantón en zonas urbanas y rurales, y determinar cómo se utilizará y gestionará el suelo. Además, están obligados a identificar los peligros naturales y aquellos causados por el ser humano dentro de su jurisdicción. Su labor debe enfocarse en promover la calidad del entorno, la seguridad, la integración social y la accesibilidad tanto en áreas urbanas como rurales, así como en garantizar la movilidad y el acceso a servicios básicos y espacios públicos para todos los habitantes. Las decisiones de estos gobiernos en materia de ordenamiento territorial y uso del suelo deben regular las intervenciones de otros niveles de gobierno en su territorio.

PIT-6 Tratamiento mejoramiento integral. Existen zonas con condiciones desfavorables para la construcción debido a su alto nivel de riesgo, incluyendo áreas como: pendientes de colinas (San Barolo, Tililac, Talalac, Cresta Tami, San Jacinto, Cruz loma, Loma de Guaranda), que presentan una alta susceptibilidad a sismos y deslizamientos; así como áreas con vegetación ribereña a lo largo de los ríos Guaranda, Salinas y Conventillo, y las zonas de quebradas como Negroyacu y Suruhuayco.

Al indicar que la quebrada Negroyacu corresponde al sitio de estudio, se está señalando que esta quebrada se encuentra dentro de las áreas delimitadas por el PIT-6 como de alto riesgo. Esto implica que: al estar ubicada en una zona de quebradas, presenta una alta probabilidad de sufrir deslizamientos de tierra, especialmente durante la época de lluvias o ante eventos sísmicos, al igual que otras áreas mencionadas en el PIT-6, está expuesta a una amenaza sísmica considerable. Los sismos pueden desencadenar deslizamientos y otros eventos geológicos peligrosos (GAD-Guaranda, 2022)

2.5. Marco conceptual

Amenaza: un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (UNGRD, 2022).

Análisis de riesgo: en su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada (MICSE, 2015)

Deslizamientos: Un deslizamiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi- independientes (IDIGER, 2023)

Elementos expuestos: “Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza” (ONU-ESPIDER, 2024)

Factores externos: los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio de aquellas. Tres tipos de acciones se incluyen aquí; la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas (Medina, J. y Astudillo, C., 2020).

Geometría del talud: “la geometría del talud es un factor muy importante a ser tomado en cuenta en el diseño de cualquier obra de infraestructura a fin de prevenir futuros deslizamientos” (Medina, J. y Astudillo, C., 2020).

Riesgo: se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad también, se entiende como los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (CIIFEN, 2021).

Resiliencia: “es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas” (CIIFEN, 2021).

Pendientes: al hablar del grado de pendientes los rangos van desde 15° hasta mayores a 45° de inclinación por lo que se constituyen un factor importante a la hora de identificar y describir deslizamientos en el terreno, siendo los más propensos los de pendientes altas que unidos al tipo de roca nos dan en muchos casos el tipo de movimiento (Medina, J. y Astudillo, C., 2020).

Susceptibilidad: “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 adverso” (Chiroque, 2022).

Vulnerabilidad: “son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia” (CIIFEN, 2021).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Se llevó a cabo un estudio de tipo no experimental, ya que los investigadores optaron por observar y analizar los fenómenos y variables en su contexto natural, sin intervenir de forma activa ni alterar ninguna de las variables presentes.

En la investigación se utilizó la investigación de campo para observar y analizar los factores que inciden en un posible deslizamiento, así como, los elementos expuestos en su entorno natural en la quebrada Negroyacu del área urbana de Guaranda.

3.2. Enfoque de la investigación

Se aplicó el enfoque de investigación mixta, en el componente cuantitativo, a través del software Geo 5 se estimó el índice de estabilidad de los taludes por tramos en el área de estudio de la quebrada Negroyacu, de esta manera, se estableció la susceptibilidad a deslizamientos; en el componente cualitativo, se estableció las edificaciones e infraestructura esencial, como las vías y red de distribución de agua expuesta a la zona inestable y susceptible a deslizamiento; a partir de lo resultados, se elaboró la propuesta de medidas de mitigación.

3.3. Métodos de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicó los siguientes métodos:

Método analítico

La investigación analítica busca comprender las causas, explicaciones y relaciones entre fenómenos, en este caso, se analiza los factores que determinan el índice de estabilidad del talud y la susceptibilidad a los deslizamientos; así como, se analiza los elementos expuestos (edificaciones, vías y red de distribución de agua).

Método descriptivo

Adicionalmente, se adopta el método descriptivo, ya que, en el presente estudio, se describe los factores que influye en la estabilidad y susceptibilidad a deslizamientos; de igual forma, se describe los elementos expuestos (edificaciones, vías y red de distribución de agua) en la zona de estudio (quebrada Negroyacu).

3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

La recolección de datos representa una etapa esencial en el desarrollo de cualquier investigación y en la obtención de información valiosa para la toma de decisiones. Las técnicas e instrumentos de recolección de información aplicados en el presente estudio son los siguientes:

Técnicas de recopilación de datos

Observación: Implica la observación directa de los factores de inestabilidad y susceptibilidad a deslizamiento e infraestructuras expuestas en la zona de estudio (quebrada Negroyacu).

Estudio documental: Consiste en recopilar información a partir de documentos existentes, como: estudios e informes técnicos, registros y cartografía de edificaciones, vías y red de distribución de agua potable, proporcionados por diferentes organismos gubernamentales de la ciudad de Guaranda.

Fotogrametría: se realiza la planificación y preparación del plan de vuelo con el fin de obtener imágenes de alta resolución que, al ser procesadas, generan modelos 3D y ortofotos precisas. Esta técnica posibilita la medición detallada de la topografía, la identificación de estructuras y la evaluación de la vegetación con el fin de medir y determinar las propiedades de la zona de estudio.

Muestreo aleatorio: El muestreo aleatorio se implementa para garantizar la objetividad y representatividad en la selección de puntos de muestreo dentro de la quebrada Negroyacu. Al elegir ubicaciones al azar, se minimiza el sesgo y se asegura que cada parte de la quebrada tenga la misma probabilidad de ser incluida en el estudio. La distribución uniforme de los puntos de muestreo en tres áreas distintas permitió determinar la variabilidad espacial del suelo y obtener datos confiables sobre las propiedades de la zona de estudio.

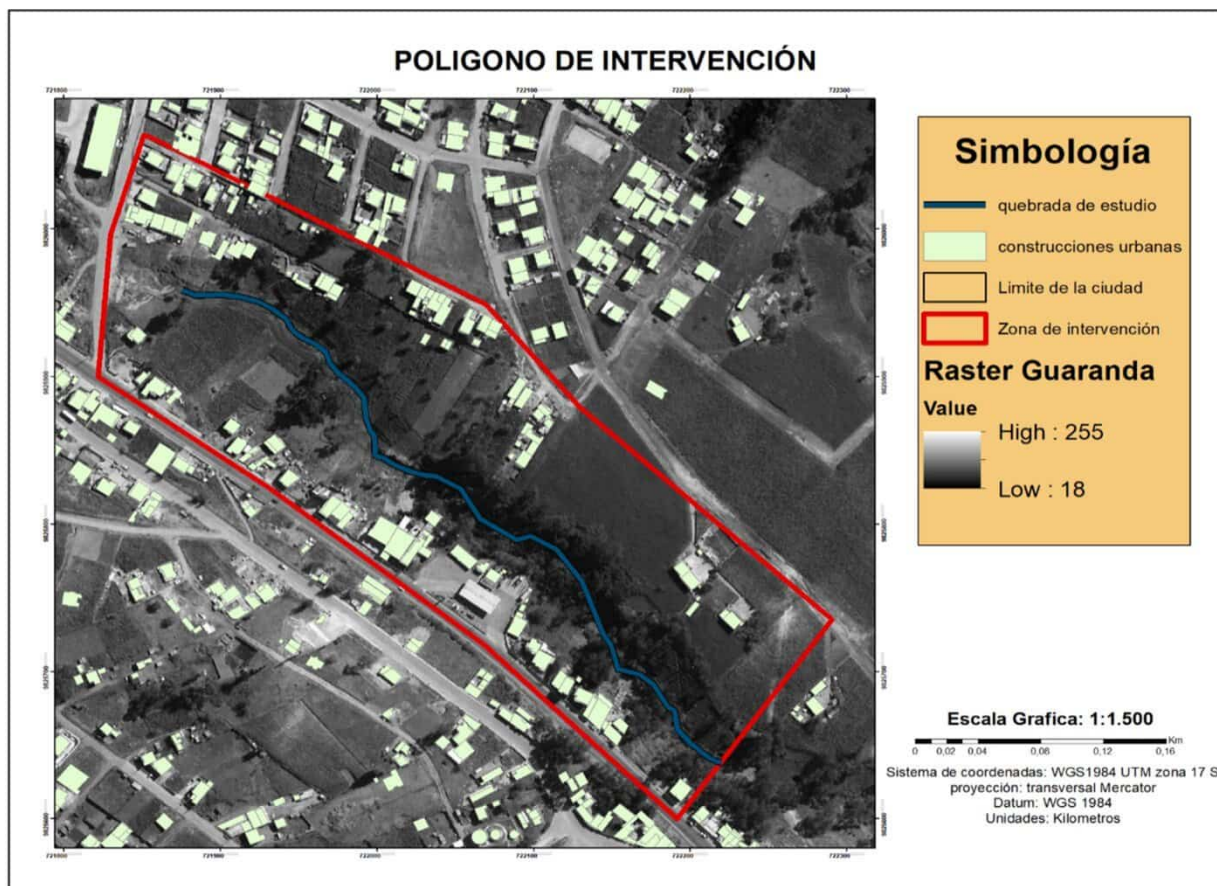
Instrumentos de recopilación de datos

- Dron: Se usa el Dron Mavic 2 Pro para la captura de imágenes aéreas.
- Laboratorio: uso de laboratorio de mecánica de suelos para conocer las propiedades mecánicas del suelo.

3.5. Universo población y muestra

Universo: contempla toda la quebrada desde la parte norte, que constituye desde la plaza de animales hasta la parte sur, que intercepta con el río Illangama con una longitud de 2,98 kilómetros. A través de la elaboración de un polígono de intervención, como muestra se ha considerado que el área de estudio en la quebrada Negroyacu (comprendida entre la calle 89 Luis Arregui y la calle 11 y continua por la calle 95 Luis de Urdaneta hasta la parte sur a la altura del barrio la Primavera donde existe la construcción de un embaulado en la quebrada Negroyacu, hasta la intersección con la vía Ernesto Cheguevara que continua por el franco oriental hasta la parte norte que intercepta con la calle 89 Luis Arregui entre la calle Luis Benigno Arregui), corresponde a 8 hectáreas, debido a que esta zona es de mayor exposición a deslizamientos, en donde, se encuentran 94 edificaciones y un total de 2,621 km de infraestructura esencial como son las redes de distribución de agua y 0,981 km de vías urbana. La zona de estudio se representa en la ilustración 1.

Ilustración 3: Polígono de intervención de la quebrada Negroyacu



Nota: Polígono de intervención representa el área de estudio de la quebrada Negroyacu, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

3.6. Técnicas de análisis y procesamiento de la información

Para realizar el procesamiento de la siguiente investigación se utilizó programas como: DroneDeploy, agisoft metashape, Word, ArcGis 10.5 y el software GEO5.

Para el objetivo 1: Determinar el nivel de susceptibilidad de los taludes en la quebrada Negroyacu sector Alpachaca hasta el barrio la primavera en la ciudad de Guaranda.

Procesamiento de imágenes

Para el cumplimiento del primer objetivo, se realizó un plan de vuelo en el área de estudio, que consta de 8 hectáreas, a una altura de 80 metros, se tomaron 101 fotografías para realizar un modelo digital de elevación (DEM), se procesó las fotografías captadas por el dron, utilizando el programa Agisoft Metashape, en el cual se combinaron los datos, para obtener una nube de puntos densa que, nos ayuda a representar la superficie externa del terreno. A través de la superposición y georreferenciación se formó un polígono de 4,061 y 165 polilíneas, para identificar el área del terreno.

Ilustración 4: Nube de puntos densa

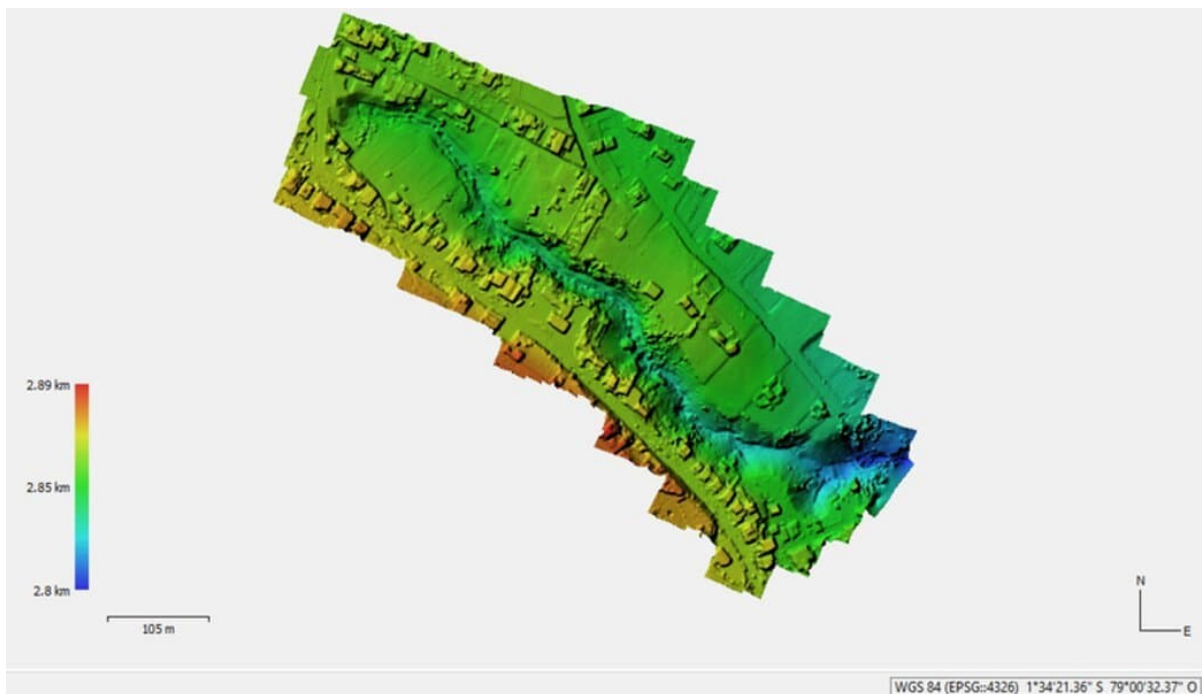


Nota: La nube de puntos densa nos ayuda a representar la superficie externa del terreno, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Creación del DEM

El modelo digital de elevación de la quebrada Negroyacu, permite crear interfaces que se pueden analizar posteriormente en el software GEO5, y determinar el nivel de susceptibilidad a deslizamientos en cada perfil.

Ilustración 5: Modelo digital de elevación (DEM).



Nota: El DEM nos permite identificar los perfiles para determinar el nivel de susceptibilidad de cada uno de estos, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Mecánica de suelos

Se utilizó el laboratorio para determinar la distribución granulométrica del suelo, en el trabajo de campo se observó una estructura estratificada, con una alternancia de capas de diferentes texturas y coloraciones, lo que refleja la heterogeneidad del material. Esto sugiere la presencia de partículas de diversos tamaños, desde arenas hasta materiales más finos. Para la obtención de estos resultados se procedió a la toma de muestras en tres puntos de la zona de estudio a una profundidad aproximada de 3 metros cada uno.

Muestra 1 en las coordenadas: 722166 E, 9825714 N

Muestra 2 en las coordenadas: 722027 E, 9825841 N

Muestra 3 en las coordenadas: 721884 E, 9825965 N

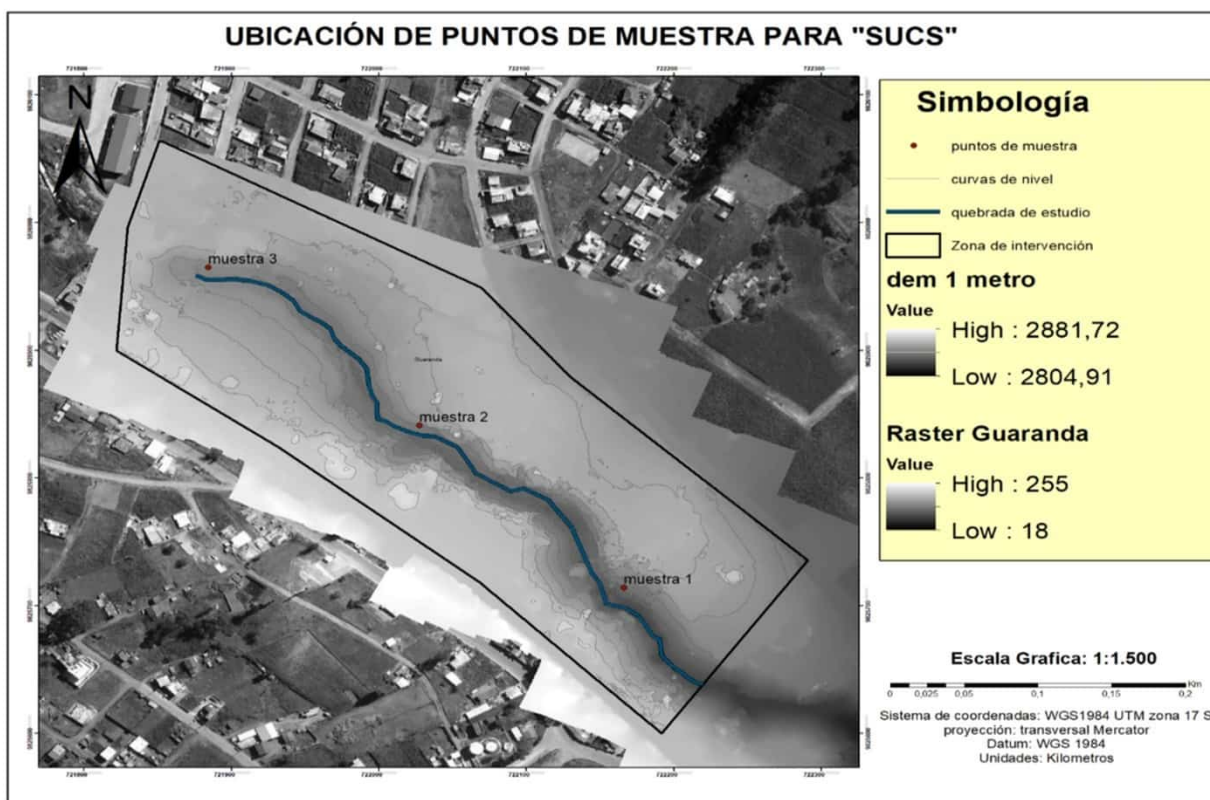
Para la clasificación de suelo se utilizó la herramienta del Sistema Unificado de la Clasificación de Suelos (SUCS), en donde los suelos deben ser clasificados inicialmente mediante un proceso de tamizado en el análisis granulométrico, donde serán clasificados como:

Suelo Grueso: Retenido en el tamiz #200, incluye gravas y arenas.

Suelo Fino: Pasa a través del tamiz #200, compuesto por arcillas, limos y materia orgánica.

A continuación, se representó en un mapa topográfico que detalla la ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio, se han marcado tres puntos en el mapa, numerados del 1 al 3; Estos puntos son los lugares específicos donde se tomaron las muestras, también, se puede apreciar, las curvas de nivel, que indican los cambios de elevación del terreno a intervalos regulares cada 5 metros. El polígono gris es el DEM, el cual nos ayuda a crear visualizaciones tridimensionales del terreno, lo que facilita la comprensión de la topografía del área de estudio.

Ilustración 6: Mapa de ubicación de puntos de muestra para del sistema unificado de la clasificación de suelos (SUCS)



Nota: Mapa topográfico que detalla la ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Resultado de la muestra 1

Esta tabla indica la proporción de la muestra y el tamaño de la abertura de los tamices utilizados para separar las partículas de suelo, los tamices se identifican por su número o por el tamaño de la abertura en milímetros (mm). El peso retenido es la cantidad de material (en gramos) que queda retenido en cada tamiz después de la práctica de tamizaje; Se cuenta con 1,22 kg de muestra de suelo, en el cual mediante el proceso de tamizaje se utilizaron 8 tamices, desde el número 4 hasta el número 200, y el fondo. El porcentaje de suelo que pasó del tamiz N 4 es de 87,38%, el porcentaje de suelo del tamiz N 200 es de 8,85%.

Tabla 3: Resultados de peso de suelo por tamizaje

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	0,00%	100,00%
1/2''	12,70	0	0,00%	100,00%
3/8''	9,53	0	0,00%	100,00%
N 4	4,75	0,154	12,62%	87,38%
PASA N 4				87,38%
N 10	2,00	0,202	16,56%	70,82%
N 20	0,84	0,216	17,70%	53,11%
N 30	0,60	0,12	9,84%	43,28%
N 40	0,43	0,1	8,20%	35,08%
N 60	0,25	0,15	12,30%	22,79%
N 100	0,15	0,08	6,56%	16,23%
N 200	0,08	0,09	7,38%	8,85%
PASA N 200				8,85%
FONDO		0,108	8,85%	0,00%
TOTAL		1,22		

Nota: Se cuenta con 1,22 kg de muestra de suelo, en el cual mediante el proceso de tamizaje se utilizaron 8 tamices, desde el número 4 hasta el número 200, y el fondo. El porcentaje de suelo que pasó del tamiz N 4 es de 87,38%, el porcentaje de suelo del tamiz N 200 es de 8,85%, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Según la información granulométrica, del estudio (SUCS) este suelo se clasifica como una mezcla de arenas con trazas de finos densa (S-F). En donde la grava tiene 12.62%, la arena tiene 80,00% y los finos un 7,38%.

Con estos porcentajes el software GEO 5, nos indica que, peso unitario de 17,50 KN/m³, con un ángulo de fricción de 31,50 °, cohesión del suelo 0 KN/m³.

Resultado de la muestra 2

La condición predominante es el comportamiento del agregado grueso, es decir, arenas con trazas de finos densa (S-F), que representa la fracción más abundante, con un 84,76% de arena, 10,17% de grava y 5,08% de finos.

Con estos porcentajes el software GEO 5, nos indica que, peso unitario de 17,50 KN/m³, con un ángulo de fricción de 31,50 °, cohesión del suelo 0 KN/m³.

Tabla 4: Resultados de peso de suelo por tamizaje

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	0,00%	100,00%
1/2''	12,70	0	0,00%	100,00%
3/8''	9,53	0	0,00%	100,00%
N 4	4,75	0,024	10,17%	89,83%
PASA N 4			0	89,83%
N 10	2,00	0,066	27,97%	61,86%
N 20	0,84	0,066	27,97%	33,90%
N 30	0,60	0,016	6,78%	27,12%
N 40	0,43	0,01	4,24%	22,88%
N 60	0,25	0,016	6,78%	16,10%
N 100	0,15	0,012	5,08%	11,02%
N 200	0,08	0,012	5,08%	5,93%
PASA N 200				5,93%
FONDO		0,014	5,93%	0,00%
TOTAL		0,236		

Nota: Se cuenta con 0.236 kg de muestra de suelo, en el cual mediante el proceso de tamizaje se utilizaron 8 tamices, desde el número 4 hasta el número 200, y el fondo. El porcentaje de suelo que pasó del tamiz N 4 es de 89,83%, el porcentaje de suelo del tamiz N 200 es de 5,93%, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Resultado de la muestra 3

La característica principal es el comportamiento del agregado grueso, específicamente la arena arcillosa (SC), que constituye la fracción más significativa, con un 81,84% de arena, 1,36% de grava y 16,80% de partículas finas.

Con estos porcentajes el software GEO 5, nos indica que, peso unitario de 18,50 KN/m³, con un ángulo de fricción de 27,00 °, cohesión del suelo 8,00 KN/m³.

Tabla 5: Resultados de peso de suelo por tamizaje

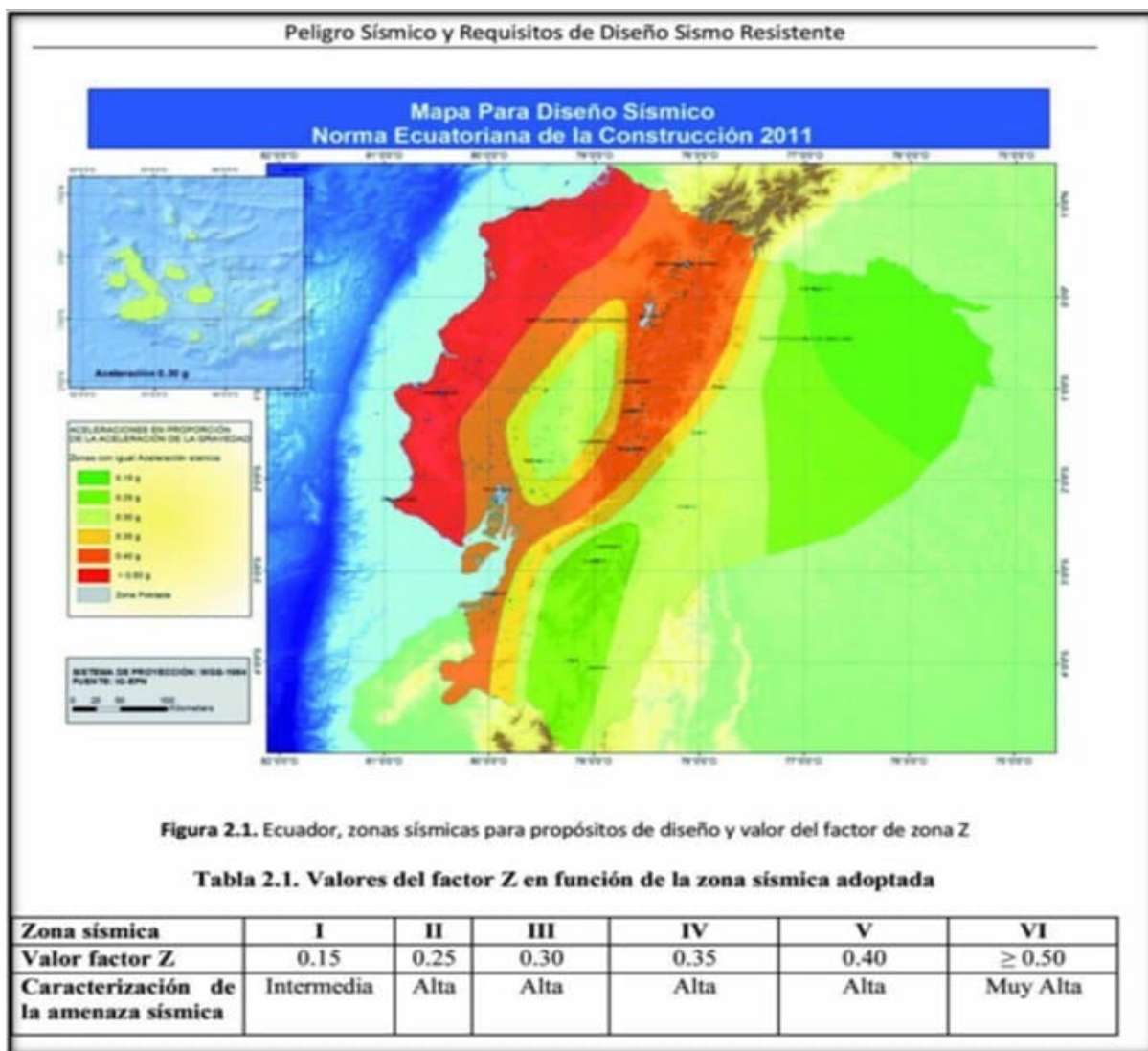
Tamiz	Abertura (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3''	76,20		0,00%	100,00%
2''	50,80		0,00%	100,00%
1''	25,40	0	0,00%	100,00%
3/4''	19,05	0	0,00%	100,00%
1/2''	12,70	0	0,00%	100,00%
3/8''	9,53	0	0,00%	100,00%
N 4	4,75	0,02	1,36%	98,64%
PASA N 4			0	98,64%
N 10	2,00	0,062	4,20%	94,44%
N 20	0,84	0,14	9,49%	84,96%
N 30	0,60	0,106	7,18%	77,78%
N 40	0,43	0,138	9,35%	68,43%
N 60	0,25	0,342	23,17%	45,26%
N 100	0,15	0,242	16,40%	28,86%
N 200	0,08	0,248	16,80%	12,06%
PASA N 200				12,06%
FONDO		0,178	12,06%	0,00%
TOTAL		1,476		

Nota: Se cuenta con 1,476 kg de muestra de suelo, en el cual mediante el proceso de tamizaje se utilizaron 8 tamices, desde el número 4 hasta el número 200, y el fondo. El porcentaje de suelo que pasó del tamiz N 4 es de 98,64%, el porcentaje de suelo del tamiz N 200 es de 12,06%, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

3.7. Coeficiente sísmico horizontal

Considerando la alta susceptibilidad a deslizamientos de la quebrada Negroyacu se decidió evaluar su estabilidad frente a eventos sísmicos. Como parámetro principal el coeficiente sísmico horizontal. Este coeficiente, determinado conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), representa las condiciones sísmicas del lugar y permite modelar un escenario crítico.

Ilustración 8: Mapa para diseño sísmico



Nota: mapa y tabla de valores del factor z, (NEC 2014).

Por lo que se tiene la siguiente fórmula:

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

$$amax = Z \cdot Fa$$

Donde:

kh= coeficiente sísmico horizontal

amax = aceleración máxima horizontal

Z = factor de zona

Fa= factor de amplificación o reducción dinámica asociado a cada tipo de suelo.

Datos:

Z= 0,35

Fa= 1,1

g= 9,8

Reemplazando los datos en la fórmula se obtiene el siguiente resultado:

$$amax = Z * Fa$$

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

$$amax = 0,385$$

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

$$kh = \frac{0,6 * 0,385}{9,8}$$

$$kh = \frac{0,231}{9,8}$$

$$kh = 0,024$$

Se considera el valor de 0,024 coeficiente sísmico horizontal (kh)

3.8. Método de Bishop “corte circular”

Se utilizó el método de simplificación Bishop, en el software GEO 5, y se basa en un corte para un deslizamiento de falla circular. Este método se clasifica dentro de los llamados métodos de equilibrio límite, y su principal función es evaluar el factor de seguridad de un talud, que es un indicador de su estabilidad frente a deslizamientos.

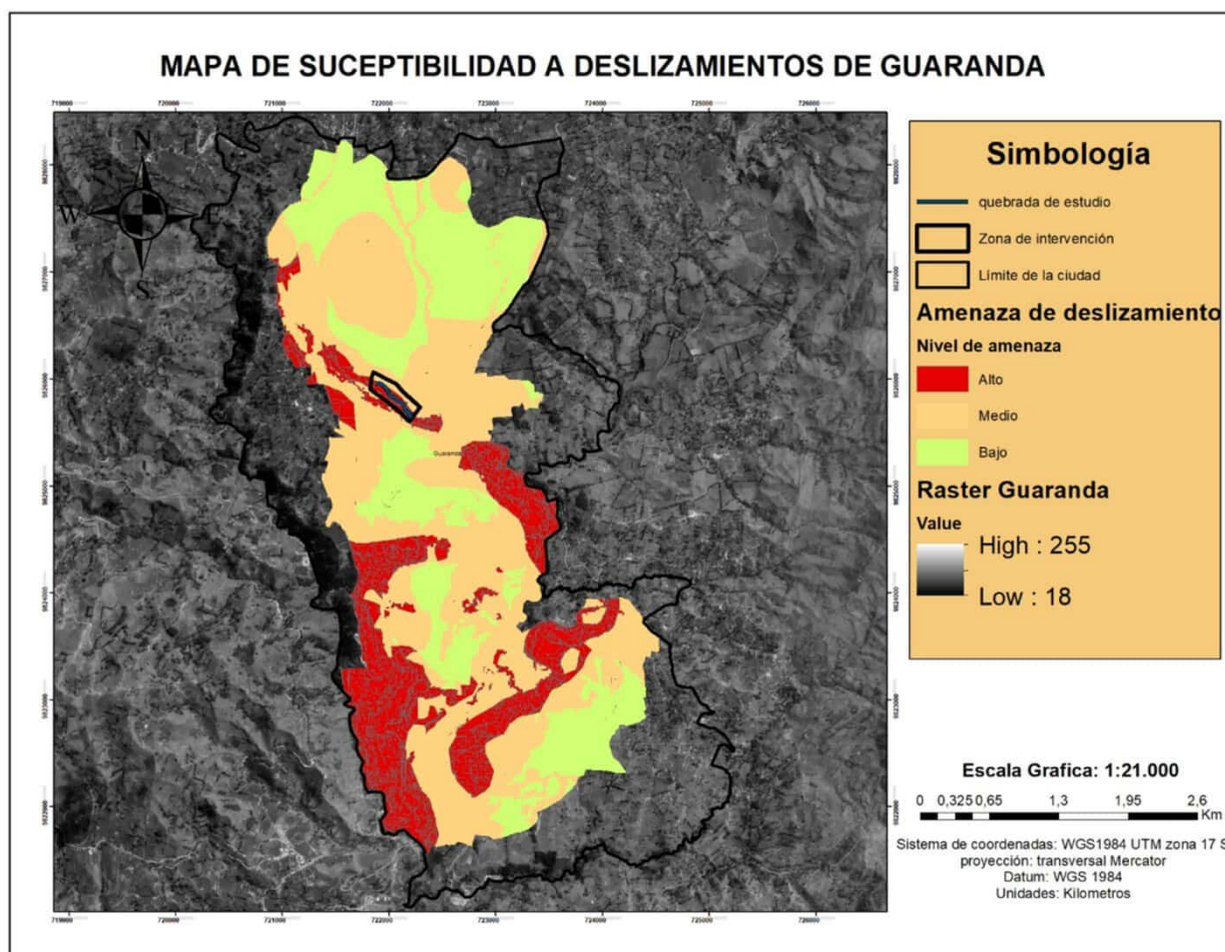
El método fue propuesto por A.W. Bishop en 1955 y se basa en dividir el talud en una serie de fajas o segmentos (también llamados bloques o rebanadas) de tierra, y luego aplicar un análisis de equilibrio estático a cada una de estas rebanadas. El objetivo es determinar el factor de seguridad que se define como la relación entre las fuerzas resistentes (fuerzas de corte que evitan el deslizamiento) y las fuerzas actuantes o desestabilizadoras (fuerzas que tienden a causar el deslizamiento).

Estos resultados se van a presentar con mapas temáticos realizados en el software sistema de información geográfica ArcGis, en los cuales se indican los principales mapas como de ubicación de la zona de estudio, susceptibilidad a deslizamiento y mapas de polígonos de taludes de alta amenaza; tablas realizadas en Excel, que contienen resultados de los mapas mencionados y cálculos de datos obtenidos.

Para el objetivo 2: Identificar los elementos expuestos a afectaciones por deslizamientos.

Para cumplir con este objetivo se realizó una superposición de capas, con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos del cantón Guaranda, elaborado por (Paucar, 2016), quien empleó una metodología que considera factores condicionantes como la geología, geomorfología, pendiente, geotecnia y uso del suelo, así como factores detonantes, entre ellos la sismicidad y la precipitación. Este análisis, basado en una cartografía a escala 1:5000, permitió determinar con mayor precisión los niveles de amenaza por deslizamientos.

Ilustración 9: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Guaranda



Nota: Mapa geológico que representa los factores condicionantes y detonantes, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Se utiliza el método de superposición de capas para determinar los elementos expuestos como las viviendas, e infraestructura esencial como son las vías urbanas, infraestructura de agua y alcantarillado, siendo procesados en el software de sistemas de información geográfica (ArcGIS 10.5), para determinar los elementos expuestos en la zona de la quebrada Negroyacu. La superposición de capas muestra que estas áreas de riesgo coinciden con zonas de alta amenaza, que son propensos a la susceptibilidad, y con áreas de alta precipitación y escorrentía superficial. Esto sugiere que la quebrada Negroyacu, es especialmente vulnerable a deslizamientos y que se requieren medidas de mitigación y prevención para proteger a la población y la infraestructura. Esta técnica permite evaluar la relación espacial entre la distribución de los elementos expuestos (infraestructura vial, viviendas, alcantarillado, y agua potable) y las zonas de susceptibilidad a deslizamientos, lo que facilita la identificación de áreas críticas que requieren medidas de mitigación y prevención.

Para el objetivo 3: Establecer medidas preventivas y correctivas frente a esta amenaza de deslizamiento.

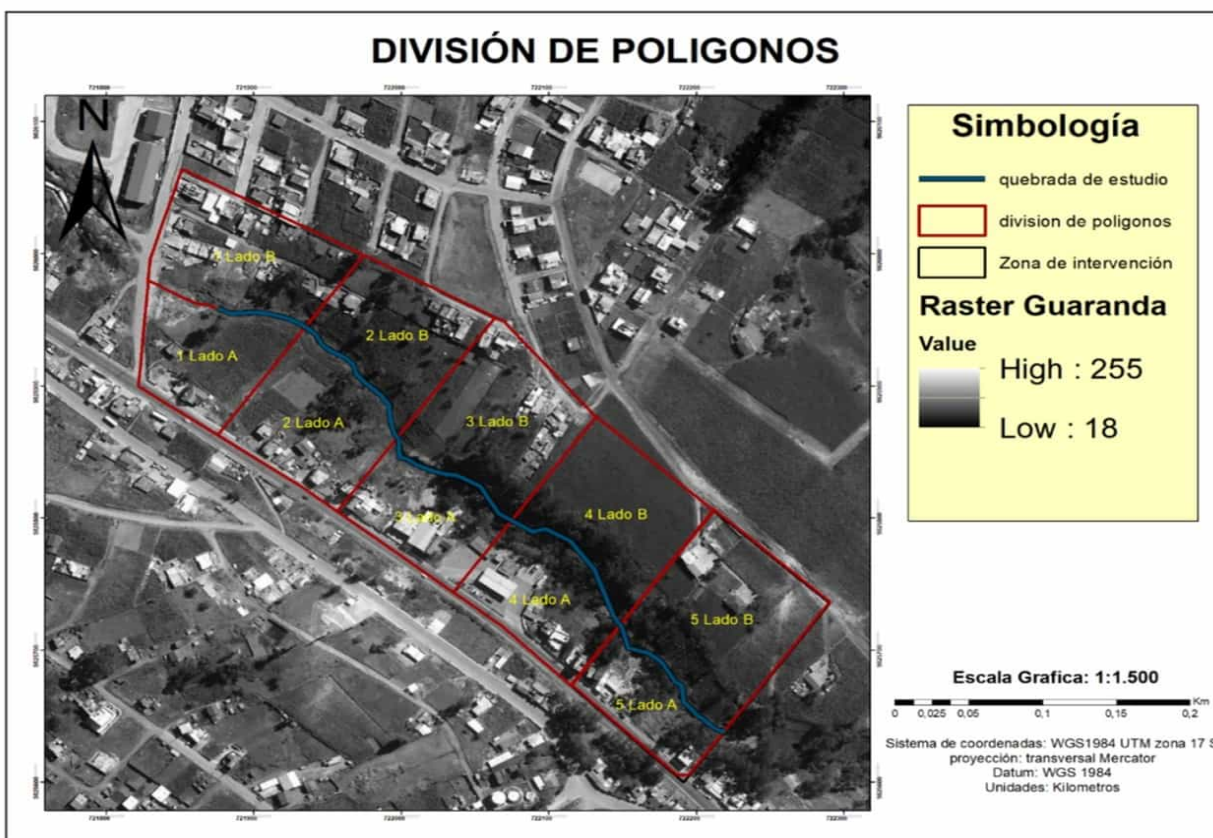
Para cumplir con este objetivo se realizará una matriz de medidas preventivas y correctivas, analizando los resultados del objetivo uno y dos en donde se categorizará la susceptibilidad de taludes, así como también, los elementos expuestos, como son las edificaciones, red de agua y vías urbanas, también se determinará las condiciones de talud y riesgo y responsables por cada elemento.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado objetivo 1: Determinar el nivel de susceptibilidad de los taludes en la quebrada Negroyacu sector Alpachaca hasta el barrio la primavera en la ciudad de Guaranda

Para el análisis de susceptibilidad de taludes, se realizó una segmentación de la quebrada Negroyacu en 5 polígonos por cada lado de los cuales los que se encuentran del lado de la Av. Alfredo Noboa Montenegro se nombró lado A, y los que se encuentran del lado del barrio Alpachaca se nombró lado B, se plasmó un perfil por cada polígono, para tener una mejor análisis e interpretación, y se efectuó un estudio a los dos lados del perfil.

Ilustración 10: Mapa de división de polígonos



Nota: Mapa topográfico que detalla la ubicación de los puntos de muestreo en el área de estudio, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

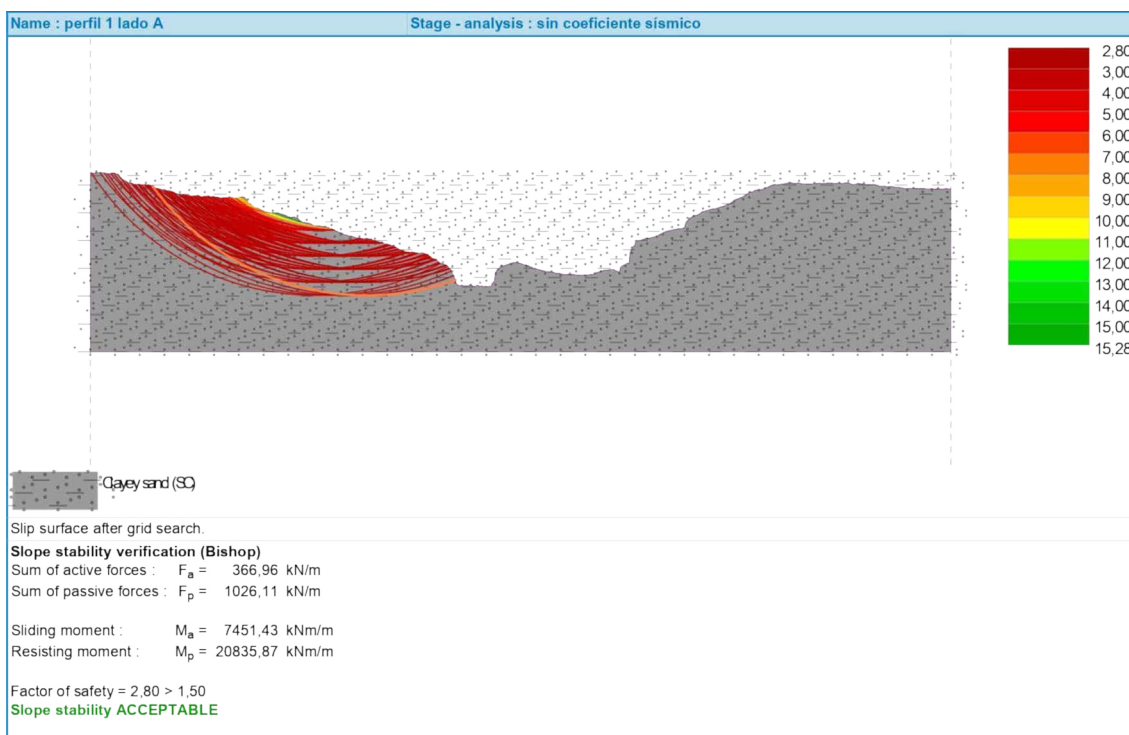
4.1.1. Análisis de perfiles: con coeficiente sismo y sin coeficiente sísmico

Al añadir una interfaz en el software GEO5 para la caracterización del suelo, se toman en cuenta los porcentajes de arenas, finos y gravas obtenidos a partir del análisis granulométrico mediante tamizado en el laboratorio. Con esta información, el propio software clasifica automáticamente el suelo y le asigna propiedades geotécnicas fundamentales, como el ángulo de fricción interno, peso unitario, la cohesión y la saturación.

En el análisis de susceptibilidad del talud, se debe seleccionar el método más adecuado para evaluar la superficie de falla circular. En este caso, se emplea el método de Bishop, que es ampliamente utilizado debido a su precisión en el cálculo del factor de seguridad, especialmente en taludes con condiciones homogéneas y materiales cohesivos. El análisis se realiza en malla o tipo "grillado", lo que permite evaluar la estabilidad de manera detallada. Finalmente, el software GEO5 calcula de manera automática el índice de estabilidad del talud.

Para los perfiles 1 y 2 se trabajó con el tipo de suelo (S-C muestra 3), tipo de suelo con propiedades intermedias entre la arcilla y la arena, con un peso por unidad de volumen del suelo ($18,5 \text{ kN/m}^3$) y un ángulo de fricción interna ($27,00^\circ$).

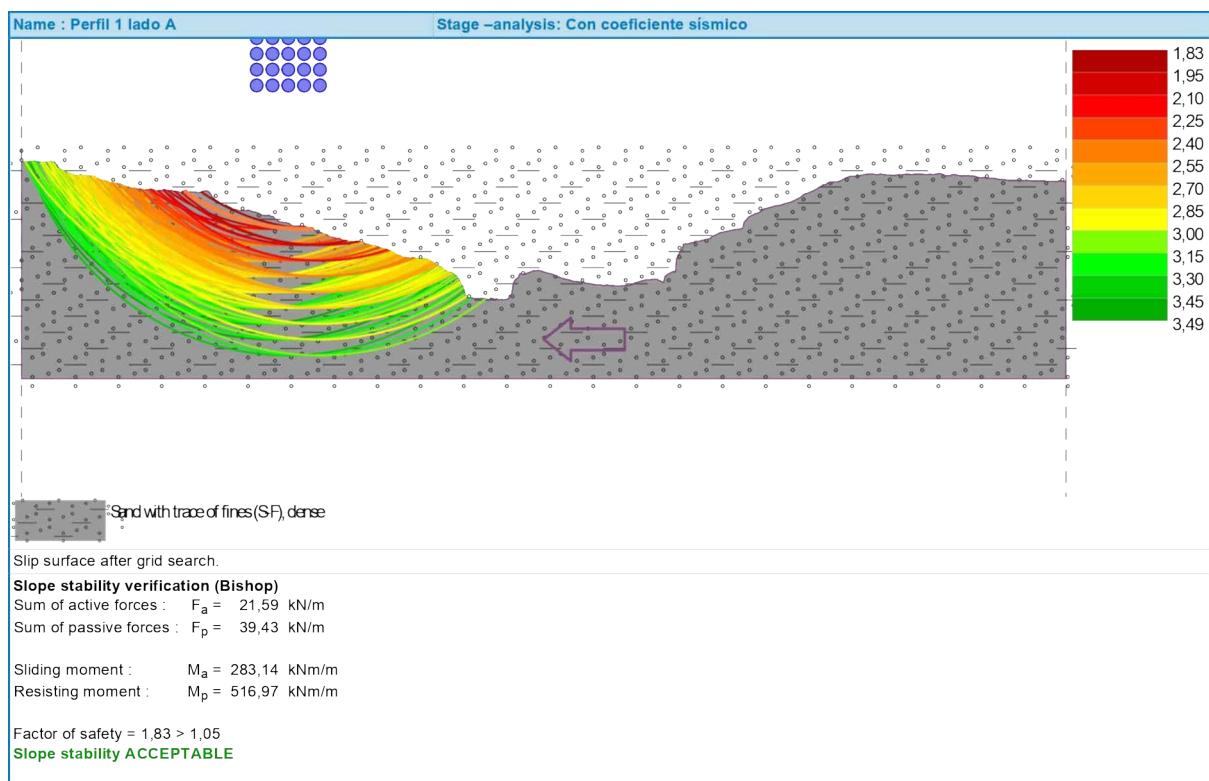
Ilustración 11: Análisis del perfil 1 lado A sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 1 lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 2,80 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 1 del lado A, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en cada punto del talud, los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras, en este caso, predominan los colores verdes y amarillos, lo que indica una buena estabilidad general. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 2,80, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

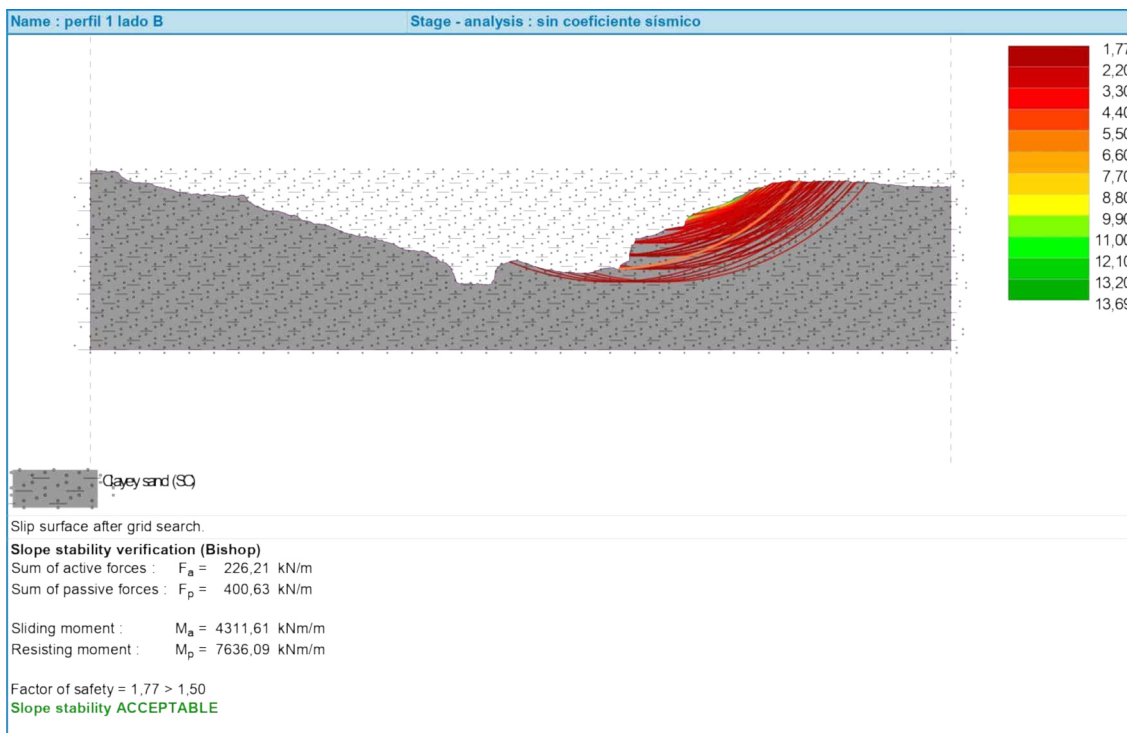
Ilustración 12: Análisis del perfil 1 lado A con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 1 lado A con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,83 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 1 del lado A, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 1,83, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,05**. Esto significa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

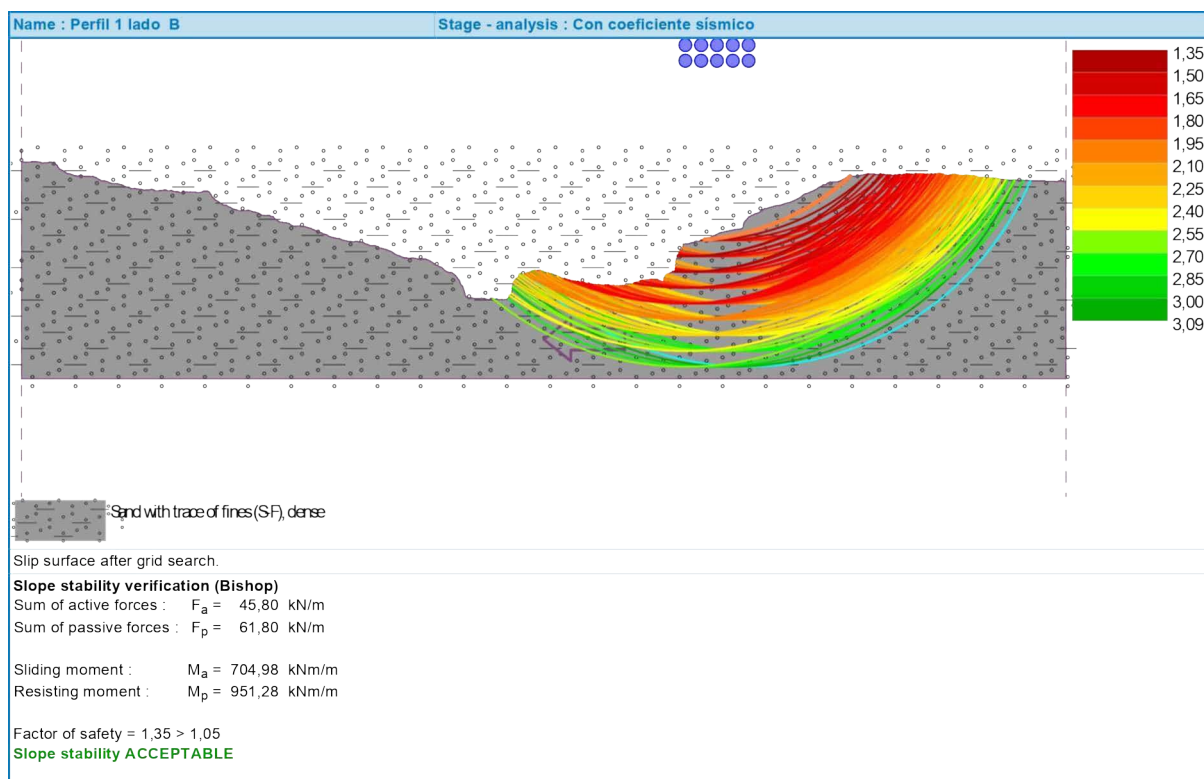
Ilustración 13: Análisis del perfil 1 lado B sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 1 lado B sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,77 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 1 del lado B, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en cada punto del talud, los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras, en este caso, predominan los colores verdes y amarillos, lo que indica una buena estabilidad general. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 1,77, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

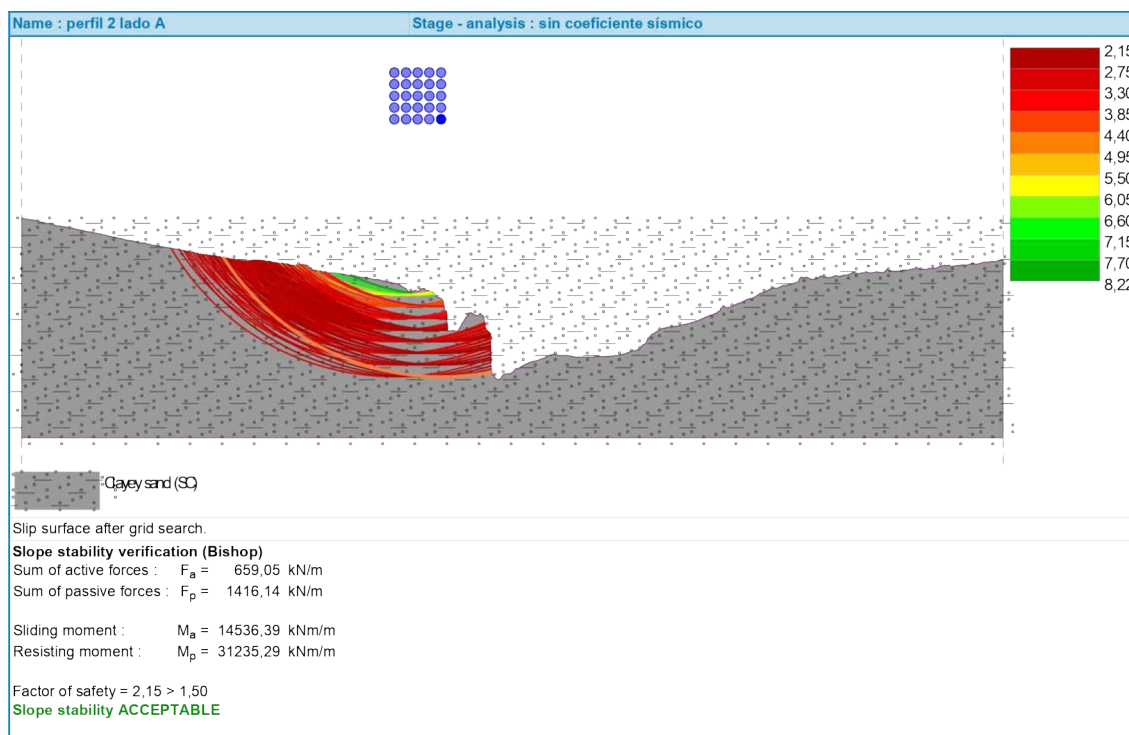
Ilustración 14: Análisis del perfil 1 lado B con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 1 lado B con coeficiente sísmico, factor de seguridad 1,35 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 1 del lado B, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 1,35, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,05**. Esto significa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

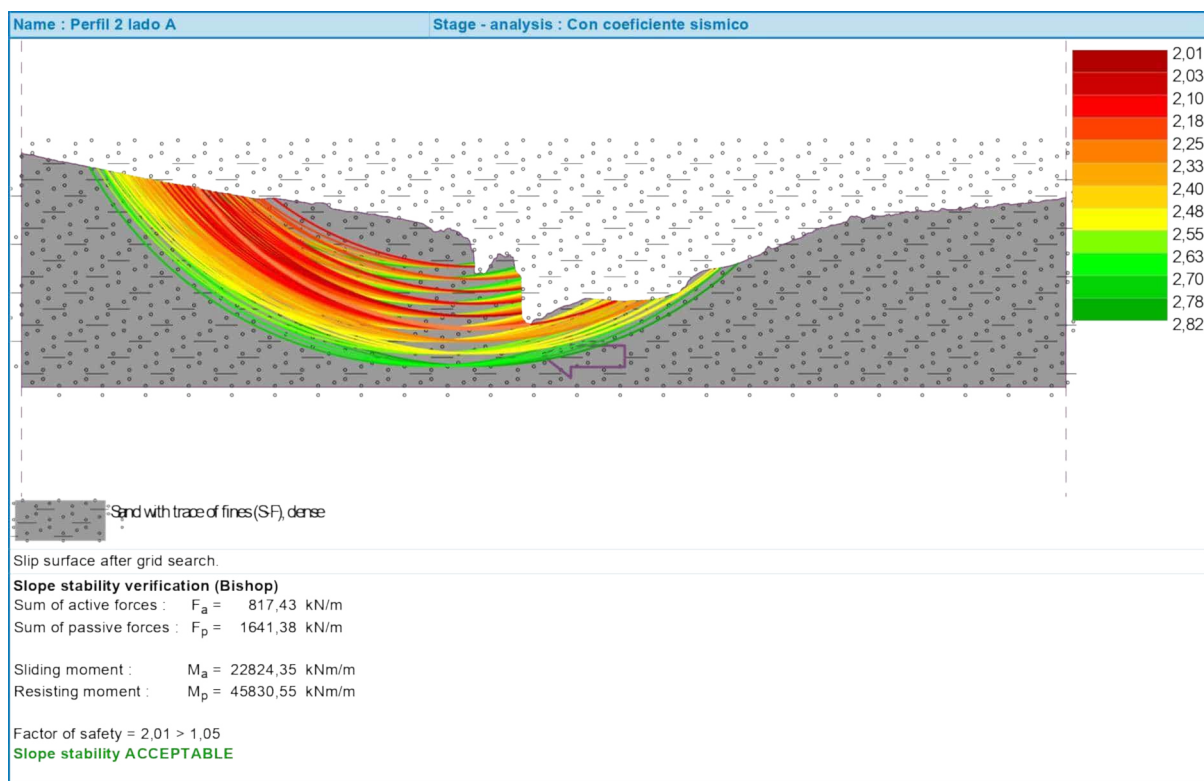
Ilustración 15: Análisis del perfil 2 lado A sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 2 lado A sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 2,15 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 2 del lado A, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en cada punto del talud, los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que los verdes indican zonas más seguras, en este caso, predominan los colores verdes y amarillos, lo que indica una buena estabilidad general. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 2,15, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,50**. Esto representa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

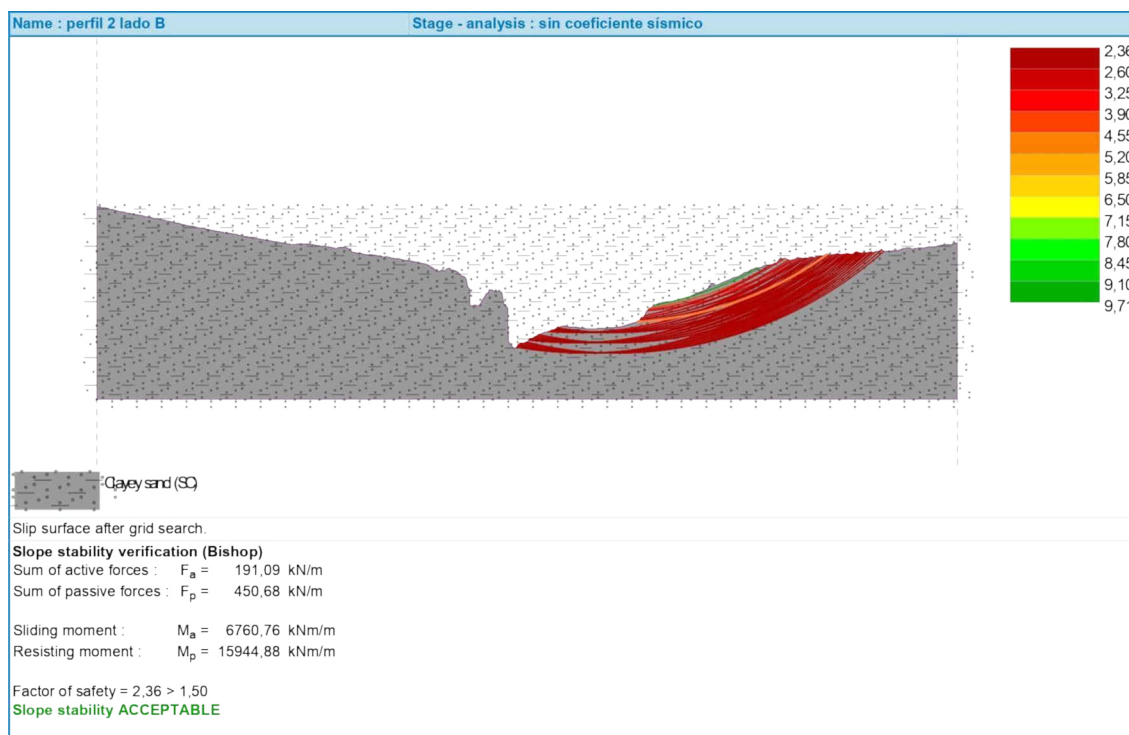
Ilustración 16: Análisis del perfil 2 lado A con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 2 lado A, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 2,01 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 2 del lado A, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 2,01, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,05**. Esto significa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

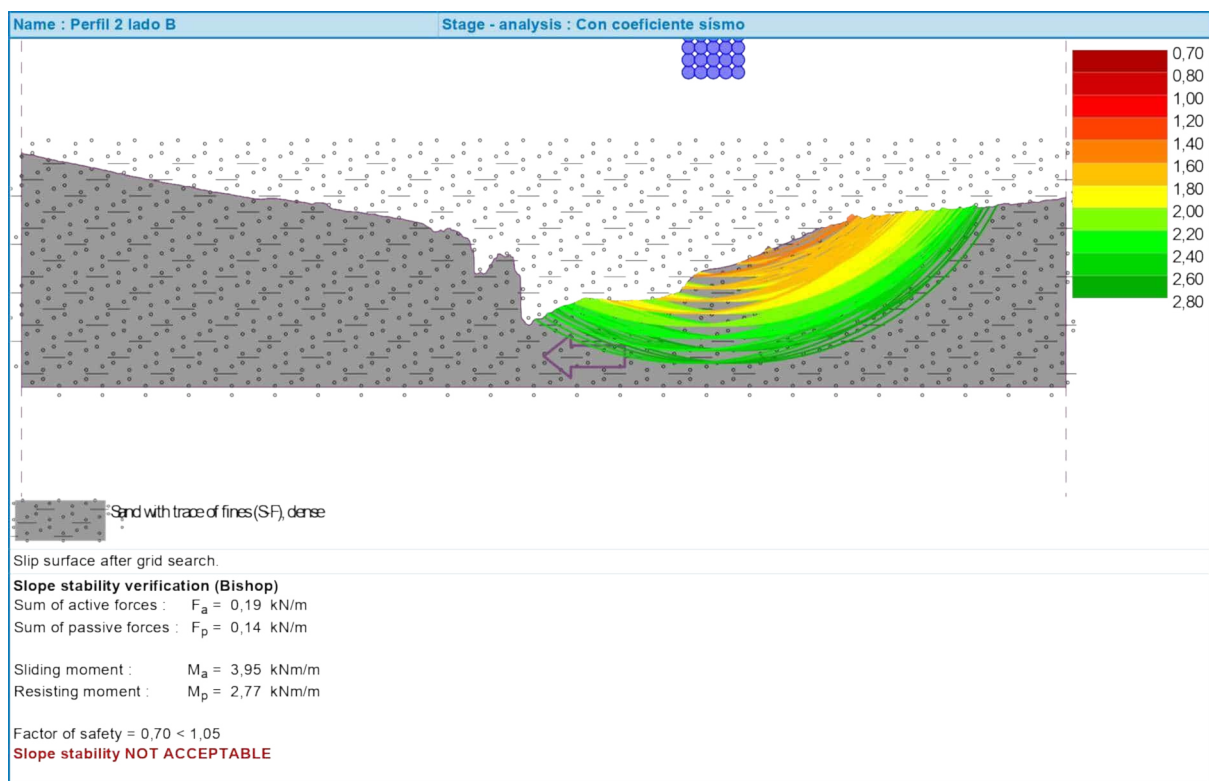
Ilustración 17: Análisis del perfil 2 lado B sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 2 lado B sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 2,36 aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 2 del lado B, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en cada punto del talud, los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras, en este caso, predominan los colores verdes y amarillos, lo que indica una buena estabilidad general. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 2,36, lo cual es **superior al valor aceptable de 1,50**. Esto representa que el talud es **estable** y el riesgo de falla es bajo.

Ilustración 18: Análisis del perfil 2 lado B con coeficiente sísmico

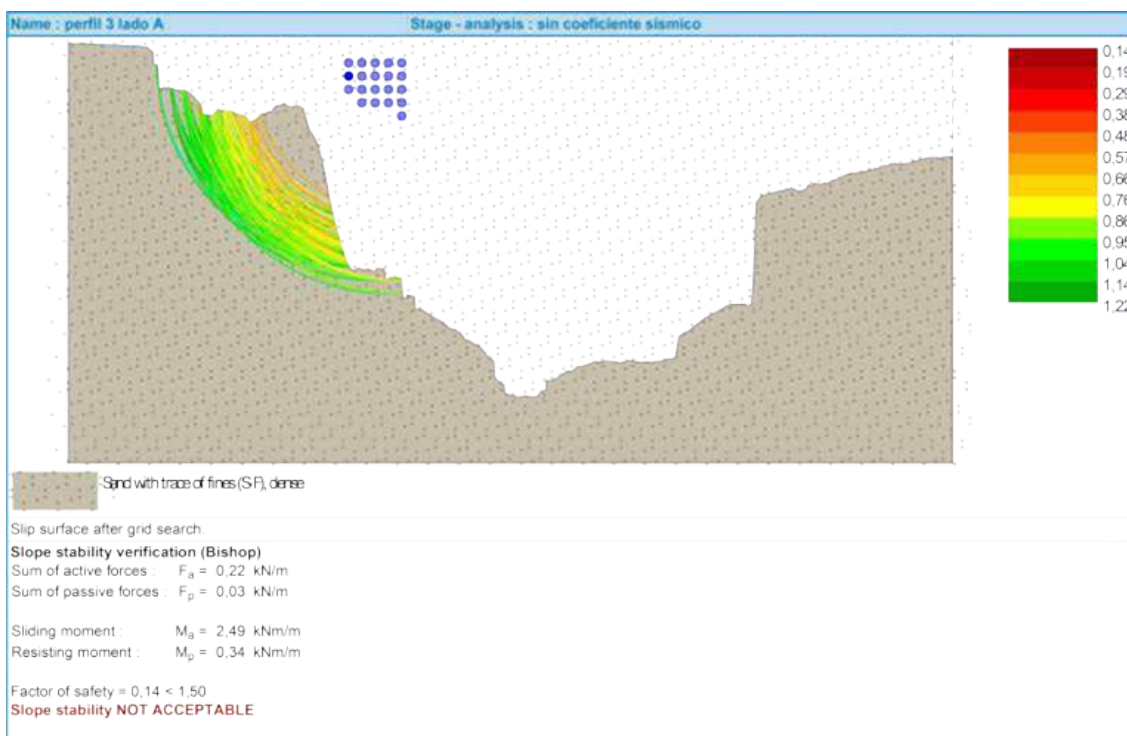


Nota: Corte del perfil 2 lado B, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,70 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 2 del lado B, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,70, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

Las muestras (1 y 2) tienen las mismas propiedades del suelo según el software Geo 5, estas propiedades fueron utilizadas para los perfiles 3,4 y 5 por lo tanto, se trabajó con el tipo de suelo (S-F), esto nos indica que es una arena densa con pequeñas partículas finas, con un peso por unidad de volumen del suelo (17.5 kN/m^3) y un ángulo de fricción interna (31.5°), que nos indica la resistencia del suelo al deslizamiento.

Ilustración 19: Análisis del perfil 3 lado A sin coeficiente sísmico

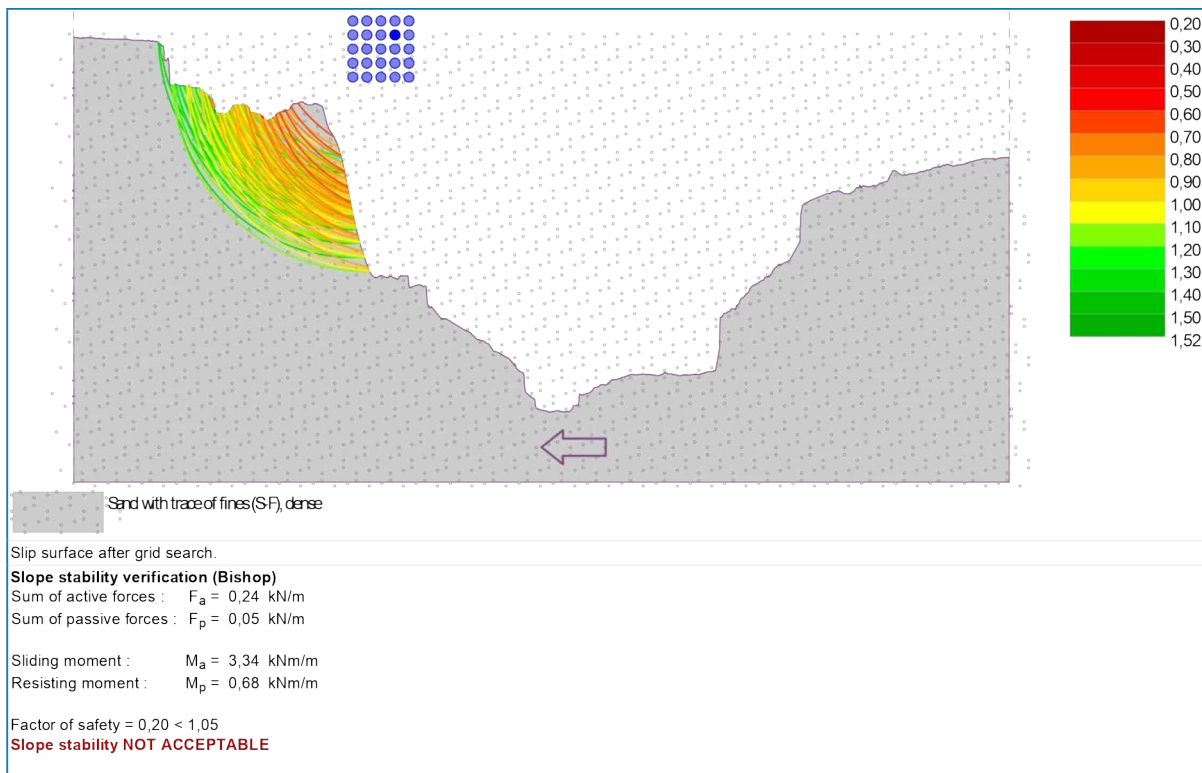


Nota: Corte del perfil 3 lado A, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,14 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 3 del lado A, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,14, valor seleccionado por el

software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

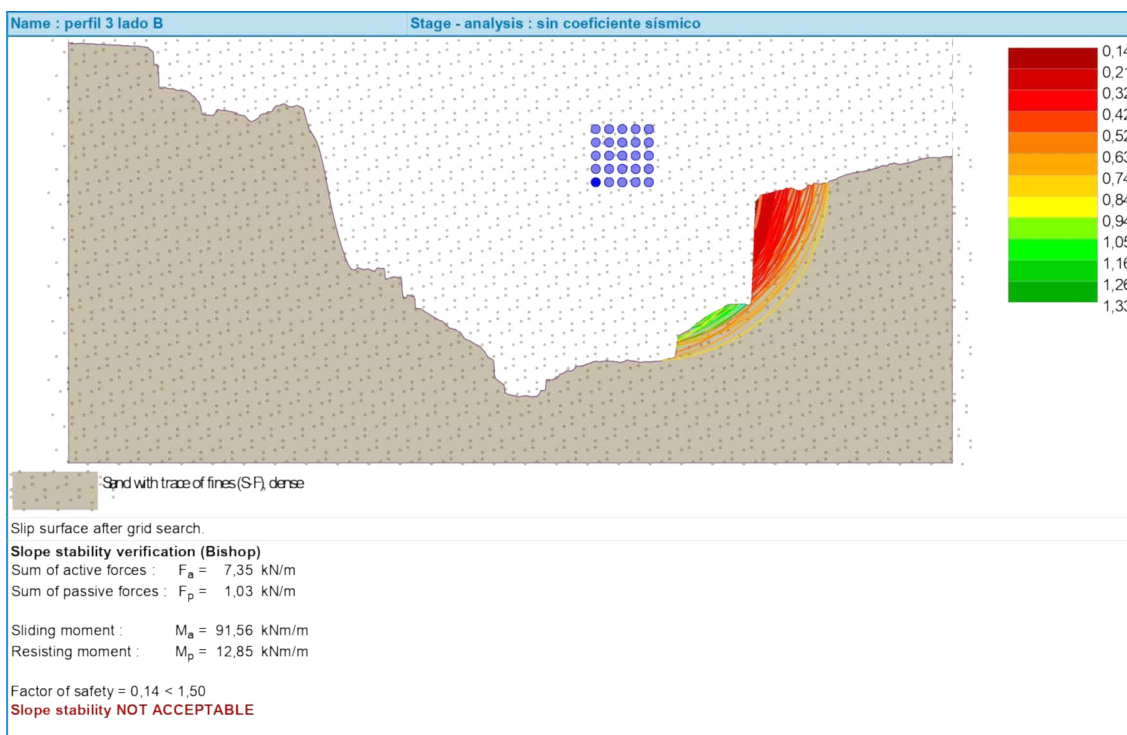
Ilustración 20: Análisis del perfil 3 lado A con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 3 lado A, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,20 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 3 del lado A, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,20, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

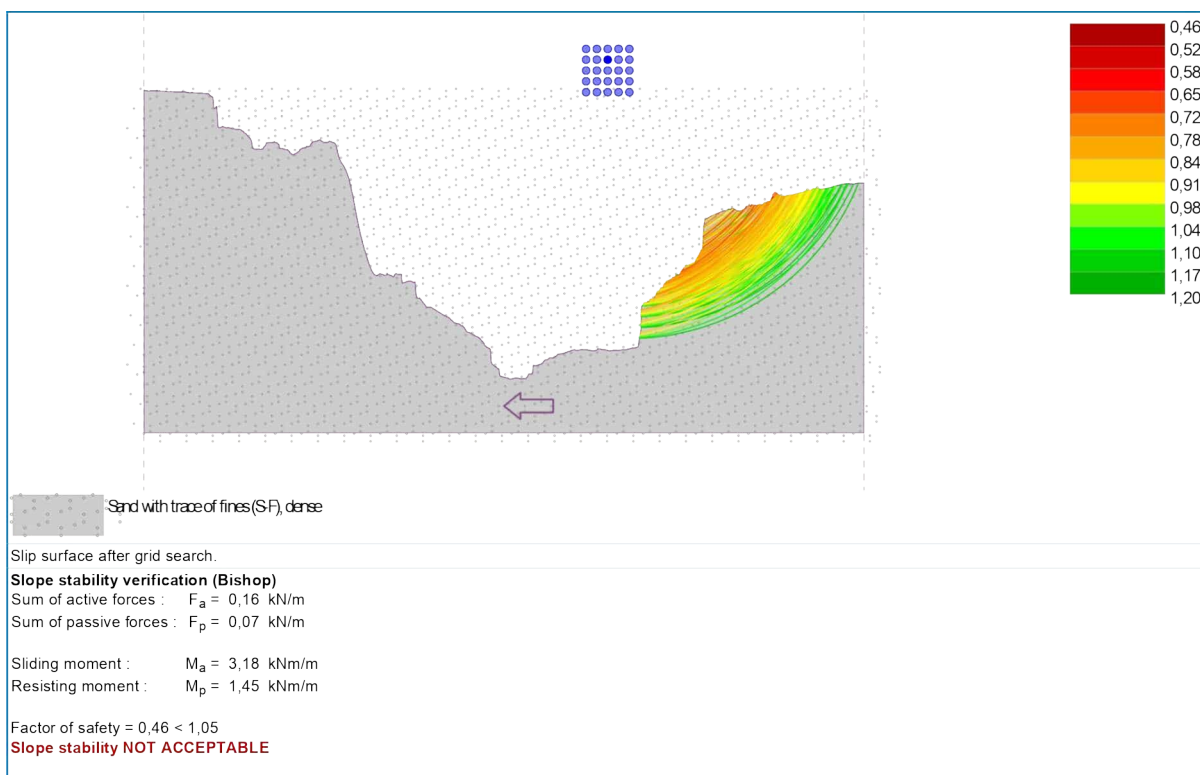
Ilustración 21: Análisis del perfil 3 lado B sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 3 lado B, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,14 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 3 del lado B, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,14, valor seleccionado por el software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

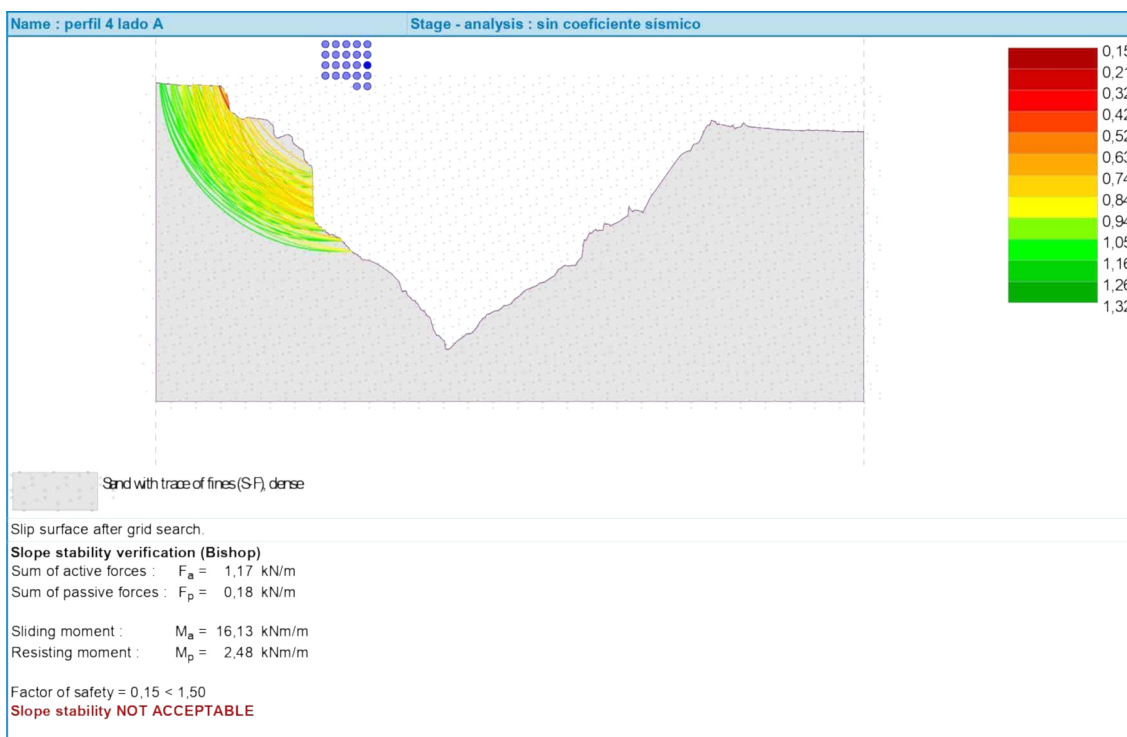
Ilustración 22: Análisis del perfil 3 lado B con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 3 lado B, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,46 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 3 del lado B, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,46, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

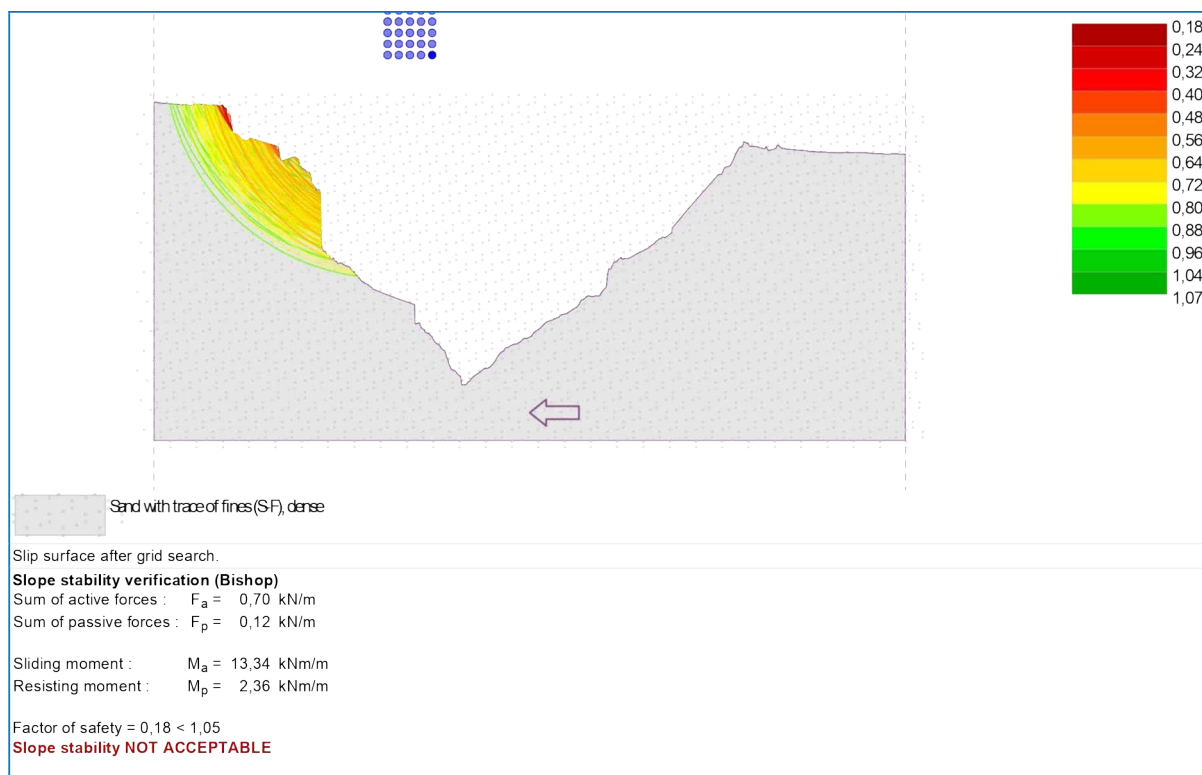
Ilustración 23: Análisis del perfil 4 lado A sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 4 lado A, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,15 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 4 del lado A, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,15, valor seleccionado por el software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

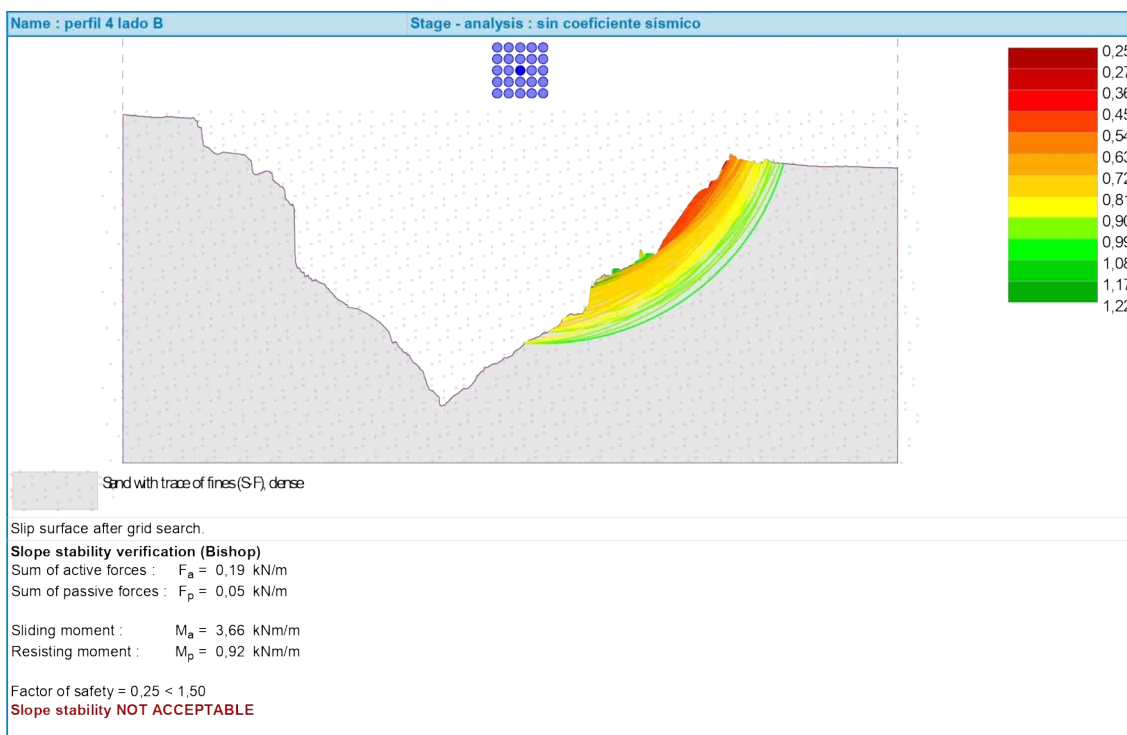
Ilustración 24: Análisis del perfil 4 lado A con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 4 lado A, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,18 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 4 del lado A, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,18, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

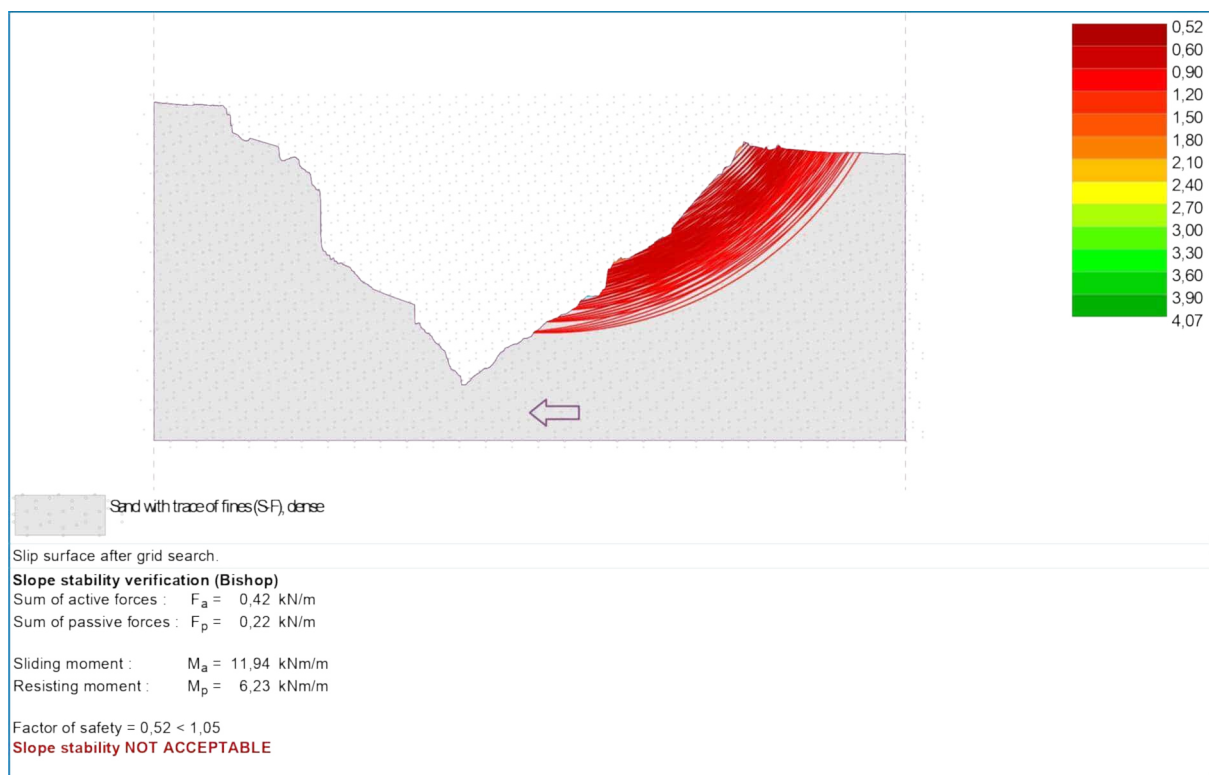
Ilustración 25: Análisis del perfil 4 lado B sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 4 lado B, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,25 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 4 del lado B, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,25, valor seleccionado por el software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

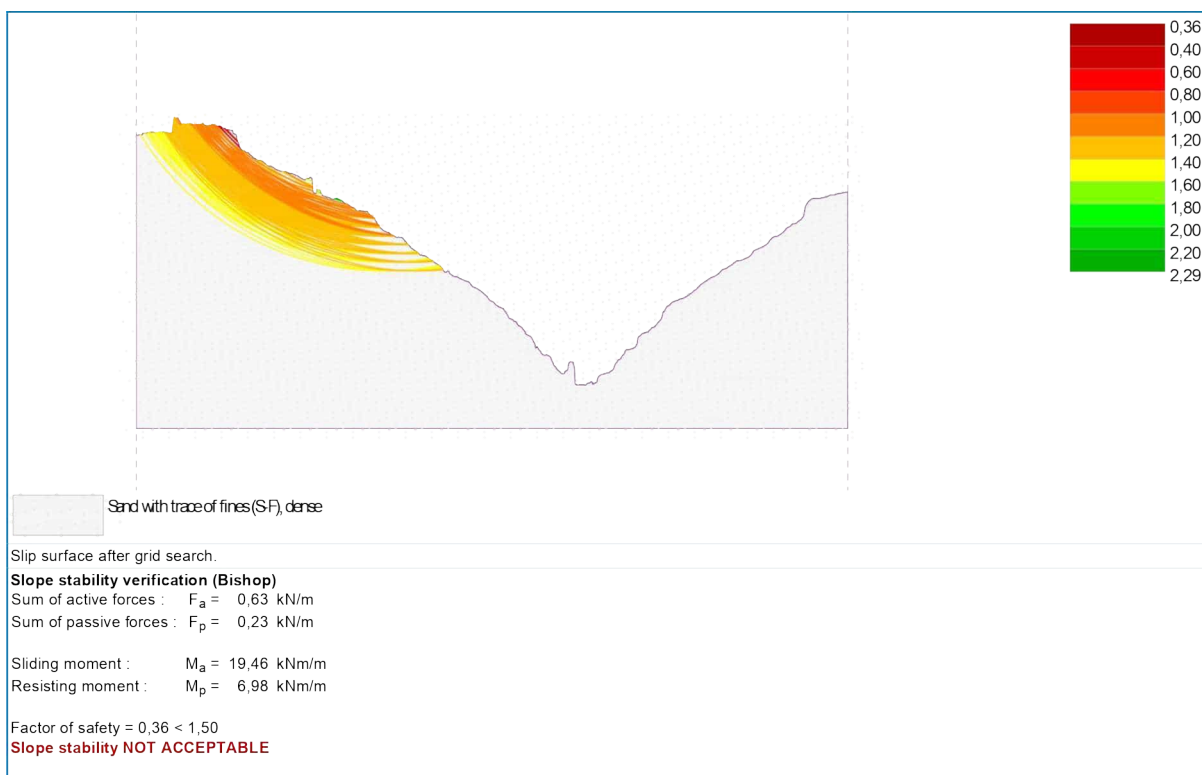
Ilustración 26: Análisis del perfil 4 lado B con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 4 lado B, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,52 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 4 del lado B, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,52, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

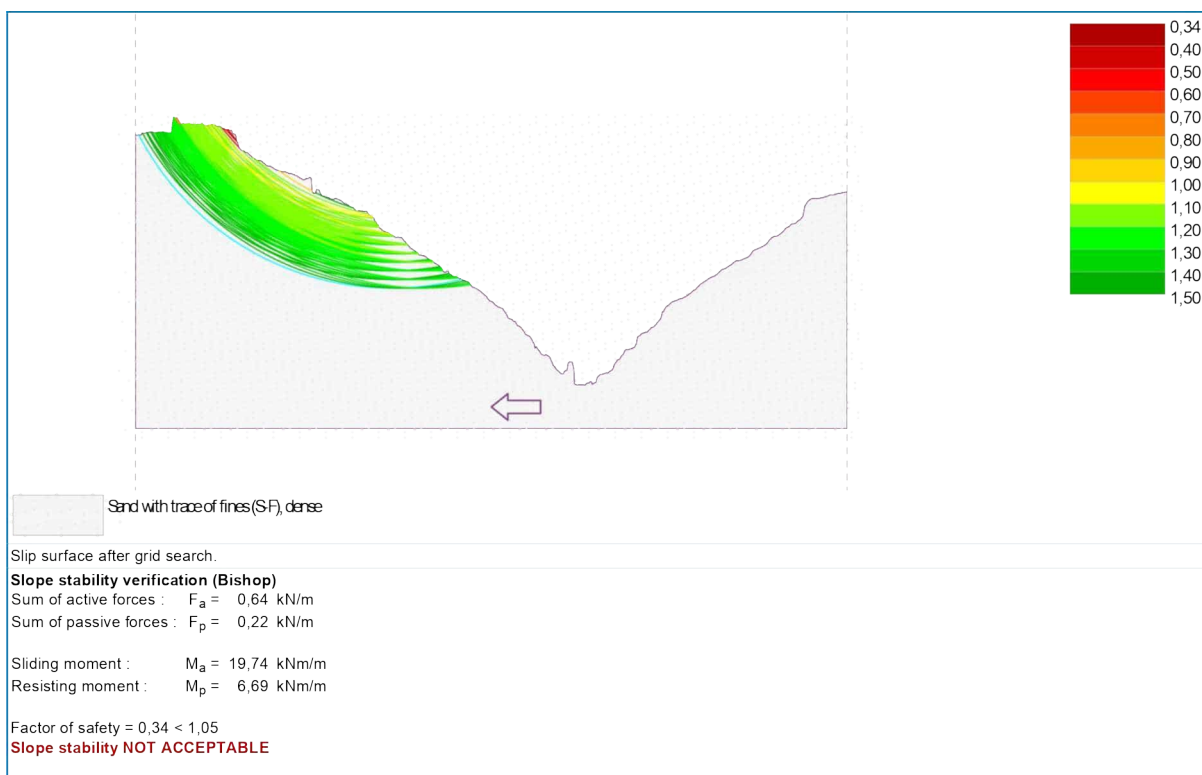
Ilustración 27: Análisis del perfil 5 lado A sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 5 lado A, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,36 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 5 del lado A, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,36, valor seleccionado por el software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

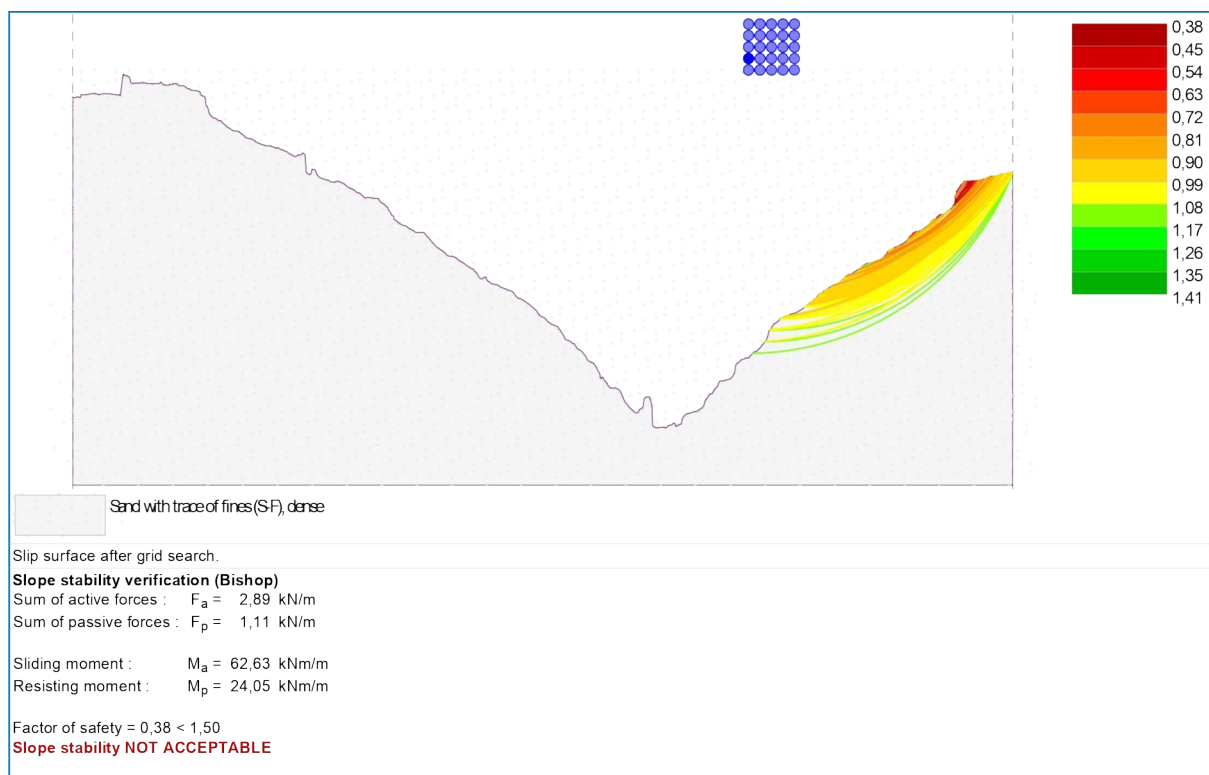
Ilustración 28: Análisis del perfil 5 lado A con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 5 lado A, con coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,34 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 5 del lado A, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,34, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

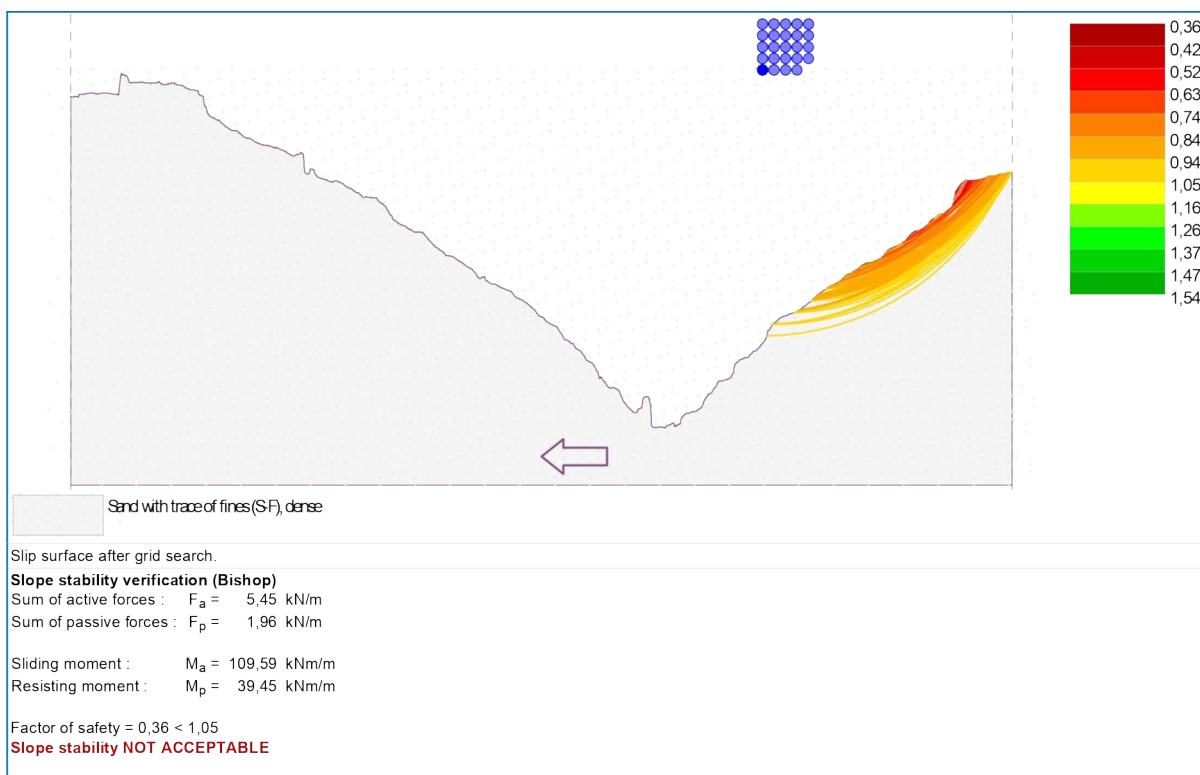
Ilustración 29: Análisis del perfil 5 lado B sin coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 5 lado B, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,38 no aceptable, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Perfil 5 del lado B, sin coeficiente sísmico, se muestra una sección transversal del talud, incluyendo el terreno y la superficie de falla potencial, la escala de colores indica el factor de seguridad en diferentes puntos del talud; los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad global calculado por el método de Bishop es de 0,38, valor seleccionado por el software de la zona más inestable del talud, lo cual es **inferior al valor aceptable de 1,50**. Esto significa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

Ilustración 30: Análisis del perfil 5 lado B con coeficiente sísmico



Nota: Corte del perfil 5 lado B, sin coeficiente sísmico, factor de seguridad 0,36 no aceptable, Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Perfil 5 del lado B, se ha realizado en base al coeficiente sísmico horizontal que es de 0,024 gals valor que se obtiene representando la fórmula, resultado que muestra una sección transversal del talud, donde se puede apreciar la superficie del terreno y la superficie de falla potencial (línea roja curva), representa el factor de seguridad en cada punto del talud y los colores rojos indican zonas con menor factor de seguridad (más inestables), mientras que, los verdes indican zonas más seguras. El factor de seguridad calculado por el método de Bishop es de 0,36, lo cual es inferior al valor aceptable de 1,05. Esto representa que el talud es **inestable** y existe un alto riesgo de falla.

4.1.2. Resumen de análisis: perfiles, tablas, mapa con sismo y sin sismo

Esta tabla presenta un análisis de la estabilidad de los diferentes taludes, tanto considerando la acción sísmica (es decir, bajo condiciones de potencial sismo) como sin considerarla. El objetivo principal es indicar, si estos taludes son aceptables o no aceptables, en donde, tres perfiles considerando la acción sísmica son aceptables los cuales están pintados de color verde siendo estos: perfil 1 lado A y B, y perfil 2 lado A, y sin considerar la acción sísmica cuatro perfiles son aceptables, siendo estos: perfil 1 lado A y B, perfil 2 lado A y B, el resto de perfiles que se encuentran de color rojo son perfiles no aceptables.

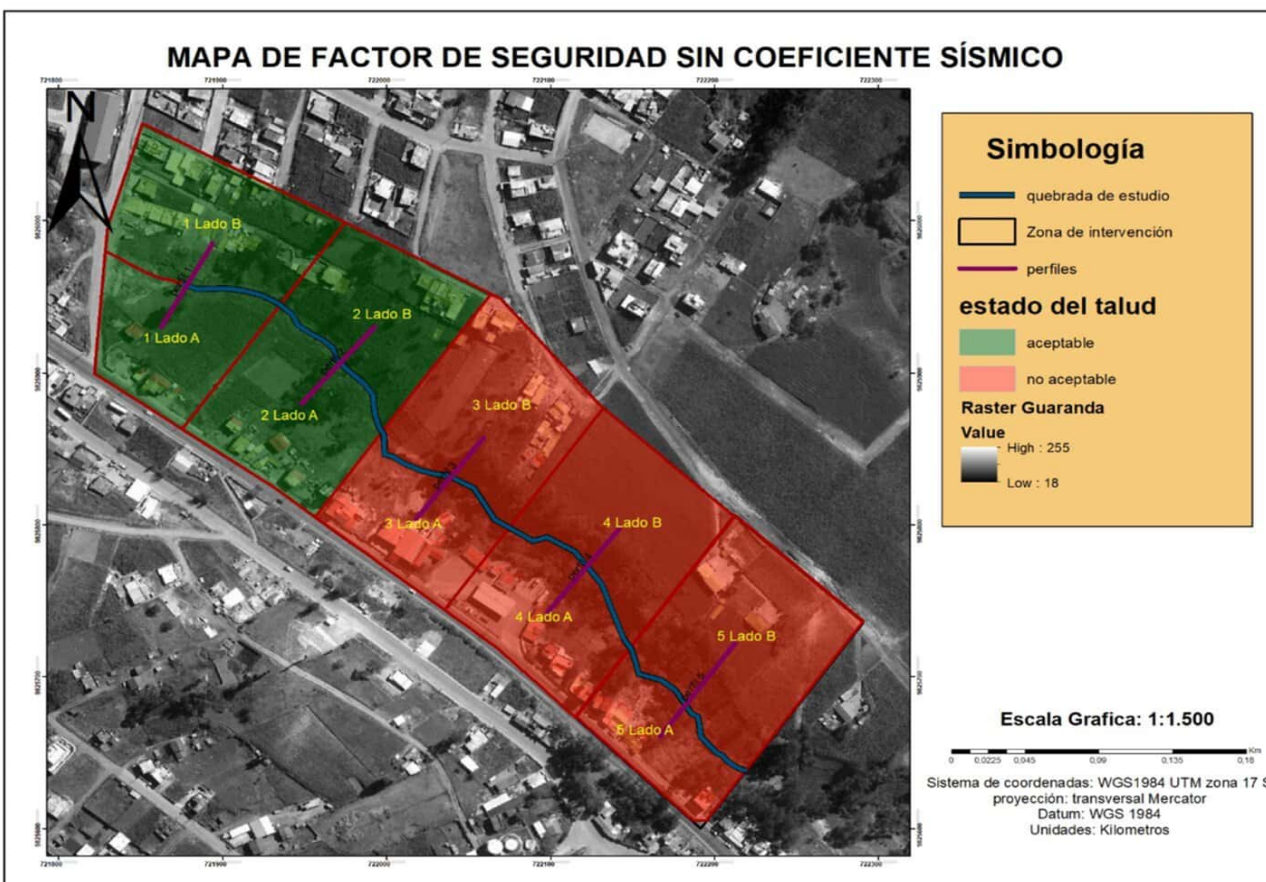
Tabla 4: Resultados de los perfiles con acción sísmica y perfiles sin acción sísmica

PERFILES CON ACCIÓN SÍSMICA				PERFILES SIN ACCIÓN SÍSMICA		
Perfiles	Factor de seguridad (con Coef. Sísmico)	Indicador	Estado del talud	Factor de seguridad (sin Coef. Sísmico)	Indicador	Estado del talud
perfil 1 lado A	1,83	> 1,05	talud aceptable	2,8	> 1,5	talud aceptable
perfil 1 lado B	1,35	> 1,05	talud aceptable	1,77	> 1,5	talud aceptable
perfil 2 lado A	2,01	> 1,05	talud aceptable	2,15	> 1,5	talud aceptable
perfil 2 lado B	0,7	< 1,05	talud no aceptable	2,36	> 1,5	talud aceptable
perfil 3 lado A	0,2	< 1,05	talud no aceptable	0,14	< 1,5	talud no aceptable
perfil 3 lado B	0,46	< 1,05	talud no aceptable	0,14	< 1,5	talud no aceptable
perfil 4 lado A	0,18	< 1,05	talud no aceptable	0,15	< 1,5	talud no aceptable
perfil 4 lado B	0,52	< 1,05	talud no aceptable	0,25	< 1,5	talud no aceptable
perfil 5 lado A	0,34	< 1,05	talud no aceptable	0,36	< 1,5	talud no aceptable
perfil 5 lado B	0,36	< 1,05	talud no aceptable	0,38	< 1,5	talud no aceptable

Nota: Tabla resumen de estabilidad de taludes con coeficiente sísmico y sin coeficiente sísmico, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

En el mapa de factor de seguridad sin considerar el coeficiente sísmico, se observa que, de los cinco polígonos analizados, dos presentan condiciones de estabilidad, mientras que los tres restantes muestran niveles de seguridad inferiores, indicando una mayor susceptibilidad al deslizamiento. Este análisis inicial, realizado sin incluir el impacto de eventos sísmicos, permite identificar las áreas que, bajo condiciones estáticas, mantienen un equilibrio estable. Sin embargo, es importante recalcar que estas derivaciones podrían variar significativamente al incorporar el coeficiente sísmico, dado que los movimientos telúricos suelen ser un factor detonante que reduce drásticamente la estabilidad del terreno.

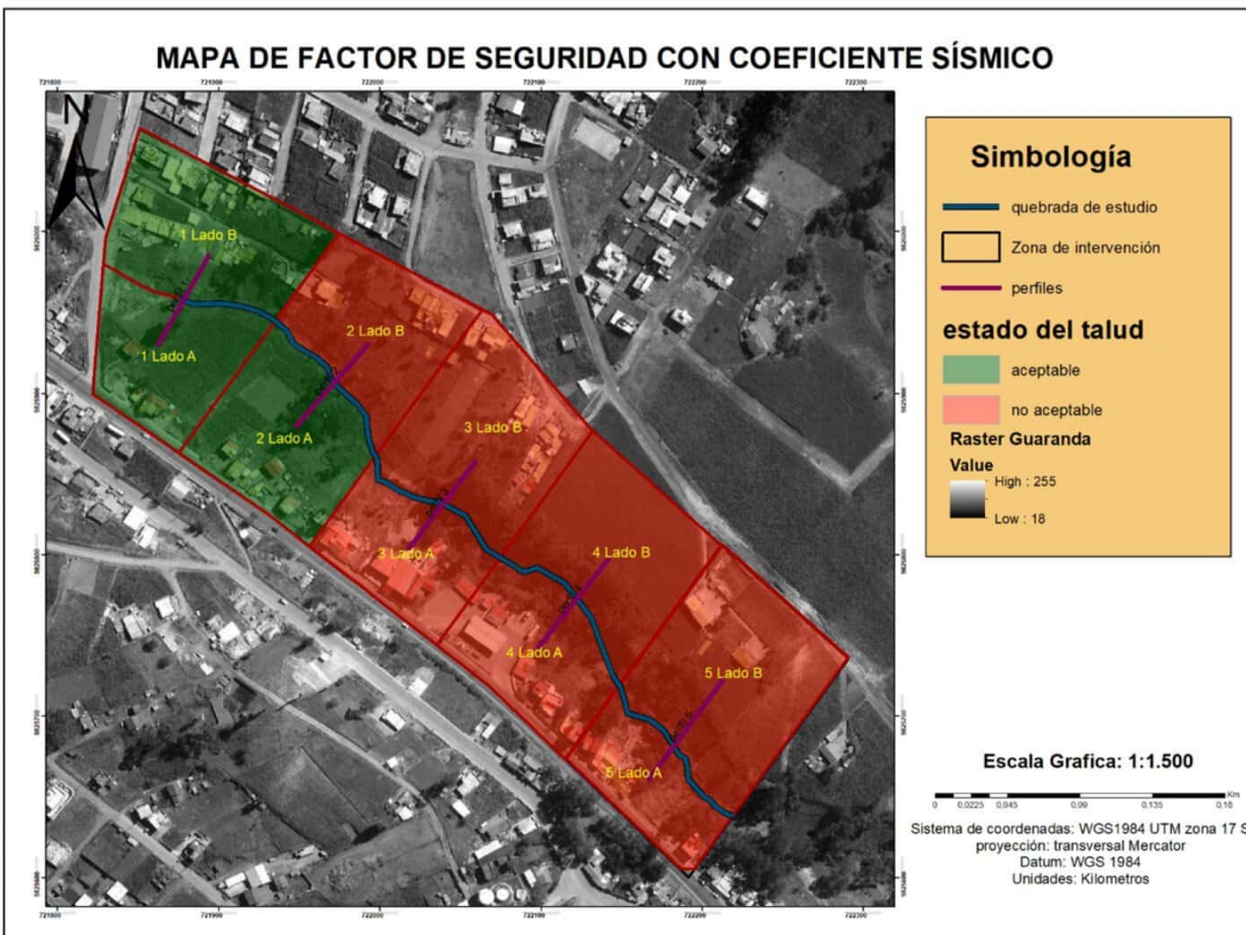
Ilustración 31: Mapa de factor de seguridad sin coeficiente sísmico



Nota: Resultado del mapa de factor de seguridad sin coeficiente sísmico, en el polígono uno y dos los taludes son estables y en los polígonos tres, cuatro y cinco los taludes son inestables, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

El mapa de factor de seguridad con la inclusión del coeficiente sísmico muestra que los taludes en los polígonos 1 y el lado A del polígono 2 se mantienen estables bajo condiciones sísmicas. Sin embargo, en el lado B del polígono 2 y en el resto de los polígonos analizados, los taludes presentan condiciones de inestabilidad, evidenciando su susceptibilidad a deslizamientos. Este resultado destaca cómo los efectos de los movimientos sísmicos pueden variar dentro de una misma área, dependiendo de elementos locales como la pendiente, la constitución del terreno y la orientación del talud.

Ilustración 32: Mapa de factor de seguridad con coeficiente sísmico

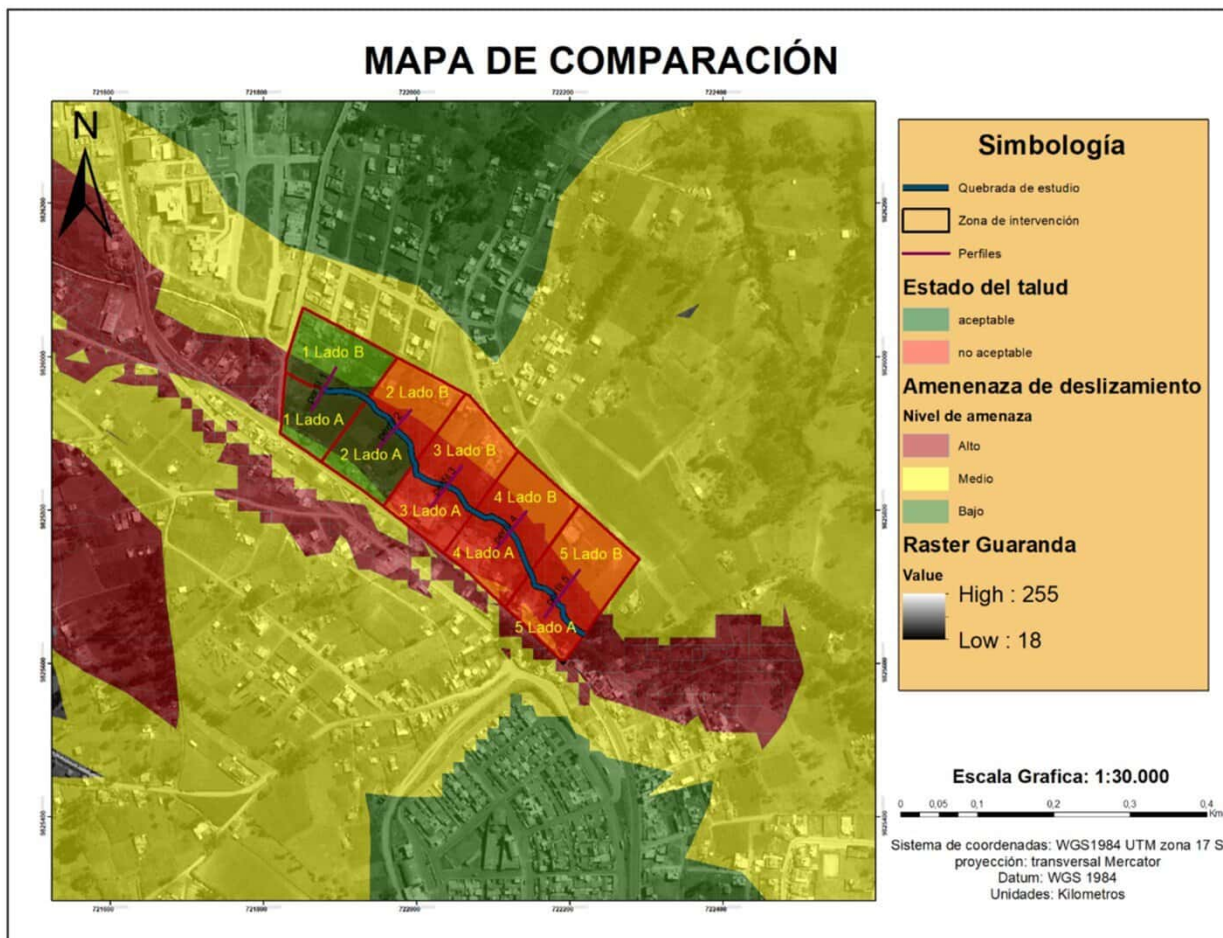


Nota: Resultado del mapa de factor de seguridad con coeficiente sísmico, en los polígonos 1 y el lado A del polígono 2 los taludes son estables, mientras que en el lado B del polígono 2 y el resto de polígonos los taludes son inestables, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

4.1.3. Análisis comparativo de resultados de los perfiles con acción sísmica y mapa de amenaza de deslizamiento del área urbana

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos realizado por (Paucar, 2016) señala que la quebrada Negroyacu, en el tramo que va desde Alpachaca hasta el barrio la primavera, presenta un alto nivel de amenaza a deslizamiento, resultado que se obtuvo en el estudio realizado con el software geo 5, el cual evaluó el factor de seguridad de los taludes, considerando el coeficiente sísmico. El estudio fue diseñado para simular el peor escenario posible en caso de un sismo, Los resultados obtenidos indican que el estado de los taludes en esta zona es inaceptable, a excepción de tres perfiles considerando que superan el valor del factor de seguridad de 1,05 los cuales están pintados de color verde en el mapa, siendo estos: perfil 1 lado A con un valor de 1,83 y B con 1,35, y perfil 2 lado A con un valor de 2,01.

Ilustración 33: Mapa de comparación entre el factor de seguridad con coeficiente sísmico y la amenaza de deslizamientos.



Nota: Resultado del mapa de factor de seguridad con coeficiente sísmico, en todas las zonas los taludes son inestables, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

4.2. Resultado objetivo 2: Identificar los elementos expuestos a afectaciones por deslizamientos.

Para el presente estudio se priorizo inicialmente como elementos expuestos, a las edificaciones, ya que como viviendas residenciales, comerciales y de servicios concentran a las personas; de igual forma, la infraestructura esencial, en la que se incluye la vía estatal de importancia para la movilidad y la red de distribución de agua como servicio básico esencial; Sin embargo, para posteriores estudios se debería completar con la evaluación de la vulnerabilidad de las personas, la economía, la agricultura y el impacto ambiental.

Para identificar los elementos expuestos a afectaciones por deslizamientos en la quebrada Negroyacu, se utilizó el mapa de susceptibilidad elaborado por (Paucar, 2016), utilizando el software ArcGis se aplicó el método de superposición de capas para combinar los shapefile de (edificaciones, red de distribución de agua, y vías urbanas) obtenidos del Plan de Uso y Gestión del suelo del municipio del cantón Guaranda creados en el año 2021, y se encuentran localizados en la unidad morfológica de la quebrada Negroyacu. A continuación, se presentan los resultados:

4.2.1. Exposición de edificaciones

El mapeo realizado permitió identificar un total de 94 edificaciones a lo largo de la quebrada Negroyacu. De acuerdo con el nivel de amenaza, como se observa en la tabla 7 y la ilustración 34, la mayoría de las viviendas están ubicadas en zonas de amenaza media, con un total de 62 edificaciones, lo que representa el 66% del total. Estas viviendas tienen diferentes usos, distribuyéndose en 10 para comercio, 47 para residencia, 2 para servicios, 2 sin uso definido y 1 para otro tipo de actividad.

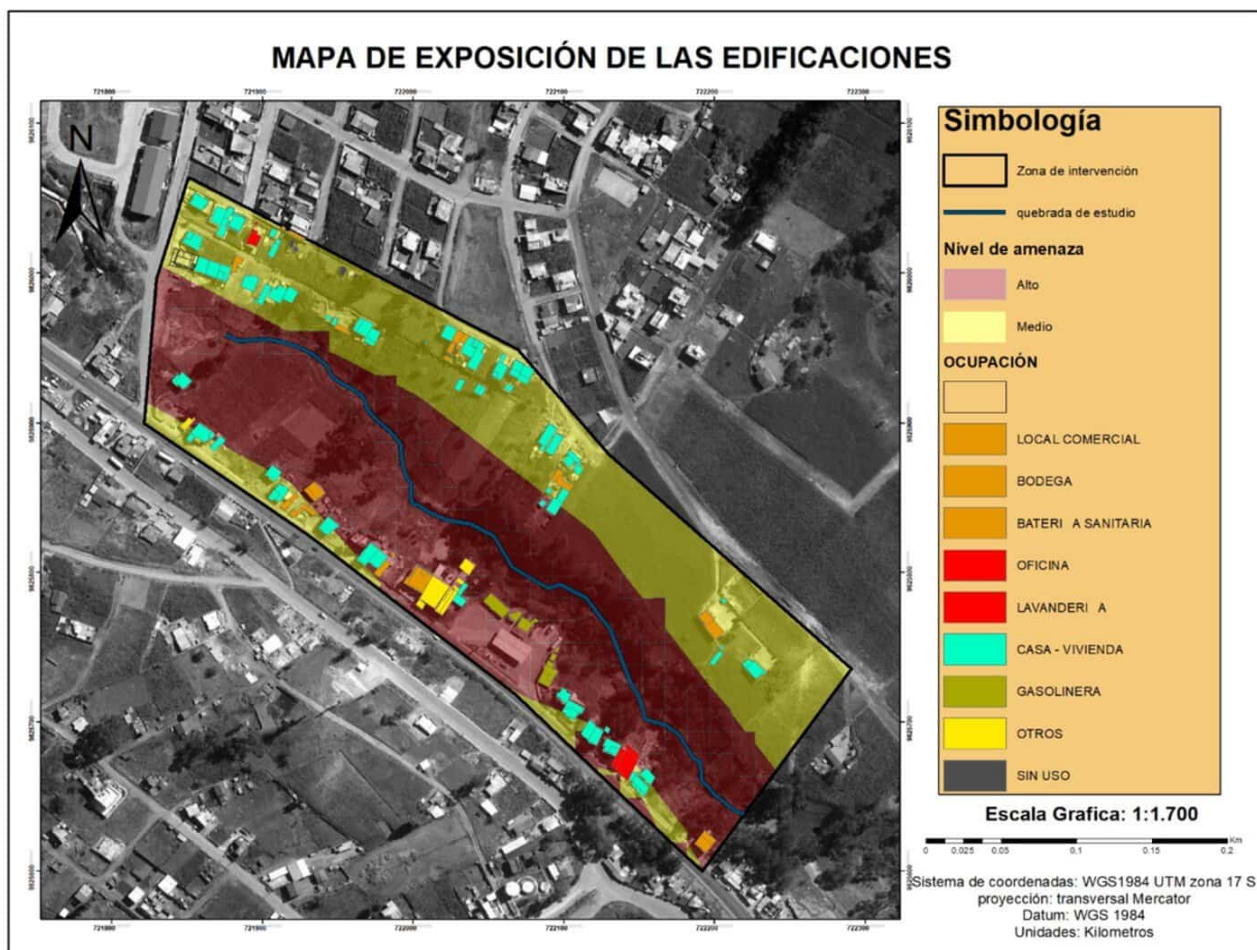
Por otro lado, se identificaron 32 viviendas en zonas con nivel de amenaza alto, lo que equivale al 34% del total de edificaciones. Estas viviendas serían las más afectadas en caso de un deslizamiento. La distribución de estas edificaciones es la siguiente: 7 para comercio, 21 para uso residencial, 1 para uso industrial, 1 para servicios y 2 para otros usos.

Tabla 5: Tipo de uso de edificaciones ubicadas en los niveles de amenaza alto y medio en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos

Tipo de uso de edificación	NIVEL DE AMENAZA				Total	
	Alto		Medio			
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Comercio	7	22%	10	16%	17	18%
Edificaciones residenciales	21	66%	47	76%	68	72%
Industria	1	3%	0	0%	1	1%
Otros	2	6%	1	2%	3	3%
Servicios	1	3%	2	3%	3	3%
Sin uso	0	0%	2	3%	2	2%
Total	32	34%	62	66%	94	100%

Nota: Resultado del nivel de amenaza en los tipos de edificaciones, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Ilustración 34: Mapa de exposición de las edificaciones



Nota: El mapa representa la exposición de amenaza a las edificaciones en la zona de estudio, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

4.2.2. Análisis de la Exposición infraestructura básica (agua potable y vías).

En primer lugar, se determinó que la red de distribución de agua potable en el área de intervención de la quebrada Negroyacu abarca una longitud total de 2,621 km. De esta extensión, y 1,737 km están ubicados en zonas con un nivel de amenaza alto, mientras que 0,885 km se encuentran en áreas clasificadas con un nivel de amenaza medio, según el mapa de susceptibilidad a deslizamientos. Esta información es crucial para evaluar los riesgos y tomar decisiones informadas sobre las medidas de mitigación necesarias para proteger la infraestructura y garantizar la seguridad de los habitantes de la zona.

Con respecto a la explosión de vías, se identificó que en el polígono de intervención existen 0,981 km de vías urbanas. De esta longitud, 0,165 km se encuentran en zonas clasificadas con un nivel de amenaza alto, mientras que 0,817 km están ubicados en áreas con un nivel de amenaza medio, de acuerdo con los mapas de susceptibilidad a deslizamientos.

En cuanto a los colectores de alcantarillado, se constató que en la zona no existe una red formal de alcantarillado. En su lugar, se encuentran conexiones de tuberías que descargan directamente en la quebrada, la cual está a cielo abierto y carece de cualquier sistema de tratamiento para las aguas residuales. Esta situación no solo genera una grave contaminación ambiental, sino que también representa un riesgo para la salud pública, afectando negativamente a los residentes y a las personas que transitan o se encuentran cerca de la quebrada. La falta de infraestructura adecuada para el manejo de aguas servidas agrava el problema, contribuyendo al deterioro del entorno y creando condiciones insalubres para la comunidad. Es fundamental abordar esta deficiencia mediante la implementación de soluciones que garanticen un sistema de saneamiento adecuado y sostenible para la zona.

Tabla 6: Infraestructura esencial de red de distribución de agua potable y vías

Infraestructura esencial	NIVEL DE AMENAZA		Total
	alto	medio	
Red de distribución de agua potable	1,737	0,885	2,621
Vías	0,165	0,817	0,981

Nota: La tabla representa el nivel de amenaza de la red de distribución de agua potable y vías, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Ilustración 35: Mapa de exposición de servicio e infraestructura esencial



Nota: El mapa representa la exposición del nivel de amenaza de afectación al servicio de agua potable e infraestructura de vías, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Análisis

En el estudio realizado en la unidad morfológica de la quebrada Negroyacu, al correlacionar meticulosamente el mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la ubicación precisa de edificaciones, red de distribución de agua y las vías urbanas. Los resultados nos indican que: 32 edificaciones, destinadas a diferentes usos, se encuentran asentadas en zonas de alto riesgo de deslizamientos, lo que las expone a un peligro inminente. Además, se ha identificado que 0,165 kilómetros de vías de primer y segundo orden, incluyendo un tramo crítico de la avenida principal Alfredo Noboa Montenegro, una arteria vital para la conectividad de la zona, están clasificados con alta susceptibilidad a estos eventos geológicos. La situación se agrava al constatar que 1,737 kilómetros de la red de distribución de agua, incluyendo una red de conducción esencial para el suministro del recurso, se encuentran comprometidos al estar ubicados en áreas de alta susceptibilidad.

4.3. Resultado objetivo 3: Establecer medidas preventivas y correctivas frente a esta amenaza de deslizamiento.

A continuación, en la matriz se representa una propuesta de medidas estructurales y no estructurales, que muestran los elementos expuestos de la quebrada Negroyacu, en la cual se indicó los responsables y colaboradores, cruciales para prevenir daños en las edificaciones, redes de distribución de agua potable y vías urbanas que se encuentran expuestas en la zona de estudio.

Tabla 7: Medidas estructurales

Elemento expuesto	Condición de talud / riesgo	Medidas estructurales	Responsable / colaboradores
Estabilidad de taludes	La quebrada Negroyacu tiene un alto índice de amenaza a deslizamientos, información que se corroboró con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos que registra niveles altos de amenaza, así como, en los análisis de los perfiles con coeficiente sísmico y sin coeficiente sísmico que presenta toda el área de estudio un nivel alto a deslizamientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio y construcción del embaulado - Canalización de las aguas lluvias - Canalización de las aguas servidas de las viviendas. 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>Dirección de obras públicas</p>
Edificaciones	Se determinó 21 viviendas residenciales, 7 comerciales y 2 de servicio, están ubicadas en la zona de alta explosión a deslizamientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Construir muros de contención. - Realizar el reforzamiento de la pendiente con la construcción de bancos escalonados. 	<p>GAD Municipal de Guaranda / Dirección de Planificación</p> <p>MIDUVI</p>
Red de agua	Existe un total de 2,621 km de red de agua potable que se encuentran dentro de la zona de estudio de los cuales 1,737 km están en un nivel de amenaza alto.	<ul style="list-style-type: none"> - Reforzamiento de tuberías - Reforzamiento de la línea de conducción de agua potable del área urbana - Reforzamiento de la línea de conducción del agua potable de las viviendas en la zona de estudio. 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>EMAPAG</p>

<p>Vías urbanas</p>	<p>Existen un total de 0,981 km de vías se encuentran dentro de la zona, de estudio a los cuales 0,165 km están en un nivel alto de amenaza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obras de estabilización del talud - Canalización de aguas lluvias - Limpieza de cunetas - Canalización de aguas servidas de las viviendas 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>GAD de la provincia Bolívar</p> <p>MTOP de la provincia Bolívar</p>
----------------------------	--	--	---

Nota: La tabla representa las medidas estructurales frente a la amenaza de deslizamientos, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Tabla 8: Medidas no estructurales

Elemento expuesto	Condición de talud / riesgo	Medidas no estructurales	Responsable / colaboradores
Estabilidad de taludes	La quebrada Negroyacu tiene un alto índice de amenaza a deslizamientos, información que se corroboró con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos que registra niveles altos de amenaza, así como, en los análisis de los perfiles con coeficiente sísmico y sin coeficiente sísmico que presenta toda el área de estudio un nivel alto a deslizamientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilización y capacitación a los habitantes de la zona - Reforestación de la quebrada - Cumplimiento de la normativa de la ordenanza de protección de quebradas. 	GAD Municipal de Guaranda
Edificaciones	Se determinó 21 viviendas residenciales, 7 comerciales y 2 de servicio, están ubicadas en la zona de alta exposición a deslizamientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento de la ordenanza en áreas de protección de quebradas, para los permisos de construcción - Planes de contingencia ante deslizamientos - Capacitación preventiva 	GAD Municipal de Guaranda / Dirección de Planificación MIDUVI

Red de agua	Existe un total de 2,621 km de red de agua potable que se encuentran dentro de la zona de estudio de los cuales 1,737 km están en un nivel de amenaza alto.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar mantenimiento preventivo en tuberías. - Tener un equipo de respuesta a emergencias listo para abordar - Planes de contingencia para el abastecimiento de agua para familias expuestas y la ciudad. - Plan de contingencia EMAPAG 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>EMAPAG</p>
Vías urbanas	Existen un total de 0,981 km de vías se encuentran dentro de la zona, de estudio a los cuales 0,165 km están en un nivel alto de amenaza.	<ul style="list-style-type: none"> - Señalética de emergencia - Plan de contingencia. 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>GAD de la provincia Bolívar</p>
Ordenamiento territorial	Zonas de alta susceptibilidad e inestabilidad de los taludes en la quebrada Negroyacu.	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de la ordenanza N° 006 CM-GADCG -2021, que regula el Plan de Uso y Gestión del Suelo, fraccionamientos y construcciones; del cantón Guaranda principalmente en las zonas de mayor probabilidad a sufrir un deslizamiento. - Control del GAD Cantonal sobre el crecimiento en altura de las edificaciones existentes en la zona de riesgo. 	<p>GAD Municipal de Guaranda</p> <p>Dirección de Planificación</p>

Nota: La tabla representa las medidas no estructurales frente a la amenaza de deslizamientos, Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

4.4. Comprobación de la hipótesis

La hipótesis de trabajo “El nivel de susceptibilidad a deslizamientos influye en la exposición de los elementos en la zona de incidencia de la quebrada Negroyacu en el tramo entre el sector Alpachaca y el barrio la primavera”, al ser la investigación con enfoque mixta, la variable independiente: nivel de susceptibilidad a deslizamientos, fue establecida con el enfoque cuantitativo, a través del software GEO5 se calculó el índice de estabilidad; mientras que, la variable dependiente: exposición de elementos, corresponda al enfoque cualitativo; por consiguiente, la comprobación de la hipótesis se realizó mediante la siguiente fundamentación:

Con respecto a la variable independiente: en el área de estudio se pudo establecer según el estudio de (Paucar, 2016) que, la zona presenta un nivel alto de susceptibilidad a deslizamiento; de igual manera, se evidencia en la presente investigación que en la mayoría de los perfiles supera el índice de 1,5, lo que indica que la quebrada es inestable.

Con respecto a la variable dependiente: los elementos esenciales como son las redes de distribución de agua y vías, así como, las edificaciones, presentan una alta exposición, ya que se localizan en la zona de alta susceptibilidad y zona inestable de los taludes de la quebrada Negroyacu.

Por consiguiente, el nivel de susceptibilidad a deslizamientos alto si influye en la alta exposición de las edificaciones, así como las infraestructuras esenciales como son; redes de distribución de agua y vías; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

Con respecto al nivel de susceptibilidad de la quebrada Negroyacu se comprobó tanto con el mapa de susceptibilidad a deslizamientos que registra niveles altos de amenaza, así como, en los análisis de los perfiles con coeficiente sísmico y sin coeficiente sísmico, que presentan un nivel inaceptable, determinando que la zona de estudio tiene un alto nivel de susceptibilidad a deslizamientos condicionados por distintos factores como son la pendiente, tipo de suelo, poca vegetación, presencia de agua y antecedentes de movimientos en masa.

En cuanto a la exposición, al correlacionar el mapa de susceptibilidad con los elementos expuestos, se determinó que 32 edificaciones, destinadas a diferentes usos, se encuentran en un nivel de amenaza alto. Asimismo, se identificaron 0,165 kilómetros de vías de primer y segundo orden, incluyendo un tramo de la vía principal conocida como Av. Alfredo Noboa Montenegro, clasificada con alta susceptibilidad. Además, se detectaron 1,737 kilómetros de red de distribución de agua comprometidos, incluyendo una red de conducción ubicada en áreas de alta susceptibilidad. Estos hallazgos reflejan una significativa exposición de infraestructuras críticas y urbanas al riesgo de deslizamientos.

Se han propuesto medidas preventivas y correctivas, tanto estructurales como no estructurales, para mejorar la estabilidad de los taludes y proteger elementos clave como viviendas, redes de distribución de agua y vías. Estas acciones están orientadas a reducir significativamente el riesgo de deslizamientos en la zona de estudio. La responsabilidad de su implementación recae principalmente en el Ministerio de Obras Públicas, el gobierno cantonal y la empresa de agua potable, destacando la importancia de un trabajo coordinado entre estas entidades para garantizar la efectividad de las medidas y la seguridad de la población.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un plan general, en el cual, incluya la construcción de estructuras de estabilización, como el embaulado y sistemas de drenaje y alcantarillado para controlar la acumulación de aguas servidas y aguas lluvias, así como la reforestación con especies nativas que reduzcan la erosión y refuercen la cohesión del suelo. Además, es esencial regular las actividades humanas en la zona, en este caso las construcciones y cambios de uso de suelo, y promover la sensibilización comunitaria mediante talleres y campañas que fortalezcan la comprensión de los riesgos y las acciones a seguir en caso de emergencia.

Se sugiere implementar un plan de acción enfocado en la protección y mitigación del riesgo en las infraestructuras expuestas, priorizando la realización de obras de refuerzo estructural para las edificaciones en amenaza alta, y mejoras en los sistemas de drenaje. En el caso de las vías, especialmente la Av. Alfredo Noboa Montenegro, se deben ejecutar trabajos de estabilización de taludes y mantenimiento preventivo que garanticen su funcionalidad y seguridad. Adicionalmente, se debe fortalecer la red de distribución de agua mediante la sustitución de tramos vulnerables por materiales más resistentes y la protección de los sistemas de conducción en áreas críticas y una planificación urbana que limite nuevas construcciones en zonas de alta susceptibilidad.

Es necesario que el Ministerio de Obras Públicas, el gobierno cantonal y la empresa de agua potable implementen de manera coordinada las medidas preventivas y correctivas propuestas, priorizando la estabilización de taludes mediante la construcción de muros de contención o la implementación del embaulado, sistemas de drenaje adecuados y la reforestación con especies nativas para reducir la erosión. Asimismo, se debe fortalecer las redes de distribución de agua con materiales más resistentes como la utilización de tuberías de acero inoxidable ya que son resistentes a la corrosión y no liberan sustancias químicas.

6. Bibliografía

Bonilla, V. (15 de 4 de 2018). Obtenido de

<https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/13546>

Calderón, C. (2021). Obtenido de

<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/17739/3/TFM%20cristina.pdf>

Castro, J. (2013). Obtenido de

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjournal.espe.edu.ec%2Fojs%2Findex.php%2Frevista-seguridad-defensa%2Farticle%2Fdownload%2FRCSDV4N3ART04%2Fpdf%2F8936&psig=AOvVaw2pX2jj99CDSZ90F03wRHyw&ust=1733251621430000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&>

CDC. (03 de 27 de 2019). Obtenido de <https://www.cdc.gov/es/disasters/landslides.html>

CENEPRED. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión*. LIMA-PERU: CENEPRED.

CENEPRED. (18 de Marzo de 2015). *Manual de evaluación de riesgos* . Obtenido de www.cenepred.gob.pe.

Chiroque, H. (2022). Obtenido de

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/10/mapeo_comunitario_de_gestion_de_riesgos.pdf

CIIFEN. (2021). Obtenido de <https://ciifen.org/definicion-de-riesgo/>

comision nacional de agua . (s.f.). *Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución*. Mexico.

COMOPA. (2022). Obtenido de <https://comopaca.com/que-es-la-estabilizacion-de-taludes-y->

NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones. (2015). Obtenido de

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

ONU-ESPIDER. (2024). Obtenido de <https://www.un-spider.org/es/riesgos-y-desastres/gestion-del-riesgo-de->

[desastres#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20terminolog%C3%ADa,:%20amenaza%20exposici%C3%B3n%20y%20Vulnerabilidad.](https://www.un-spider.org/es/riesgos-y-desastres/gestion-del-riesgo-de-desastres#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20terminolog%C3%ADa,:%20amenaza%20exposici%C3%B3n%20y%20Vulnerabilidad.)

Osorio, L. (2019). Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69829>

Osorio, L. (2019). Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69829>

Palacios, I. (2020). Obtenido de <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v17i2.1571>

Paucar, A. (22 de 07 de 2016). *RODERIC*. Obtenido de <https://roderic.uv.es/items/0f79b51c-6969-4bc9-b14c-363982784ebd>

PDOT-Guaranda. (2020-2025). Obtenido de

["https://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/download/PDOT-Canton-Guaranda-preliminar.pdf"](https://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/download/PDOT-Canton-Guaranda-preliminar.pdf).

Pilco Castro, J. (3 de 10 de 2013). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71901755.pdf>

Ron, L. y Valera, R. (04 de 10 de 2022). Obtenido de

<https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (s.f.). *Gestion de Riesgos*. Obtenido de

<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/deslaves/#:~:text=En%20la%20costa%20sierra%20y,se%20precipitan%20pendiente%20a%20bajo.>

Serrano, A. (2015). Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/bitstreams/455498ca-d1e9-47e0-b8f6-3816be086a4d/download>

Sifuentes, J. (2013). Obtenido de

https://www.academia.edu/89097517/Evaluaci%C3%B3n_y_zonificaci%C3%B3n_de_los_procesos_geodin%C3%A1micos_que_influyen_en_el_%C3%A1rea_urbana_del_cant%C3%B3n_Guaranda

SNGR. (2023). Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=7276&force=1>

SNGR. (2024). Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/deslaves/>

SNGR-PNUD. (2011). Obtenido de

<https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/items/show/122>

Suarez . (1998). DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES. *Ingeniería de Suelos Ltda.*, 26-33.

Suarez, J. (2012). *deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* . Colombia.

Suarez, J. (2021). Obtenido de

<https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101>

UNGRD. (2022). Obtenido de

<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Procedimientos/Identificacion-de-esenario-de-riesgo.pdf>

USAC. (2021). Obtenido de

<https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0171/doc0171.pdf>

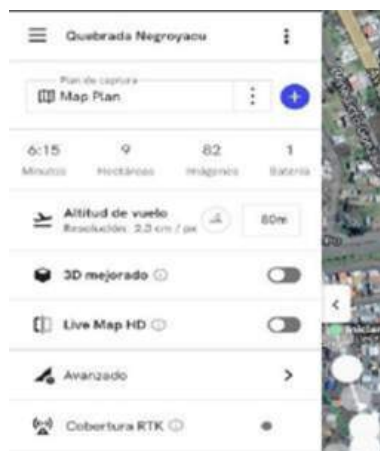
UTAS. (2023). Obtenido de [eady.gov/es/deslizamientos-de-tierra-y-](https://eady.gov/es/deslizamientos-de-tierra-y-avalanchas#:~:text=Un%20deslizamiento%20de%20tierra%20ocurre,de%20tierra%20durante%20varios%20años.)

[avalanchas#:~:text=Un%20deslizamiento%20de%20tierra%20ocurre,de%20tierra%20durante%20varios%20años.](https://eady.gov/es/deslizamientos-de-tierra-y-avalanchas#:~:text=Un%20deslizamiento%20de%20tierra%20ocurre,de%20tierra%20durante%20varios%20años.)

7. ANEXOS

7.1. Anexos 1: vuelo de Dron

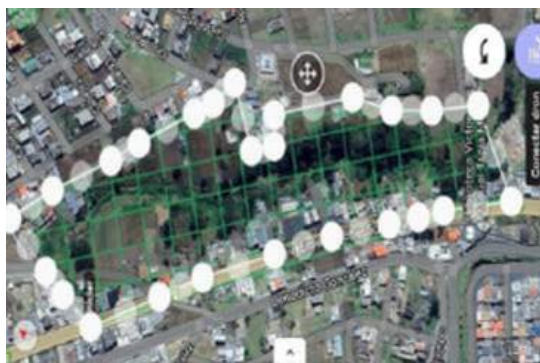
Plan de vuelo con la aplicación DroneDeploy



Fecha: 10/09/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Identificación del área de estudio con DroneDeploy



Fecha: 10/09/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

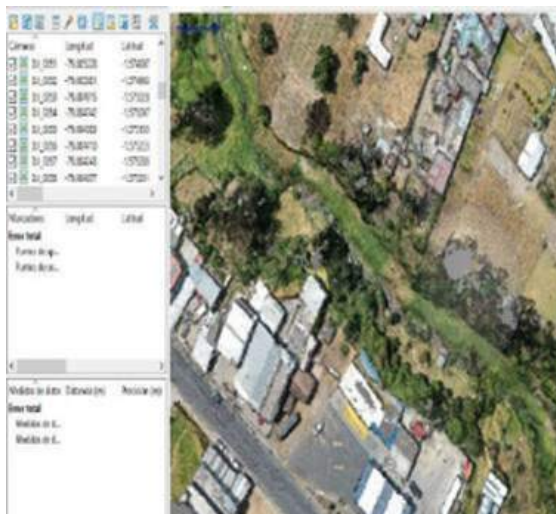
Aterrizaje de dron



Fecha: 11/09/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

Imágenes captadas por el Dron



Fecha: 12/09/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.

7.2. Anexos 2: Tipos de muestras de suelo de la quebrada Negroyacu

Toma de la muestra 1



Fecha: 02/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Toma de la muestra 2



Fecha: 04/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Separación de las muestras



Fecha: 04/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Proceso de pesaje de muestras



Fecha: 04/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Selección de tamices y proceso de tamizaje**Resultado de tamizaje**

Fecha: 04/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.


Fecha: 04/10/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.


Anexos 3: Informe del análisis de estabilidad de taludes en el software geo 5

Safety factors		
Permanent design situation		
Safety factor:	SF _s =	1,50 [-]


Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	25,36	0,04	25,37	0,07	25,38
		0,11	25,38	0,14	25,38	0,18	25,38
		0,22	25,38	0,25	25,37	0,29	25,36
		0,32	25,35	0,36	25,34	0,40	25,33
		0,43	25,33	0,47	25,33	0,50	25,32
		0,54	25,32	0,57	25,31	0,61	25,31
		0,65	25,30	0,68	25,30	0,72	25,29
		0,75	25,29	0,79	25,29	0,83	25,29
		0,86	25,28	0,90	25,28	0,93	25,28
		0,97	25,27	1,01	25,27	1,04	25,27
		1,08	25,26	1,11	25,26	1,15	25,26
		1,19	25,26	1,22	25,25	1,26	25,25
		1,29	25,25	1,33	25,24	1,37	25,24
		1,40	25,23	1,44	25,23	1,47	25,23
		1,51	25,22	1,54	25,22	1,58	25,22
		1,62	25,22	1,65	25,21	1,69	25,21
		1,72	25,21	1,76	25,21	1,80	25,20
1,83	25,20	1,87	25,20	1,90	25,20		
1,94	25,19	1,98	25,19	2,01	25,18		
2,05	25,18	2,08	25,17	2,12	25,17		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Sand with trace of fines (S-F), dense		31,50	0,00	17,50

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Sand with trace of fines (S-F), dense		17,50		

Soil parameters**Sand with trace of fines (S-F), dense**Unit weight: $\gamma = 17,50$ kN/m³Stress-state: effectiveAngle of internal friction: $\varphi_{ef} = 31,50$ °Cohesion of soil: $c_{ef} = 0,00$ kPaSaturated unit weight: $\gamma_{sat} = 17,50$ kN/m³

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
		67,40	20,71			

WaterWater type: No water**Tensile crack**

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of constructionDesign situation: permanent**Results (Stage of construction 1)****Analysis 1****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
<u>Center</u> :	x =	20,14 [m]	<u>Angles</u> :	$\alpha_1 =$	-78,31 [°]
	z =	27,04 [m]		$\alpha_2 =$	-74,71 [°]
<u>Radius</u> :	R =	13,73 [m]			
Slip surface after grid search.					

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces: $F_a = 1,17$ ~~kN/m~~Sum of passive forces: $F_p = 0,18$ ~~kN/m~~Sliding moment: $M_a = 16,13$ ~~kNm/m~~Resisting moment: $M_p = 2,48$ ~~kNm/m~~

Factor of safety = 0,15 < 1,50

Slope stability NOT ACCEPTABLE

7.3. Anexos 4: registro fotográfico

Inicio de la quebrada con presencia de relleno



Fecha: 27/06/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Identificación visual de viviendas en zona de peligro



Fecha: 16/05/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Vivienda expuesta con plástico evitando infiltración y saturación del suelo



Fecha: 16/05/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Identificación de la pendiente de la quebrada



Fecha: 16/05/2024

Autores: Cadena, M. y Gaviláñez, G., 2024.

Inicio de deslizamiento dentro de la zona de intervención



Fecha: 16/05/2024

Autores: Cadena, M. y Gavilánez, G., 2024.