



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES**

TEMA:

“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE
DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA CHILLANES - SAN JOSÉ DEL TAMBO. PERIODO
ENERO - MAYO 2025”

AUTORES:

GUAMÁN GARCÍA MIRELY LISBETH

TIXI CULQUI EVELYN BRISED

TUTORA:

ING. JOHANNA FERNANDA DUEÑAS DURÁN, Mgtr.

**GUARANDA – ECUADOR
2025**

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS EN
LA VÍA CHILLANES - SAN JOSÉ DEL TAMBO. PERIODO ENERO – MAYO 2025”

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios que me dio la sabiduría, las herramientas y las fuerzas necesarias en este largo camino. Gracias por haberme sostenido en los momentos más difíciles, por iluminar mi mente cuando más lo necesitaba y recordarme que nunca estuve sola. A Él le debo cada logro alcanzado, por ser mi protector y mi sustento, por permanecer a mi lado en cada etapa de este recorrido.

Con profunda gratitud y cariño, expreso este logro a mi madre por su constante apoyo, su enorme esfuerzo y amor incondicional. Gracias por asumir ambos roles, siendo padre y madre a la vez y por convertirse en un ejemplo de fortaleza, perseverancia y valentía. Cada meta alcanzada también le pertenece, ya que su motivación permanente y guía han sido la base fundamental para llegar hasta aquí y culminar esta etapa tan importante de mi vida. Hermanas, gracias por su compañía incondicional y por regalarme momentos de alegría en aquellos días difíciles. Su apoyo y cercanía han sido esenciales en este camino.

A mis adorados abuelitos, quienes me vieron crecer, gracias por cada consejo y también por cada llamado de atención que ayudó a formarme como persona. Gracias por su amor sincero, por su constante preocupación, sus enseñanzas, valores y sabiduría han sido una guía importante a lo largo de este proceso.

Y finalmente, expreso un especial agradecimiento a mi tutora Ing, Johanna Dueñas por su guía, dedicación y acompañamiento durante esta etapa, su apoyo fue fundamental para culminar este trabajo. Asimismo, agradezco a mi querida Universidad Estatal de Bolívar por brindarme una formación íntegra y a los ingenieros por compartir sus experiencias y enseñanzas, las cuales contribuyeron significativamente en mi formación académica. Gracias a todos.

Mirely Lisbeth Guamán García

DEDICATORIA

A **Dios** le doy gracias por darme la oportunidad de culminar esta meta por darme la fuerza para seguir adelante con este propósito, por ser mi guía y darme la fortaleza para no rendirme.

A mi madre **Beatriz García** por ser mi luz en los momentos de oscuridad y la voz que nunca dejó de recordarme lo lejos que podía llegar, su fe en mí fue el impulso que necesitaba para no rendirme. Gracias por cada palabra de aliento, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del conocimiento. Este logro es tan suyo como mío.

Y finalmente, me dedico este logro a mí misma por cada esfuerzo, sacrificio y noches de desvelo realizado para alcanzar esta meta. Por mantenerme firme aún en los momentos más difíciles, por no rendirme cuando el camino se volvió complicado y por tener la valentía de continuar luchando por mis sueños.

Me dedico este logro por mi constancia, perseverancia y disciplina, por demostrarme que soy capaz de superar cada desafío y alcanzar todo aquello que me proponga.

Cada paso dado, cada obstáculo superado y cada aprendizaje adquirido forman parte de este importante logro que representa el resultado de mi dedicación, crecimiento personal y esfuerzo continuo.

Mirely Lisbeth Guamán García

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar, a Dios, por acompañarme a lo largo de este proceso, por darme fortaleza en los momentos difíciles y por permitirme culminar una meta tan importante en mi vida personal y profesional.

A mis Padres por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, gracias por ser el motor de mi vida, por enseñarme el valor del sacrificio, la constancia y la responsabilidad. Cada paso que he dado hasta aquí también lleva el reflejo de todo lo que ustedes han hecho por mí.

Expreso también mi sincero agradecimiento a mi tutora Ingeniera Johanna Dueñas, por su orientación, dedicación y conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación, su acompañamiento académico fue fundamental para fortalecer este trabajo y llevarlo a su culminación.

A la Universidad Estatal de Bolívar, a la Facultad de Ciencias de la Salud y el ser Humano y a la Carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, Por haberme permitido formarme académicamente y crecer como futura profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso y contribuyeron a que este sueño hoy sea una realidad.

Evelyn Brised Tixi Culqui

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a **Dios**, por haber guiado cada uno de mis pasos y por darme la fortaleza necesaria para llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mis padres **Narcisa Culqui y Jovan Tixi**, con todo mi amor y gratitud, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, lucha y perseverancia. Gracias por creer en mí por apoyarme incondicionalmente y por enseñarme que con sacrificio y dedicación los sueños sí pueden cumplirse. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanos **Johan y Katherine**, por su cariño, apoyo, compañía y por motivarme constantemente a seguir adelante. Gracias por estar presentes en cada etapa de este camino y compartir conmigo tanto los momentos difíciles como las alegrías alcanzadas.

A mi **familia**, por estar siempre presente, por su comprensión, sus palabras de aliento y por acompañarme durante todo este proceso con amor y confianza.

A mi pareja **Efren Secaira**, por su amor, apoyo y compañía durante este camino. Gracias por ser parte de este proceso, por compartir conmigo no solo los desafíos, sino también la alegría de alcanzar esta meta.

Y, finalmente, me dedico este logro a mí misma, por no rendirme, por mantenerme firme a pesar de las dificultades y por demostrarme que con esfuerzo, disciplina y fe es posible alcanzar aquello que alguna vez parecía lejano.

Con profundo amor, gratitud y emoción, dedico este trabajo a todas las personas que fueron parte de este camino.

Evelyn Brised Tixi Culqui

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

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

Guaranda, 26 de marzo de 2026.

El suscrito Ingeniera Johanna Dueñas Durán, director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA CHILLANES - SAN JOSÉ DEL TAMBO. PERIODO ENERO - MAYO 2025"; realizado por las señoritas: **Guaman García Mirely Lisbeth y Tixi Culqui Evelyn Brised**, 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. JOHANNA DUEÑAS DURAN

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUDITORÍA NOTARIZADA

DERECHOS DE AUTOR

Nosotras **Mirely Lisbeth Guamán García** y **Evelyn Brised Tixi Culqui** portadores de la Cédula de Identidad No **0202453825** y **1753357027** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

"ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS EN LA VÍA CHILLANES - SAN JOSÉ DEL TAMBO. PERIODO ENERO - MAYO 2025", 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 nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

Los autores declaran 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.



Mirely Lisbeth Guamán García



Evelyn Brised Tixi Culqui

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	VII
DERECHOS DE AUDITORÍA NOTARIZADA.....	VIII
INTRODUCCIÓN	XVI
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT.....	XXI
CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos: General y Específicos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Operacionalización de variables.....	6
1.6.1 Variable Independiente	6
1.6.2 Variable Dependiente.....	7

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco Referencial o Georreferencial	8
2.2 Antecedentes (académicos y artículos de investigación)	9
2.3. Marco Científico.....	12
2.3.1 Movimientos en masa.....	12
2.3.2 Clasificación de los movimientos en masa	13
2.3.3 Concepto de Deslizamiento.....	19
2.3.4 Partes de un Deslizamiento	20
2.3.5 Tipos de Deslizamientos	23
2.3.6 Causas de los Deslizamientos	24
2.3.7 Consecuencias de los Deslizamientos	25
2.3.8 Factores de Susceptibilidad.....	26
2.3.9 Factores Condicionantes	27
2.3.10 Factores Detonantes	29
2.3.11 Métodos de Evaluación de Susceptibilidad.....	30
2.3.12 Método Mora y Vahrson	33
2.4 Marco Legal	34
2.4.1 Constitución de la Republica del Ecuador	35
2.4.2 Ley Orgánica de Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIR)	36
2.4.3 Ley de Seguridad Publica y del Estado.....	37

2.4.4	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	37
2.4.5	Ley Orgánica del Sistema Nacional de Infraestructura Vial del Transporte Terrestre. 38	
2.4.6	Reglamentario y Técnico	39
2.5	Marco Conceptual	39
	CAPITULO III. METODOLOGÍA	43
3.1	Tipo de Investigación	43
3.2	Enfoque de la investigación	43
3.3	Métodos de Investigación.....	44
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos	44
3.5	Técnicas de análisis y procesamiento de la Información	45
3.5.1	Objetivo 1	45
3.5.2	Objetivo 2.....	47
3.5.3	Objetivo 3.....	48
	CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1	Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados	49
4.1.1	Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.	49
4.1.2	Caracterizar los factores de susceptibilidad que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.	72

4.1.3 Determinar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de deslizamientos en la zona de estudio, mediante el análisis e integración de la caracterización.	87
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1 Conclusiones	95
5.2 Recomendaciones.....	96
Bibliografía	97
Anexos	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros geotécnicos del suelo del Talud N° 1	52
Tabla 2: Parámetros geotécnicos del suelo del Talud N° 2	57
Tabla 3: Ponderación del factor Pendiente	74
Tabla 4: Ponderación del factor Geológico	76
Tabla 5: Ponderación del factor Humedad.....	78
Tabla 6: Ponderación factor Sísmico	80
Tabla 7: Ponderación factor Precipitación.....	83
Tabla 8: Tabla de Susceptibilidad a deslizamientos	86
Tabla 9: Distribución de cuantificación espacial factor Pendiente.....	88
Tabla 10: Distribución de cuantificación espacial factor Geológico.....	89
Tabla 11: Distribución de cuantificación espacial factor Humedad	90
Tabla 12: Distribución de cuantificación espacial factor Sísmico.....	91
Tabla 13: Distribución de cuantificación factor Precipitación	92
Tabla 14: Factores que más influyen a los deslizamientos	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación	9
Figura 2: Caída de Rocas.....	15
Figura 3: Esquema de Volcamiento o Inclinación.....	16
Figura 4: Deslizamiento Rotacional y Traslacional.....	17
Figura 5: Esquema de Flujo de escombros	18
Figura 6: Esquema de Procesos de Reptación de Suelos.....	19
Figura 7: Partes que conforman un Deslizamiento	23
Figura 8: Deslizamiento Traslacional	23
Figura 9: Deslizamiento Rotacional	24
Figura 10: Mapa zonas susceptibles	50
Figura 11: Mapa de la Zona 1.....	51
Figura 12: Talud N° 1, sin factor sísmico.....	53
Figura 13: Talud N° 1, con factor sísmico.....	55
Figura 14: Mapa de la Zona 2.....	56
Figura 15: Talud N° 2, sin factor sísmico.....	58
Figura 16: Talud N° 2, con factor sísmico.....	59
Figura 17: Mapa de la Zona 3.....	60
Figura 18: Talud N° 3, sin factor sísmico.....	61
Figura 19: Talud N° 3, con factor sísmico.....	62
Figura 20: Mapa de la Zona 4.....	63
Figura 21: Clasificaciones Geomecánicas	64
Figura 22: Reporte del RMR	65

Figura 23: Talud N° 4, sin factor sísmico.....	67
Figura 24: Talud N° 4, con factor sísmico.....	68
Figura 25: Mapa de la Zona 5.....	69
Figura 26: Talud N° 5, sin factor sísmico.....	70
Figura 27: Talud N° 5, con factor sísmico.....	71
Figura 28: Mapa de Pendientes	73
Figura 29: Mapa Geológico.....	75
Figura 30: Mapa del índice de Humedad.....	77
Figura 31: Mapa de Riesgo Sísmico.....	80
Figura 32: Mapa de Precipitación.....	83
Figura 33: Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos.....	86

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los deslizamientos de tierra han sido uno de los fenómenos naturales de mayor impacto en lugares montañosos debido a su capacidad de generar pérdidas humanas, económicas y ambientales significativos, particularmente en Ecuador la ocurrencia de estos procesos está estrechamente vinculada a la compleja interacción entre factores geológicos, geomorfológicos, climáticos y antrópicos los cuales crean escenarios de alta susceptibilidad, la cordillera de los Andes que atraviesa el territorio ecuatoriano presenta condiciones naturales como pendientes pronunciadas, material geológico altamente meteorizados y tiempos de precipitación intensos, que favorecen a la inestabilidad de laderas y la ocurrencia de movimientos en masa.

Los deslizamientos no deben entenderse únicamente como eventos aislados sino como el resultado de procesos acumulativos donde intervienen tanto condiciones naturales como actividades humanas, la deforestación, la expansión agrícola en zonas de pendiente, los cortes de talud para la construcción de vías y la falta de planificación territorial adecuada incrementa significativamente la vulnerabilidad del entorno. En este sentido el riesgo se configura a partir de la interacción entre amenaza natural y la exposición de elementos vulnerables, como la infraestructura vial y las comunidades asentadas en zonas inestables, lo cual evidencia necesidad de enfoque integrales que permita no solo identificar los factores que condicionan la ocurrencia de deslizamientos si no también comprender su dinámica espacial y temporal.

Bajo este contexto la vía Chillanes – San José del Tambo ubicada en la provincial de Bolívar constituye un caso de estudio relevante debido a su importancia estratégica para la conectividad parroquial y al mismo tiempo por su alta exposición a proceso de remoción de masa, esta vía no solo cumple una función de articulación territorial facilitando el transporte de

bienes, servicio y personas, si no también representa un elemento clave para el desarrollo socioeconómico del cantón, sin embargo su trazado vial atraviesa zonas con características geológicas complejas, pendientes elevadas y condiciones climáticas variables, lo que ha causado la ocurrencia frecuente de deslizamientos que afectan la transitabilidad y pone en riesgo la seguridad de las personas.

Por esta razón, surge la necesidad de realizar estudios técnicos que permiten analizar de manera sistemática los factores de susceptibilidad asociados a la ocurrencia de deslizamientos, la susceptibilidad, entendida como la predisposición del terreno a experimentar movimientos de masa en función de sus características físicas constituyen un componente fundamental en la evaluación de riesgo, ya que permite especialmente las zonas más propensas a la inestabilidad, este tipo de análisis se sustenta con la identificación de factores condicionantes como la pendiente, la geología y la humedad del suelo así como factores detonantes entre los que destacan son la precipitación y la actividad sísmica cuya interacción puede desencadenar en la falla de ladera.

La presente investigación tiene como objetivo analizar los factores de susceptibilidad ante deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo durante el periodo enero – mayo de 2025, mediante la integración de herramientas geospaciales y metodologías de evaluación reconocidas en el ámbito científico, en particular, se emplea el método de Mora y Vahrson, el cual permite combinar de manera semicuantitativa los factores condicionantes y detonantes para la generación de un índice de susceptibilidad, facilitando la elaboración de mapas temáticos que representan la distribución espacial del fenómeno.

El enfoque metodológico adoptado en este estudio integra el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el análisis de modelos digitales de elevación, la recopilación de

información geológica y climática, así como la validación mediante trabajo de campo y modelamiento geotécnico, que permite no solo caracterizar los factores que influyen en la estabilidad del terreno también permite cuantificar su grado de incidencia en la generación de deslizamientos aportando así una visión integral del problema.

Es importante destacar que la gestión del riesgo de desastres supera enfoques reactivos y avanzar hacia modelos preventivos basados en el conocimiento del territorio, en este sentido, el análisis de susceptibilidad constituye una herramienta clave para la planificación territorial ya que permite orientar la toma de decisiones hacia la reducción de la vulnerabilidad en zonas críticas, este tipo de estudios contribuye a fortalecer la resiliencia de las comunidades y de la infraestructura frente a eventos adversos, promoviendo un desarrollo sostenible y seguro.

Finalmente, los resultados de esta investigación no solo aportan al conocimiento técnico y científico en el ámbito de la ingeniería en gestión de riesgos de desastres, sino que también generan insumos fundamentales para las instituciones encargadas de la planificación y gestión del territorio, se espera que el presente estudio contribuya a autoridades a la formulación de estrategias que permitan reducir la incidencia de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo garantizando la seguridad de la población y la continuidad de las actividades socioeconómicas en el cantón.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar los factores de susceptibilidad ante deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo ubicada en la provincia de Bolívar durante el periodo enero – mayo de 2025 esta vía constituye un eje fundamental para la conectividad y el desarrollo socioeconómico del cantón; sin embargo, se encuentra expuesta a procesos recurrentes de remoción en masa debido a las condiciones geomorfológicas, geológicas y climáticas del entorno.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto combinando métodos cualitativos y cuantitativos con un alcance descriptivo y exploratorio, para el análisis se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) así como los softwares ArcGIS, Global Mapper, GEO5, Geotable los cuales permitieron la integración y procesamiento de información geoespacial y geotécnica, se consideraron como variables principales los factores condicionantes: pendiente, geología e índice de humedad topográfica (TWI) y los factores detonantes: precipitación y sismicidad, los cuales fueron analizados mediante la metodología semicuantitativa de Mora y Vahrson.

En el desarrollo de la investigación se identificaron zonas críticas de susceptibilidad a deslizamientos a lo largo del tramo vial mediante la elaboración de mapas temáticos y el análisis de estabilidad de taludes utilizando el método de Bishop, los resultados evidenciaron que varios sectores presentan factores de seguridad menores al valor aceptable ($FS < 1,50$) esto indica condiciones de inestabilidad y alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, también se determinó que la pendiente y la geología constituyen los factores de mayor influencia en la generación de estos procesos seguidos por la precipitación, la humedad y la sismicidad actúan como factores complementarios que incrementan la susceptibilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten identificar las zonas con mayor predisposición a deslizamientos facilitando la toma de decisiones en la planificación territorial, este estudio también contribuye al fortalecimiento de la seguridad vial y al desarrollo sostenible del cantón, promoviendo un enfoque preventivo basado en el conocimiento técnico del territorio.

Palabras clave: deslizamientos, susceptibilidad, Mora-Vahrson, SIG, estabilidad de taludes, gestión de riesgos.

ABSTRACT

This research aims to analyze the factors that contribute to landslides on the Chillanes – San José del Tambo road, located in the province of Bolívar, during the period January – May 2025. This road is a fundamental axis for connectivity and the socioeconomic development of the canton; however, it is exposed to recurring mass wasting processes due to the geomorphological, geological, and climatic conditions of the surrounding area.

The study was developed using a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative methods with a descriptive and exploratory scope. Geographic Information System (GIS) tools and software such as ArcGIS, Global Mapper, GEO5, and Geotable were used for the analysis, enabling the integration and processing of geospatial and geotechnical information. The main variables considered were the conditioning factors: slope, geology, and topographic moisture index (TWI), and the triggering factors: precipitation and seismicity. These were analyzed using the semi-quantitative methodology of Mora and Vahrson.

During the research, critical landslide-prone areas were identified along the road section through the creation of thematic maps and slope stability analysis using Bishop's method. The results showed that several sections have safety factors below the acceptable value ($FS < 1.50$), indicating unstable conditions and a high probability of landslides. It was also determined that slope and geology are the most influential factors in generating these processes, followed by precipitation, humidity, and seismicity, which act as complementary factors that increase susceptibility.

Finally, the results obtained allow for the identification of areas with the highest predisposition to landslides, facilitating decision-making in land-use planning. This study also

contributes to strengthening road safety and the sustainable development of the canton by promoting a preventive approach based on technical knowledge of the territory.

Keywords: landslides, susceptibility, Mora-Vahrson, GIS, slope stability, risk management.

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

El Ecuador por su ubicación y factores geológicos, geográficos y climáticos es vulnerable a deslizamientos de tierra los cuales afectan al desarrollo sostenible y sustentable del país, los deslizamientos, fenómenos geodinámicos recurrentes en zonas de relieve escarpado y alta precipitación, representan una amenaza significativa para la infraestructura vial y la seguridad de los usuarios. Ante este escenario, se hace necesario realizar un análisis exhaustivo de los factores de susceptibilidad a deslizamientos en el tramo vial.

La carretera que une Chillanes - San José del Tambo es esencial para la economía y el desarrollo social del cantón, ya que facilita la circulación de mercadería y el acceso a servicios fundamentales. Sin embargo, esta vía enfrenta graves inconvenientes derivados de los movimientos en masa, que generan cada vez más desprendimientos que amenazan tanto la infraestructura vial como de las personas que la transitan.

Existen diferentes tramos de la vía que son propensos a sufrir deslizamientos de tierra debido a varios factores. Entre ellos se encuentran el tipo de suelo, la inclinación de la pendiente y la presencia de grietas en el terreno. Las lluvias excesivas y los cambios estacionales pueden saturar el suelo, ya que las precipitaciones en el lugar varían, lo que provoca movimientos en las pendientes. Además, las acciones humanas, como la tala de árboles, la construcción descontrolada y la agricultura en terrenos inclinados, incrementan el riesgo de deslizamientos y contribuyen a la ocurrencia de movimientos en masa.

Es necesario recalcar que en la actualidad no se han realizado estudios previos del sector motivo por el cual se desconoce con exactitud los factores de susceptibilidad a deslizamientos del sector. Con el objetivo de realizar estrategias para reducir el riesgo. Este estudio no solo

contribuirá a la seguridad de la vía, sino que también permitirá a las autoridades implementar políticas adecuadas de gestión del riesgo y promover prácticas sostenibles en el cantón.

La investigación es importante para sensibilizar a la población sobre la importancia de cuidar el entorno natural y adoptar medidas preventivas que minimicen el impacto de los deslizamientos. Así, se busca garantizar la seguridad de las personas que utilizan la vía Chillanes - San José del Tambo y fomentar un desarrollo sostenible que beneficie a las generaciones presentes y futuras.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo influyen los factores de susceptibilidad a la ocurrencia del riesgo de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo?

1.3 Justificación

La presente investigación es relevante, ya que no se han realizado investigaciones previas en la localidad a pesar de la recurrencia de deslizamientos, no se dispone de un análisis técnico integral que permita comprender de manera precisa los factores que condicionan y desencadenan estos procesos. La falta de estudios específicos sobre las variables como la pendiente, la geología, la humedad del suelo, la precipitación y la sismicidad limita la capacidad de analizar el comportamiento del terreno, lo que dificulta la implementación de medidas para la reducción del riesgo en el tramo vial.

La investigación aporta un enfoque técnico y sistemático orientado a la identificación, caracterización y análisis de los factores de susceptibilidad a deslizamientos mediante herramientas geoespaciales y aplicaciones de metodologías reconocida para el análisis de inestabilidad de laderas para determinar las zonas con mayor predisposición a presentar movimientos en masa, así como establecer el grado de influencia de cada factor. Este aporte no solo contribuye a mejorar la comprensión del comportamiento geodinámico del área de estudio al igual fortalece la base técnica para la toma de decisiones en la planificación territorial.

Los resultados de esta investigación tienen un impacto directo en la gestión de riesgo al proporcionar insumos que faciliten la priorización de intervenciones de sectores críticos al igual que contribuye al fortalecimiento de capacidades institucionales de los gobiernos locales y entidades responsables promoviendo un enfoque preventivo que permite reducir la vulnerabilidad de la infraestructura vial y de la población que depende de esta vía para sus actividades cotidianas.

Desde otra perspectiva como es social y territorial el estudio beneficia a las comunidades al mejorar las condiciones de seguridad y transitabilidad disminuyendo la exposición a eventos

de deslizamientos que afecten de manera recurrente la movilidad y el desarrollo económico local, además fomenta la generación de una cultura preventiva basada en el conocimiento técnico del territorio lo cual es fundamental para la construcción de entornos más resilientes frente amenazas naturales.

La investigación se proyecta como un aporte relevante tanto en el ámbito académico como profesional ya que establece una base metodológica aplicable a otras zonas con características similares, de esta manera no solo contribuye a cubrir un vacío investigativo a nivel local, sino que también fortalece el desarrollo de la ingeniería en gestión de riesgos y desastres orientada hacia la prevención, la planificación sostenible y la reducción de impactos asociados a procesos de remoción en masa.

1.4 Objetivos: General y Específicos

1.4.1 Objetivo general

Analizar los factores de susceptibilidad ante deslizamientos en la vía Chillanes -San José del Tambo durante el periodo enero – mayo 2025, mediante la evaluación de estabilidad de taludes con el fin de determinar las zonas de mayor riesgo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.
- Caracterizar los factores de susceptibilidad que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.
- Determinar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de deslizamientos en la zona de estudio, mediante el análisis e integración de la caracterización.

1.5 Hipótesis

La caracterización de los factores de susceptibilidad permite identificar y explicar los principales detonantes de los deslizamientos permitiendo la determinación de las zonas de mayor riesgo.

1.6 Operacionalización de variables

1.6.1 Variable Independiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Factor de Susceptibilidad	Los factores son aquellos que contribuyen a originar inestabilidad de una ladera o talud formando deslizamientos generalmente están ligados directamente con la naturaleza, aunque también se ve afectado por agentes antrópico.	Geología	Tipo de Suelo/Roca	Clase litológica (andesita, lutita, caliza, etc.)	Hoja geológica 1:100 000 del Instituto de Investigaciones Geológicas y Energéticas (IIGE) Geotable Martillo de Smith
		Pendiente	Grado de Pendiente	0 % a 100%	Modelo Digital de Elevación. (DEM) Ortofoto ArcGIS GEO5 Gobal Mapper
		Geomorfología (Humedad)	TWI	TWI Bajo TWI Medio TWI Alto TWI Muy Alto	Modelo Digital de Elevación. (DEM) ArcGIS
		Precipitación	Precipitación Anual	Mm/anual	WorldClim versión 2
		Sismicidad	Magnitud de momento (Mw) máxima registrada.	Mw	Catálogo histórico IG-EPN / USGS-NEIC

1.6.2 Variable Dependiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Susceptibilidad a Deslizamientos	Movimiento de masa que involucra la movilización de tierras, rocas o vegetación por una pendiente debido a la falta de firmeza en el suelo	Incidencia de deslizamientos	Número de Deslizamientos ocurridos.	0-1 Bajo 2-3 Medio 4 Alto 5 Muy Alto	Visita de campo
			Indicador del riesgo	Nivel de riesgo de deslizamientos	Bajo Medio Alto Muy Alto

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

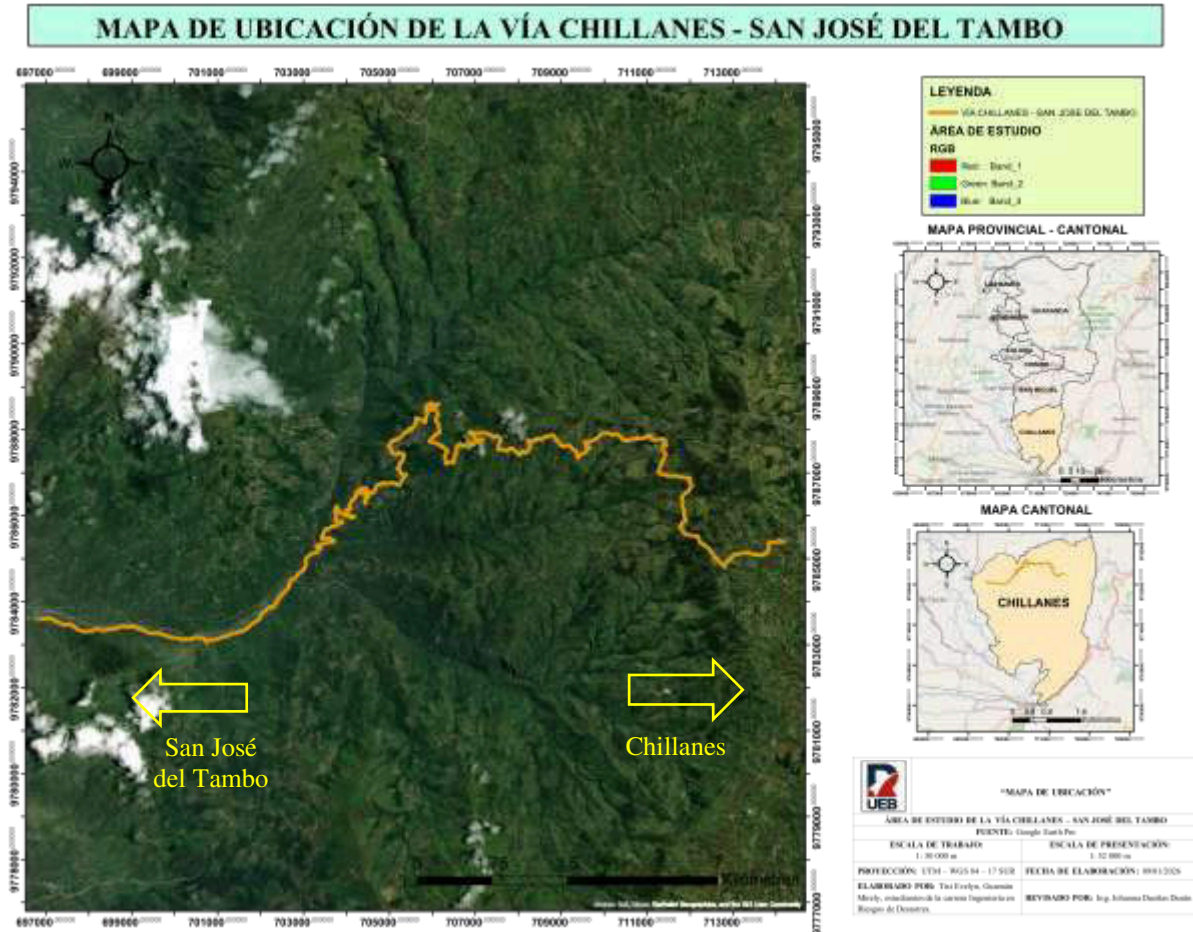
2.1 Marco Referencial o Georreferencial

El cantón Chillanes ubicada en la provincia Bolívar, Ecuador, presenta características geográficas y climáticas que la hacen particularmente vulnerable a deslizamientos. Su topografía montañosa, formando parte de la cordillera de los Andes con pendientes pronunciadas y suelos variados, se combina con un clima tropical de montaña que genera precipitaciones significativas, especialmente durante la temporada de lluvias creando un ambiente propenso a la saturación del suelo y a la inestabilidad de las laderas, los deslizamientos de tierra son muy comunes que afecta a muchas áreas del lugar.

La Vía Chillanes- San José del Tambo es una red vial externa cuanta con una longitud aproximada de 30 a 40 kilómetros para que pueda cumplir su función de movilización de personas y productos a la cabecera cantonal debe de ser mejorada especialmente en épocas de invierno a pesar de sus constantes deslizamientos esta vía ha mejorado la calidad de vida de los habitantes.

El clima en la región es tropical de montaña, con temperaturas que varían entre los 15 °C y 25 °C. Estos factores climáticos, junto con la geología de la zona, influyen en la estabilidad del terreno. Los suelos de esta vía son diversos, incluyendo suelos arcillosos que son particularmente susceptibles a la saturación y la erosión. La actividad humana, como la deforestación y la construcción desmedida, ha exacerbado estos problemas, reduciendo la vegetación que estabiliza el suelo y aumentando la erosión.

Figura 1: Mapa de Ubicación



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

2.2 Antecedentes (académicos y artículos de investigación)

En el trabajo titulado “Zonificación de la susceptibilidad ante el deslizamiento de laderas en la región de Bahía de Banderas asociados a fenómenos naturales” menciona que la inestabilidad de laderas es uno de los fenómenos geológicos más destructivos que impactan a la humanidad, debido a su impacto en infraestructura y asentamientos humanos. En este estudio, (Rivera García, 2020) aplico la metodología Indian Standard, la cual se basa en un enfoque empírico que evalúa las repercusiones individuales y colectivas de diversas variables mediante factores de ponderación para determinar zonas con susceptibilidad "alta" a la ocurrencia de este

fenómeno. Dichos factores se clasificaron como inherentes destacándose la pendiente y morfometría del terreno.

En relación con lo anterior, la presente investigación retoma la importancia de estos factores inherentes como la pendiente y morfometría la investigación también se centrará en evaluar cómo estas variables afectan la estabilidad de la vía. La metodología empírica utilizada en el estudio mencionado puede servir de guía para aplicar un enfoque similar en la identificación de zonas de riesgo, contribuyendo así a la seguridad de las comunidades locales.

Según el trabajo “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos en el río El Estado, Puebla-Veracruz, México” desarrolló cartografía de susceptibilidad mediante la aplicación del modelo SINMAP. Según (Gómez Piña, 2020) la metodología integra variables geotécnicas, morfométricas, e hidrológicas incluyendo parámetros como el ángulo de fricción interna, cohesión, infiltración, pendiente, altimetría, área de captación y precipitación al igual que realizo la revisión de material cartográfico, la elaboración de un inventario de deslizamiento, la modelación de susceptibilidad y su validación.

En nuestra investigación, se podría aplicar una metodología similar, comenzando con la revisión de material cartográfico específico de la vía Chillanes-San José del Tambo y la construcción de un inventario de deslizamientos en la zona, permitiría identificar factores que contribuyen a la inestabilidad de la ladera como la inclusión de pendientes y la precipitación, tal como se hace en el estudio mencionado, Al validar los resultados obtenidos, se podría ofrecer una evaluación más precisa de la susceptibilidad a deslizamientos.

En el siguiente trabajo “Susceptibilidad por deslizamientos en el sector Baracoa-Cajobabo, provincia Guantánamo, Cuba” se aplicó el método de zonación el cual establece que los deslizamientos ocurren cuando una ladera se encuentra bajo determinadas condiciones de

litología, humedad y pendiente alcanza un umbral crítico de susceptibilidad. En este contexto. (Rosabal Domínguez, 2018) analizo variables condicionantes como la geología, la geomorfología y la hidrología incorporando métodos morfométricos como densidad de la red hidrográfica para delimitar áreas susceptibles a deslizamientos.

La integración de estos métodos morfométricos con otros análisis, como la geología y la hidrología, puede proporcionar un enfoque holístico para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos en nuestra área de estudio, un análisis detallado de esta variable permitiría identificar zonas donde la acumulación de agua podría ser un factor desencadenante de deslizamientos.

Basado en este estudio “Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en el corregimiento de Cerro Punta, provincia de Chiriquí, Panamá” se empleó el método del índice de susceptibilidad a deslizamientos (LSI) que corresponde a un modelo estadístico bivariado basado en un inventario de deslizamientos históricos y diversos parámetros condicionantes. Según (Saez, 2021) este método permite evaluar la relación entre la ocurrencia de deslizamientos y las características del terreno siendo fundamental la validación de resultados mediante la comparación de eventos reales.

La validación puede llevarse a cabo utilizando varias técnicas como la comparación de los resultados del LSI con un inventario de deslizamientos recientes en la vía hay que analizar si las áreas identificadas como susceptibles por el modelo coinciden con los lugares donde efectivamente han ocurrido deslizamientos. Utilizando indicadores la exactitud, la sensibilidad y la especificidad lo que permiten evaluar el desempeño del modelo en la identificación de áreas de riesgo.

En la tesis titulada “Susceptibilidad a Deslizamientos mediante el uso de Sig, a escala 1: 10000, del tramo vial comprendido desde: el Redondel del barrio el Plateado hasta el Antiguo Peaje del Cantón Catamayo, Provincia de Loja”, (Cabrera, 2021). menciona que los estudios de susceptibilidad a deslizamientos permiten identificar zonas propensas a la ocurrencia de estos fenómenos en función de factores condicionantes y desencadenantes como la litología, la geomorfología y la hidrología, en el estudio se aplicó el Método de Evaluación Multicriterio de Suma de Rangos mismo que integra factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de laderas y asocia diversas técnicas, que permitan reconocer las condiciones reales de terreno, integrando técnicas como la interpretación de ortofotos, el trabajo de campo y el análisis en sistemas de información geográfica.

El presente estudio aporta la comprensión de los sismos como factores detonantes que influyen en la estabilidad de las laderas especialmente en zonas montañosas intervenidas por infraestructura vial. Las vibraciones sísmicas generan una reducción de la resistencia al corte de los materiales favoreciendo la reactivación de deslizamientos antiguos y la ocurrencia de nuevos eventos en taludes de corte y relleno. En el caso de la vía Chillanes – San José del Tambo la inclusión de este factor permite interpretar la inestabilidad del terreno en un contexto tectónicamente activo, así como identificar sectores donde la susceptibilidad puede incrementarse aun en ausencia de precipitaciones extremas fortaleciendo el análisis integral del riesgo.

2.3. Marco Científico

2.3.1 *Movimientos en masa*

Es un término geológico que engloba el rápido movimiento ladera abajo de rocas y partículas más finas gracias a la fuerza de la gravedad. Uno de los tipos más comunes de

movimientos en masa que ocurren en la Tierra son los deslizamientos, pero también existen otros como caídas de rocas, flujo de derrubios, reptación y avalanchas. Los deslizamientos y otros procesos de movimiento en masa requieren de algún tipo de mecanismo disparador para inducir al movimiento de las partículas bajo la acción de la gravedad. (Chuang & McEwen, 2020)

Los movimientos de masa se presentan en zonas de mayor susceptibilidad donde los procesos climáticos y geológicos afectan la superficie terrestre con el tiempo adaptan pendientes naturales, con este contexto los movimientos de masa son el reajuste de la ladera. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2022)

Se define como movimientos en masa al transporte de masas de suelo o roca por la acción de la gravedad. Dentro de esta definición se engloban términos tales como deslizamiento, derrumbe, avalancha, flujo de barro, hundimiento, los cuales se presentan en una gran variedad de condiciones, afectando suelos o rocas de distinto tipo, en taludes naturales y artificiales, con rangos de velocidad. (Iriando, 2007)

La consecuencia de los movimientos de masas estará relacionada con los factores de susceptibilidad (geológico-litológico, geomorfológico, pendiente, hidrológico y ocupación del suelo), Los tipos más comunes incluyen deslizamientos, caídas de rocas, flujo de derrubios, reptación y avalanchas. Estos movimientos van influenciados por el aumento de humedad, terremotos, cargas excesivas o excavaciones. Los movimientos de masa son más frecuentes en áreas con pendientes pronunciadas y condiciones climáticas y geológicas específicas, en el presente trabajo hablaremos sobre deslizamientos de tierra.

2.3.2 Clasificación de los movimientos en masa

Las clasificaciones de movimientos en masa varían según sus autores, países de origen o el perfil profesional de quienes tratan el tema, suelen presentar diferencias en el tamaño,

velocidad y materiales afectados, Por otra parte, estos fenómenos tienen mucha importancia en cuanto a riesgos naturales, afectando a la seguridad de personas. (Gandía & Meliá, 1993)

Caídas

Las caídas son un tipo de movimiento en masa que se produce cuando fragmentos de roca o porciones de suelo se desprenden de forma súbita desde laderas muy inclinadas, escarpes o acantilados. Tras el desprendimiento, el material desciende principalmente por caída libre, aunque también puede desplazarse mediante rebotes o rodadura a lo largo de la pendiente.

Este proceso suele desarrollarse en pendientes muy pronunciadas, donde la estabilidad del terreno se ve afectada por distintos factores naturales, como la meteorización de las rocas, la presencia de fracturas o la acción de procesos erosivos. Estas condiciones debilitan el material y favorecen su separación del macizo rocoso.

Características principales

- Se caracteriza por un movimiento muy rápido del material desprendido.
- Se presenta principalmente en pendientes escarpadas o casi verticales.
- Está relacionado con la presencia de rocas fracturadas o debilitadas.
- Puede originar acumulaciones de fragmentos y detritos en la base del talud.
- Es frecuente en zonas montañosas y en taludes de carreteras, donde los cortes realizados durante la construcción pueden modificar las condiciones naturales de estabilidad del terreno.

Las caídas son comunes en zonas montañosas y en taludes de carreteras, donde la excavación altera la estabilidad natural del terreno (Highland & Bobrowsky, 2008)

Figura 2: *Caída de Rocas*



Nota: La figura representa el movimiento en masa como es Caída de Rocas. Tomado de (Highland & Bobrowsky, 2008)

Vuelcos

Los vuelcos corresponden a un tipo de movimiento en masa en el que bloques de roca o columnas de material se inclinan progresivamente hacia adelante hasta perder su equilibrio y girar alrededor de un punto o eje de apoyo, principalmente por la acción de la gravedad.

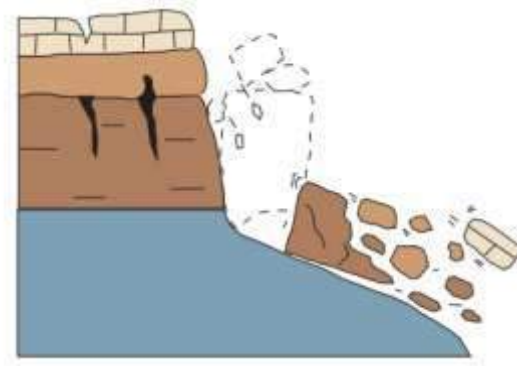
Este fenómeno suele presentarse en macizos rocosos donde existen fracturas verticales, diaclasas o planos de debilidad que facilitan la separación de los bloques. Estas discontinuidades estructurales permiten que los fragmentos rocosos se desestabilicen y comiencen a rotar hacia el exterior de la pendiente.

Características

- Se caracteriza por un movimiento rotacional hacia adelante del material.
- Es común en rocas estratificadas, fracturadas o con discontinuidades estructurales.
- Puede evolucionar hacia otros tipos de movimientos en masa, como caídas o deslizamientos.

Se observa con frecuencia en taludes de carreteras, acantilados y áreas montañosas, especialmente donde las capas geológicas presentan inclinaciones desfavorables (Cruden & Varnes, 1996)

Figura 3: Esquema de Volcamiento o Inclinación



Nota: Tomado de (Highland & Bobrowsky, 2008b)

Deslizamientos

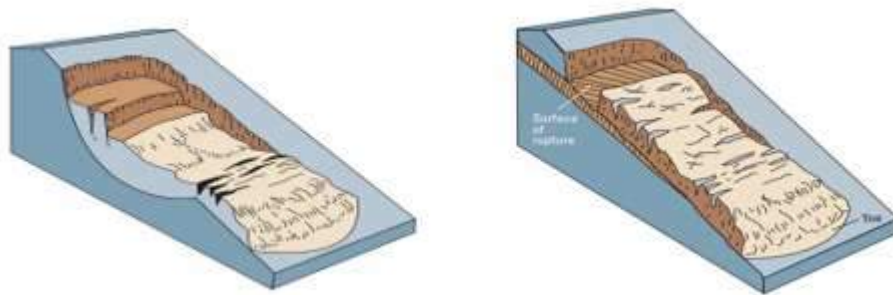
Los deslizamientos corresponden a un tipo de movimiento en masa en el cual una masa de suelo, roca o una mezcla de ambos se desplaza ladera abajo a lo largo de una superficie de ruptura o plano de deslizamiento bien definido. Durante este proceso, el material suele conservar cierta cohesión mientras se moviliza, diferenciándose de otros movimientos en masa donde el material se comporta de manera más fluida.

Este fenómeno es considerado uno de los procesos de inestabilidad de laderas más comunes en regiones montañosas, donde factores como la pendiente, las condiciones geológicas, la presencia de agua y las actividades humanas pueden favorecer la pérdida de estabilidad del terreno.

Clases de Deslizamientos

- Deslizamientos Rotacionales
- Deslizamientos Traslacionales (Cruden & Varnes, 1996)

Figura 4: Deslizamiento Rotacional y Traslacional



Nota: Figura extraída de (Highland & Bobrowsky, 2008b)

Flujos

Son movimientos de tipo viscoso, la mayoría de los cuales involucra mezclas de agua y materiales sueltos, los cuales se desplazan lenta o rápidamente a lo largo de canales o depresiones naturales o artificiales generalmente angostas, provocando distintos tipos y grados de devastación. (Lario & Bardají, 2017)

Principales tipos de flujos

Flujo de detritos (Debris flow)

Se caracteriza por el desplazamiento rápido de una mezcla compuesta por agua, fragmentos de roca, suelo y otros sedimentos, que generalmente se moviliza a través de quebradas o canales naturales.

Flujo de lodo (Mudflow)

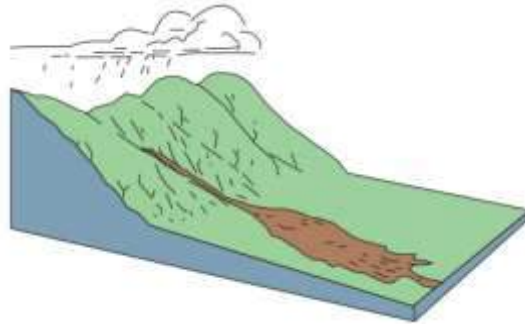
Consiste en el movimiento de materiales finos altamente saturados, como arcillas y limos, que al mezclarse con agua adquieren una consistencia fluida.

Flujo de tierra (Earth flow)

Se trata de un desplazamiento generalmente más lento, en el que participan materiales finos saturados que se deforman gradualmente mientras se mueven ladera abajo.

En general, los flujos representan un riesgo significativo, ya que pueden desplazarse con gran rapidez y poseen una elevada capacidad de transporte de sedimentos, lo que aumenta su potencial destructivo en las áreas afectadas. (Hungry et al., 2014)

Figura 5: Esquema de Flujo de escombros



Nota: Extraída de (Highland & Bobrowsky, 2008b)

Reptación o Creep

La reptación es un tipo de movimiento en masa caracterizado por el desplazamiento muy lento del suelo a lo largo de una ladera, producido de forma progresiva por la acción de la gravedad. Este proceso ocurre de manera gradual y, debido a su baja velocidad, puede desarrollarse durante largos periodos sin ser fácilmente perceptible.

Generalmente, la reptación se origina por cambios repetitivos en el volumen del suelo, causados por procesos como la expansión y contracción asociados a variaciones de humedad y

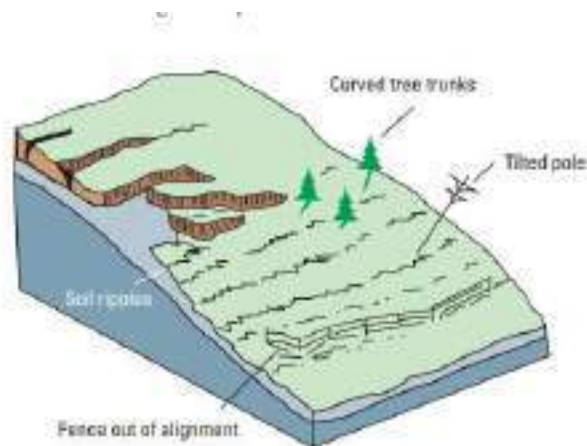
temperatura. Estos cambios provocan pequeños desplazamientos de las partículas del suelo que, acumulados con el tiempo, generan un movimiento descendente del terreno.

Características principales

- Presenta una velocidad muy baja, generalmente del orden de milímetros o pocos centímetros por año.
- Se relaciona con procesos de expansión y contracción del suelo, ocasionados por cambios en la humedad o temperatura.
- Puede provocar la inclinación gradual de árboles, postes, cercas o pequeñas estructuras ubicadas sobre la ladera.

Aunque su avance es lento, este proceso puede debilitar progresivamente la estabilidad de las pendientes, contribuyendo a la ocurrencia de otros movimientos en masa a largo plazo. (Selby, 1993)

Figura 6: Esquema de Procesos de Reptación de Suelos



Nota: Imagen extraída de (Highland & Bobrowsky, 2008b)

2.3.3 Concepto de Deslizamiento

Son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura, con frecuencia, la formación de grietas transversales es la

primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupara el escarpe principal. (Alcántara Ayala, 2000)

Definidos como el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra por una pendiente, pueden ser provocados por diversos estímulos externos, como lluvias intensas, temblores sísmicos, cambios en el nivel del agua, olas de tormenta o erosión fluvial rápida que causan un rápido aumento de la tensión de corte o una disminución de la resistencia al corte de los materiales que forman la pendiente. (Dai, Lee, & Ngai, 2002)

Los deslizamientos de tierra son movimientos de masa a través de pendientes, que pueden darse por diferentes factores de susceptibilidad que alteran las condiciones de estabilidad de la ladera, como consecuencia de este tenemos pérdida materiales, económicas, humanas, ambientales y bloqueo de vías de comunicación.

2.3.4 Partes de un Deslizamiento

Un deslizamiento corresponde al movimiento de una masa de suelo o roca que se desplaza pendiente abajo debido a la acción de la gravedad el tipo de movimiento presenta una serie de componentes morfológicos que permiten identificar su estructura y dinámica. A continuación, se describen las principales partes que conforman un deslizamiento típico.

Cabeza del deslizamiento.

Es la zona superior del material que se ha desplazado este representa el límite inicial de la masa en movimiento; sin embargo, no siempre coincide con la parte más alta del talud. Por encima de esta zona se localiza la corona del deslizamiento.

Cima.

Corresponde al punto más elevado de la cabeza del deslizamiento para este sector se establece el contacto entre el material que ha sufrido perturbación y el escarpe principal generado por el movimiento.

Corona.

El área situada inmediatamente por encima del escarpe principal corresponde a la corona del deslizamiento, en primer lugar, esta zona se caracteriza porque el terreno suele mantenerse relativamente estable o con escasa alteración. Además, el material presente no ha participado directamente en el desplazamiento de la masa. Por lo tanto, se considera una parte del talud que conserva, en gran medida, sus condiciones originales.

Escarpe principal.

Se trata de una superficie empinada que delimita la parte posterior del deslizamiento, se forma como resultado del desplazamiento del material y marca el límite superior del área afectada. La prolongación de esta superficie hacia el interior del terreno constituye la superficie de falla.

Escarpes secundarios.

Son superficies inclinadas que aparecen dentro de la masa desplazada debido a deformaciones internas o movimientos diferenciales del material, así como en un mismo deslizamiento pueden desarrollarse varios escarpes secundarios.

Superficie de falla o superficie de rotura.

Es la zona que separa el material que se desplaza del que permanece estable, el material localizado por encima de esta superficie experimenta movimiento, mientras que el que se

encuentra por debajo permanece sin desplazarse. En algunos tipos de movimientos en masa esta superficie puede no ser claramente definida.

Pie de la superficie de falla.

Corresponde al punto donde la superficie de rotura intercepta la superficie original del terreno y en ciertos casos esta zona puede estar cubierta por el material desplazado.

Base.

Es el sector que queda cubierto por los materiales movilizados y que se ubica por debajo del pie de la superficie de falla.

Punta o ña del deslizamiento.

Representa el extremo más distal del depósito del material desplazado, siendo el punto más alejado respecto a la cima del deslizamiento.

Cuerpo principal del deslizamiento.

Está conformado por el volumen de material que se ha movilizado y que se encuentra por encima de la superficie de falla, en algunos casos pueden identificarse varios cuerpos dentro de un mismo proceso de deslizamiento.

Superficie original del terreno.

Hace referencia al relieve existente antes de que ocurriera el movimiento en masa.

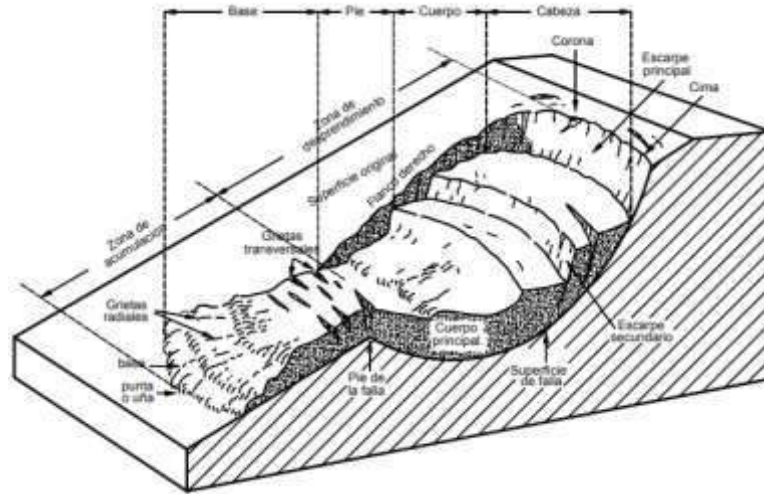
Flancos o costados.

Son los límites laterales del deslizamiento para su descripción se pueden identificar el flanco derecho y el flanco izquierdo, considerando la observación desde la corona hacia el pie del deslizamiento.

En la descripción de estos elementos es recomendable utilizar referencias geográficas como norte, sur, este y oeste; no obstante, cuando se emplean los términos derecha e izquierda,

estos deben definirse tomando como referencia la dirección del movimiento desde la corona hacia la parte inferior del deslizamiento. (Suárez, 2009)

Figura 7: Partes que conforman un Deslizamiento



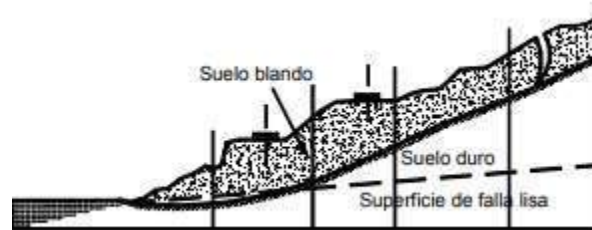
Nota: Imagen tomada de (Suárez, 2009)

2.3.5 Tipos de Deslizamientos

Deslizamiento Traslacional

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia afuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada, con pequeños movimientos de rotación. Comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que esta quede sobre la superficie del terreno. (IGME, 1987)

Figura 8: Deslizamiento Traslacional

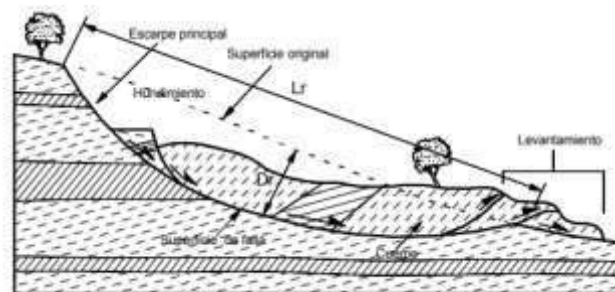


Nota: Imagen extraída de (Suárez, 2009)

Deslizamiento Rotacional:

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava, tiene una naturaleza o menos rotacional, alrededor de un eje dispuesto paralelamente al talud. La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura, inclinación del talud, etc. (IGME, 1987)

Figura 9: *Deslizamiento Rotacional*



Nota: Imagen extraída de (Suárez, 2009)

2.3.6 Causas de los Deslizamientos

Los deslizamientos se producen cuando la fuerza de gravedad que actúa sobre los materiales de una ladera supera la resistencia que mantiene estable el suelo o la roca, esta situación puede generarse por la influencia de diversos factores naturales y antrópicos que modifican el equilibrio del terreno (Cruden & Varnes, 1996).

Entre los factores naturales más importantes se encuentran las precipitaciones intensas, los sismos, la pendiente del terreno y las características geológicas y las lluvias prolongadas que incrementan la humedad del suelo, lo que reduce su resistencia y aumenta el peso del material, facilitando su desplazamiento ladero abajo (Highland & Bobrowsky, 2008b). De igual manera,

los sismos pueden generar vibraciones que disminuyen la estabilidad de los taludes y provocan fallas en el terreno.

Por otro lado, las actividades humanas también pueden contribuir a la ocurrencia de deslizamientos. La deforestación, la construcción de carreteras y los cortes de taludes alteran las condiciones naturales de las pendientes y pueden debilitar la estructura del suelo, incrementando la probabilidad de inestabilidad (Hungar et al., 2014).

En consecuencia, los deslizamientos generalmente ocurren por la combinación de varios factores que actúan de manera simultánea sobre una ladera, modificando su equilibrio natural y favoreciendo el movimiento del material pendiente abajo.

2.3.7 Consecuencias de los Deslizamientos

Los deslizamientos generan diversos efectos negativos en el ambiente, la infraestructura y la población. Cuando ocurre el movimiento de una masa de suelo o roca en una ladera, el material desplazado puede destruir viviendas, carreteras, puentes y otras obras civiles ubicadas en su trayectoria, ocasionando pérdidas económicas importantes y afectando el desarrollo de las actividades humanas (Highland & Bobrowsky, 2008b).

Otra consecuencia relevante es el impacto sobre la seguridad de las personas, en muchas regiones montañosas, los deslizamientos representan una amenaza significativa para las comunidades asentadas en laderas o zonas cercanas a taludes inestables, ya que estos eventos pueden provocar víctimas, desplazamiento de población y daños a la propiedad (Hungar et al., 2014).

Desde el punto de vista ambiental, los deslizamientos también alteran las características del paisaje y los ecosistemas, el movimiento del material puede eliminar la cobertura vegetal, modificar la forma del relieve y generar acumulaciones de sedimentos en ríos o quebradas, lo

que puede provocar cambios en el drenaje natural e incluso incrementar el riesgo de inundaciones en áreas cercanas (Selby, 1993).

En conjunto, estos efectos evidencian que los deslizamientos constituyen un proceso natural con importantes repercusiones sociales, económicas y ambientales, por lo que su estudio resulta fundamental para la planificación territorial y la gestión del riesgo en zonas susceptibles.

2.3.8 Factores de Susceptibilidad

Los factores de susceptibilidad se refieren al conjunto de características naturales o condiciones del terreno que influyen en la propensión de una zona a presentar deslizamientos, sin que necesariamente estos fenómenos se encuentren activos en el momento del análisis. Estos factores están asociados principalmente a las propiedades físicas, geológicas y geomorfológicas del territorio, las cuales determinan el grado de estabilidad o inestabilidad de las laderas. En este sentido, la susceptibilidad representa la probabilidad espacial de ocurrencia de deslizamientos en función de las condiciones del medio físico (Varnes, 1978)

De acuerdo con la literatura científica, los factores de susceptibilidad corresponden a variables condicionantes del terreno que influyen en la estabilidad de las pendientes, tales como la pendiente del relieve, la litología, la estructura geológica, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el uso del suelo, la geomorfología y las condiciones hidrogeológicas. Estos elementos controlan procesos como la infiltración de agua, la resistencia al corte del suelo y la cohesión de los materiales, aspectos que inciden directamente en la estabilidad de las laderas (Selby, 1993).

Asimismo, los estudios de susceptibilidad a deslizamientos se basan en la identificación y análisis de dichos factores condicionantes con el fin de determinar las áreas más propensas a experimentar movimientos en masa. En este contexto, la susceptibilidad no implica la ocurrencia inmediata del fenómeno, sino que expresa la predisposición del terreno frente a la acción de

factores desencadenantes como precipitaciones intensas, sismos o actividades antrópicas (Highland & Bobrowsky, 2008b).

Por lo tanto, el análisis de los factores de susceptibilidad constituye una herramienta fundamental en la evaluación del peligro por deslizamientos, ya que permite identificar sectores potencialmente inestables y generar información clave para la planificación territorial, la gestión del riesgo y la implementación de medidas de prevención en zonas vulnerables. Este tipo de análisis es especialmente relevante en regiones montañosas, donde las características geomorfológicas y climáticas favorecen la ocurrencia de procesos de remoción en masa (Hungry et al., 2014)

2.3.9 Factores Condicionantes

Los deslizamientos son procesos de remoción en masa que ocurren cuando una ladera pierde su equilibrio y una masa de suelo, roca o detritos se desplaza pendiente abajo por efecto de la gravedad, no obstante, su ocurrencia no depende únicamente de un evento repentino, sino de un conjunto de condiciones previas del terreno que favorecen la inestabilidad, a estas condiciones se las denomina factores condicionantes, porque preparan el medio físico para que, ante la acción de un detonante como la lluvia intensa o un sismo, se produzca la falla. En los estudios de susceptibilidad, estos factores representan los controles geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, ambientales y antrópicos que influyen en la distribución espacial de los deslizamientos. La susceptibilidad, en ese sentido, se entiende como la probabilidad espacial de ocurrencia de deslizamientos a partir de dichos factores condicionantes, sin considerar todavía la frecuencia temporal del evento detonante.(Arabameri et al., 2019)

Pendiente

La pendiente es uno de los factores condicionantes más importantes, debido a que controla directamente la componente de la gravedad que actúa sobre los materiales de una ladera, a medida que aumenta la inclinación del terreno se incrementan los esfuerzos cortantes y disminuye el margen de estabilidad, especialmente en materiales meteorizados o poco consolidados. Por esta razón, la pendiente suele aparecer de forma recurrente entre las variables con mayor poder explicativo en los modelos de susceptibilidad, no obstante, su influencia no debe interpretarse de forma aislada, ya que pendientes moderadas también pueden fallar cuando coinciden litologías débiles, saturación hídrica o intervención antrópica.(Yu et al., 2023).

En laderas andinas, la pendiente adquiere una relevancia aún mayor por la presencia de relieves escarpados, valles encajonados y carreteras construidas mediante cortes pronunciados. En estos contextos, la geometría del talud condiciona tanto la infiltración como la erosión superficial y la remoción del material, lo que incrementa la propensión al deslizamiento, la pendiente no solo expresa una condición natural del relieve, sino también una variable estrechamente vinculada a la modificación humana del terreno(Bravo López et al., 2023)

Geología

La geología constituye un factor condicionante esencial porque define la naturaleza del material sobre el que se desarrolla la ladera como la litología, el grado de meteorización, la fracturación, la estructura interna y las discontinuidades controlan propiedades geotécnicas fundamentales como la cohesión, el ángulo de fricción interna, la permeabilidad, la resistencia al corte y la capacidad de deformación, en consecuencia, la respuesta de una ladera frente a la gravedad y al agua depende, en gran medida, del tipo de roca o suelo que la compone(Cobos Mora et al., 2023).

Índice de Humedad Topográfica

El índice de humedad topográfica, conocido como TWI por sus siglas en inglés, es una variable derivada del modelo digital de elevación que expresa la tendencia del terreno a concentrar y retener agua, el TWI cuantifica la variación de la humedad del suelo controlada por la topografía y suele utilizarse como una variable de humedad edáfica, su importancia en estudios de deslizamientos radica en que la acumulación de agua incrementa la presión de poros, disminuye la resistencia efectiva del suelo y favorece la inestabilidad de las laderas. (Kopecký et al., 2021)

Los valores altos de TWI suelen asociarse con zonas cóncavas, sectores de convergencia de flujo y áreas con drenaje deficiente, donde el terreno presenta mayor probabilidad de saturación. Esta condición favorece el reblandecimiento de los materiales y el desarrollo de superficies de deslizamiento, especialmente cuando coincide con pendientes pronunciadas o geologías poco competentes. (Cobos Mora et al., 2023)

2.3.10 Factores Detonantes

Precipitación

La precipitación constituye uno de los detonantes más frecuentes de deslizamientos, especialmente en regiones montañosas y tropicales ya que la infiltración de agua en el suelo provoca un aumento del contenido de humedad y de la presión de poros, lo que reduce la resistencia al corte de los materiales y favorece la pérdida de estabilidad de la ladera, cuando el agua se acumula en los poros del suelo o en fracturas de la roca, disminuye la fricción entre las partículas y se facilita el movimiento de la masa por efecto de la gravedad (Guzzetti et al., 2008)). Este proceso se intensifica durante lluvias prolongadas o eventos de alta intensidad, los cuales pueden saturar rápidamente los suelos y generar condiciones críticas de inestabilidad.

Además, la precipitación influye indirectamente en otros procesos geomorfológicos que favorecen la inestabilidad de las laderas, como la erosión superficial, la generación de escorrentía concentrada y la socavación del pie del talud, estos procesos contribuyen a debilitar progresivamente el terreno hasta alcanzar un estado crítico de equilibrio como consecuencia, la precipitación no solo actúa como detonante inmediato, sino también como un agente que acelera el deterioro estructural de las laderas a lo largo del tiempo.

Sismicidad

La sismicidad es otro factor detonante relevante en la ocurrencia de deslizamientos, especialmente en regiones tectónicamente activas ya que generan vibraciones y aceleraciones en el terreno que incrementan los esfuerzos cortantes dentro del talud, pudiendo superar la resistencia del material y provocar la ruptura de la ladera, durante un terremoto, la energía liberada se transmite a través del suelo y las rocas, produciendo desplazamientos que pueden desencadenar deslizamientos, caídas de rocas o avalanchas de detritos (Keefer, 1984).

La sismicidad es otro factor detonante relevante en la ocurrencia de deslizamientos, especialmente en regiones tectónicamente activas ya que generan vibraciones y aceleraciones en el terreno que incrementan los esfuerzos cortantes dentro del talud, pudiendo superar la resistencia del material y provocar la ruptura de la ladera, durante un terremoto, la energía liberada se transmite a través del suelo y las rocas, produciendo desplazamientos que pueden desencadenar deslizamientos, caídas de rocas o avalanchas de detritos (Keefer, 1984).

2.3.11 Métodos de Evaluación de Susceptibilidad

La evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos tiene como objetivo identificar las zonas del territorio con mayor probabilidad de presentar movimientos en masa a partir del análisis de los factores condicionantes del terreno. Este tipo de análisis es fundamental para la

gestión del riesgo y la planificación territorial, ya que permite comprender la relación entre las características del medio físico y la ocurrencia de deslizamientos. En la literatura científica, los métodos utilizados para este propósito se agrupan principalmente en métodos heurísticos, métodos estadísticos, métodos determinísticos y métodos apoyados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), cada uno con diferentes enfoques conceptuales y requerimientos de información(Reichenbach et al., 2018)

Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos se basan en la interpretación experta del terreno y en el conocimiento geomorfológico del investigador para evaluar la influencia de los factores condicionantes en la ocurrencia de deslizamientos, variables como la pendiente, la geología, la cobertura del suelo y la proximidad a drenajes se ponderan según su importancia relativa en la generación de inestabilidad. Posteriormente, estos factores se combinan mediante técnicas de análisis multicriterio para elaborar mapas de susceptibilidad, aunque estos métodos pueden presentar cierto grado de subjetividad, son ampliamente utilizados en estudios preliminares o en áreas donde existe limitada información histórica de deslizamientos(Van Westen, 1997)

Métodos Estadísticos

Los métodos estadísticos utilizan relaciones matemáticas entre la distribución espacial de deslizamientos y los factores condicionantes del terreno, es necesario contar con un inventario de deslizamientos que permita identificar patrones de ocurrencia y correlacionarlos con variables ambientales, las técnicas más empleadas se encuentran el análisis de frecuencia, la regresión logística y los modelos probabilístico, estos métodos permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos de manera objetiva, ya que se fundamentan en datos observados y en análisis cuantitativos(Guzzetti et al., 2006).

Métodos Determinísticos

Los métodos determinísticos se basan en principios de la mecánica de suelos y rocas para evaluar la estabilidad de las laderas mediante modelos físicos. En este enfoque se analizan las fuerzas que actúan sobre el talud, comparando las fuerzas que provocan el movimiento con aquellas que lo resisten. El resultado se expresa generalmente mediante el factor de seguridad, el cual indica si una ladera se encuentra estable o inestable. Debido a que requieren información geotécnica detallada, estos métodos suelen aplicarse en estudios de ingeniería y análisis de estabilidad de taludes a escala local (Aleotti & Chowdhury, 1999).

Métodos Apoyados en Sistema de Información Geográfica (SIG)

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha permitido integrar múltiples variables ambientales y espaciales en el análisis de susceptibilidad a deslizamientos, lo que facilita la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de información geográfica, esto permite combinar diferentes factores condicionantes mediante modelos espaciales y generar mapas temáticos de susceptibilidad.

En la actualidad, los SIG se utilizan ampliamente para integrar modelos heurísticos, estadísticos o determinísticos dentro de un entorno digital, permitiendo el análisis simultáneo de variables como pendiente, geología, uso del suelo, precipitación, distancia a drenajes y topografía esta integración mejora la eficiencia del análisis y facilita la representación cartográfica de los resultados, lo que resulta fundamental para la planificación territorial y la gestión del riesgo (Fell et al., 2008).

Además, el uso de modelos digitales de elevación, imágenes satelitales y bases de datos geoespaciales ha incrementado la precisión de los estudios de susceptibilidad, gracias a estas herramientas, es posible analizar grandes áreas de manera sistemática y reproducible, lo que ha

convertido a los SIG en una de las plataformas más utilizadas en la investigación moderna sobre deslizamientos.

2.3.12 Método Mora y Vahrson

El método Mora-Vahrson es una metodología semicuantitativa utilizada para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos mediante la integración de factores condicionantes y factores detonantes del terreno, este método fue desarrollado por Mora y Vahrson en la década de 1990 con el objetivo de identificar áreas propensas a movimientos en masa a partir de la combinación de variables geomorfológicas, geológicas, hidrológicas y sísmicas. Su principal aplicación se encuentra en estudios regionales de susceptibilidad, donde permite analizar de manera sistemática las condiciones que favorecen la ocurrencia de deslizamientos (Mora & Vahrson, 1994)

El principio fundamental del método consiste en asignar valores o ponderaciones a diferentes factores que influyen en la estabilidad de las laderas, entre los factores condicionantes generalmente considerados se encuentran: pendiente del terreno, la geología o litología, la humedad del suelo y el uso o cobertura del suelo, mientras que entre los factores detonantes se incluyen principalmente la precipitación y la sismicidad cada variable recibe una clasificación según su grado de influencia en la generación de deslizamientos y posteriormente se integran mediante una ecuación que permite estimar el índice de susceptibilidad.

El resultado del método Mora-Vahrson se expresa a través de un índice de susceptibilidad a deslizamientos, el cual permite clasificar el territorio en diferentes categorías de peligro o susceptibilidad, generalmente baja, media, alta o muy alta, la clasificación facilita la elaboración de mapas temáticos que identifican las zonas con mayor predisposición a la inestabilidad del terreno por su estructura conceptual, el método puede aplicarse en combinación con herramientas

de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite integrar datos espaciales y mejorar la representación cartográfica de los resultados (Fell et al., 2008).

Una de las principales ventajas del método Mora-Vahrson es su capacidad para integrar diversos factores ambientales de forma sencilla, lo que lo convierte en una herramienta útil para estudios de susceptibilidad, especialmente en regiones montañosas donde la información geotécnica detallada puede ser limitada, por otro lado, al tratarse de un enfoque semi-empírico, los resultados dependen de la calidad de los datos utilizados y de la correcta asignación de ponderaciones a los factores analizados. A pesar de estas limitaciones, el método continúa siendo ampliamente empleado en investigaciones sobre deslizamientos y en evaluaciones preliminares de riesgo en diferentes regiones del mundo (Reichenbach et al., 2018)

El método Mora-Vahrson constituye una herramienta importante para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos, ya que permite integrar factores condicionantes y detonantes del terreno mediante un enfoque semicuantitativo ya que su aplicación facilita la identificación de áreas inestables y contribuye a la generación de mapas de susceptibilidad que apoyan la planificación territorial, la gestión del riesgo y la toma de decisiones en zonas propensas a movimientos en masa.

2.4 Marco Legal

Este marco da a gobiernos autónomos descentralizados municipales la responsabilidad de gestionar los riesgos de desastres, incluyendo la prevención y mitigación de deslizamientos, así como la planificación, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial. Por lo tanto, este trabajo de investigación contribuirá a que las autoridades locales puedan cumplir con estas competencias y garantizar la seguridad de la vía Chillanes-San José del Tambo, a través de la

identificación de los factores de susceptibilidad y la proposición de medidas de reducción del riesgo.

Este proyecto de investigación se sustenta en:

2.4.1 Constitución de la Republica del Ecuador

En este artículo menciona a la gestión de riesgos en el Ecuador el cual contiene varios artículos relevantes para este proyecto de investigación sobre los factores de susceptibilidad a deslizamientos.

Art. 389: Establece que el Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

- Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio
- ecuatoriano.
- Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
- Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
- Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.

- Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
- Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.
- Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo

Art. 390: Determina que los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Los niveles de gobierno se articularán en el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos. (CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2021)

2.4.2 Ley Orgánica de Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIRD)

La LOGIRD establece que la gestión del riesgo es un proceso continuo, sistemático y transversal que comprende la identificación, análisis, evaluación y reducción de los riesgos, así como la preparación y respuesta ante eventos adversos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2020).

Esta ley promueve un enfoque preventivo basado en el conocimiento del territorio, se relaciona directamente con el análisis de susceptibilidad desarrollado en la investigación.

La normativa dispone la obligatoriedad de incorporar la gestión del riesgo en los procesos de planificación territorial y sectorial, lo cual implica que estudios técnicos como el presente constituyen herramientas fundamentales para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial.

2.4.3 Ley de Seguridad Pública y del Estado

Art. 11: Establece que el Sistema de Seguridad Pública y del Estado tiene como objetivo garantizar la seguridad integral del Estado y de la ciudadanía, lo que incluye la prevención, protección, respuesta y recuperación ante riesgos y amenazas.

Art. 12: Señala que la gestión de riesgos es un componente esencial de la seguridad pública y del Estado, y que el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias es el ente rector y coordinador del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos. (LEY DE SEGURIDAD PUBLICA Y DEL ESTADO, 2023)

2.4.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Art. 140.- La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley. Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos sísmicos con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza.

La gestión de los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios, que de acuerdo con la constitución corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados municipales, se ejercerá con sujeción a la ley que regule la materia. Para tal efecto, los cuerpos de bomberos del país serán considerados como entidades adscritas a los gobiernos autónomos descentralizados municipales, quienes funcionarán con autonomía administrativa y financiera,

presupuestaria y operativa, observando la ley especial y normativas vigentes a las que estarán sujetos. (CODIGO ORGANICO ORGANIZACION TERRITORIAL, 2019)

2.4.5 Ley Orgánica del Sistema Nacional de Infraestructura Vial del Transporte Terrestre.

Art. 3.- Vías Terrestres. Las vías son las estructuras de diferentes tipos construidas para la movilidad terrestre de los vehículos y constituyen un esencial medio de comunicación que une regiones, provincias, cantones y parroquias de la República del Ecuador, cuya forma constitutiva contiene la plataforma de circulación que comprende todas las facilidades necesarias para garantizar la adecuada circulación, incluyendo aquella definida como derecho de vía y la señalización. El Reglamento General de esta Ley determinará su clasificación de acuerdo a su tipología, diseño, funcionalidad, dominio y uso. (LEY SISTEMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL, 2017)

Art. 12.- Planificación de la vialidad. El ministerio rector deberá aprobar el respectivo plan sectorial de infraestructura vial. En el caso de los gobiernos autónomos descentralizados que tienen la competencia en infraestructura vial, su planificación constará en sus instrumentos de ordenamiento territorial. En dichos planes se incluirá la infraestructura vial existente y aquella proyectada, en la que se deberá considerar espacios para la construcción de ciclovías cuando las condiciones técnicas lo permitan. Los propietarios de los terrenos afectados con el trazado vial no podrán construir o sembrar cultivos de ciclo largo, salvo autorización expresa de la autoridad competente. Cualquier sembradío o construcción posterior a la inscripción en el Registro de la Propiedad y la notificación de este gravamen al propietario no será indemnizada en el caso de declaratoria de utilidad pública y posterior expropiación. Durante el proceso de elaboración de los respectivos planes se contará con la participación de los niveles de gobierno sobre los que

transcurran las vías proyectadas. (LEY SISTEMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL, 2017)

2.4.6 Reglamentario y Técnico

El Reglamento a la Ley Orgánica de Gestión Integral del Riesgo de Desastres establece procedimientos técnicos para la identificación, evaluación y reducción del riesgo, promoviendo el uso de herramientas científicas y tecnológicas para el análisis territorial.

Asimismo, las directrices emitidas por la Secretaría de Gestión de Riesgos establecen lineamientos para la evaluación de amenazas naturales, incluyendo deslizamientos, lo cual respalda metodológicamente el desarrollo de estudios de susceptibilidad (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

2.5 Marco Conceptual

Amenaza: 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 (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Ángulo de fricción: Ángulo máximo en el que un cuerpo permanece inmóvil sobre un plano inclinado antes de comenzar a deslizarse. Representa la relación entre el ángulo de inclinación y el coeficiente de fricción estática entre el cuerpo y la superficie (Abdelbary & Chang, 2023).

Cohesión: Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son

las partículas del suelo, es una propiedad de los suelos finos; en suelos que no tienen partículas finas (granulares) la cohesión es cero (WHITMAN, 2014).

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

Deslizamiento: Movimientos de masas de suelo o roca que se desplazan sobre una o varias superficies inestables en dirección de la pendiente del talud; la masa generalmente se transporta en conjunto, con una velocidad que puede ser variable, alcanzando un volumen de millones de metros cúbicos de material deslizado (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018)

Estabilidad de talud: se define como el equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes, se evalúan en condición estática (equilibrio entre fuerzas) y pseudoestática (intervención del movimiento dinámico) (Camacho, 2021)

Factor de seguridad: Se define como la relación entre fuerzas/momentos resistentes y fuerzas/momentos desequilibrantes. El factor de seguridad se define como el factor por el cual debe reducirse la resistencia cortante del suelo para llevar a la masa potencialmente inestable a un equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento previamente seleccionada (Torres, 2021).

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

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

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

Software Geo5: Está diseñado para resolver diferentes problemas geotécnicos, desde los más básicos (verificación de cimentaciones, muros, estabilidad de taludes), hasta programas altamente especializados (análisis de los túneles, daños debido a la construcción de un túnel, estabilidad de roca). Cada programa GEO5 resuelve un tipo definido de estructura, por lo que el cliente puede adquirir sólo aquellos que necesita (GEO 5 Perú, 2025)

Software Global Mapper: Es una potente y asequible aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) que combina una gama completa de soluciones informáticas para el procesamiento de datos espaciales y permite acceder a un sin número de formatos empleados en el mundo del CAD, SIG e ingeniería (Global Mapper, 2025)

Software GeoTable: Clasifica masas rocosas y provee recomendaciones para excavaciones. GEOTABLE calcula índices como RMR, RQD, Q de Barton y GSI usando datos de entrada. Luego provee un reporte con la clase de roca, descripciones y recomendaciones

Resiliencia: Capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus

estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018)

Susceptibilidad: es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento peligroso. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018)

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

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es principalmente descriptiva y exploratoria, ya que se busca analizar y evaluar el nivel de afectación por movimientos en masa en un periodo determinado.

Se considera descriptiva porque permite identificar y detallar las características del terreno como las condiciones geológicas, pendiente, humedad, precipitación y sismicidad, así como la susceptibilidad a deslizamientos sin intervenir ni modificar las variables del entorno.

A su vez es exploratoria debido a que se enfoca en el reconocimiento inicial del área de estudio, lo que permite identificar zonas críticas y factores asociados a la ocurrencia de deslizamientos, especialmente en contextos donde la información previa es limitada o requiere ser complementada mediante observación directa y análisis técnico.

3.2 Enfoque de la investigación

La presente investigación cuenta con un enfoque de estudio mixto, es decir cualitativo y cuantitativo, estos dos métodos pueden ser utilizados ya que permiten plantear de mejor manera los objetos de la investigación en este caso determinar los factores de susceptibilidad a deslizamientos de la vía.

Cualitativo ya que se describirá las características estables e inestables de los taludes de la vía Chillanes – San José del Tambo y además se demuestra la vulnerabilidad del sector para posteriormente plantear las medidas de reducción del riesgo ante deslizamientos en la vía de estudio.

Cuantitativo para conocer los valores necesarios de: textura de suelo, ángulo de fricción, densidad real del suelo y pendiente, así como también los valores de las zonas de acumulación para posteriormente con los resultados elaborar el modelado.

3.3 Métodos de Investigación

La presente investigación se llevó a cabo empleando el enfoque inductivo, según Sampieri, se basa a partir de observaciones y datos puntuales que garantiza la objetividad, precisión y reproducibilidad de los resultados. Este método permite analizar un fenómeno en específico mediante la recopilación de información directa del entorno estudiado, con el fin de identificar patrones, establecer relaciones y generar conocimientos aplicables a contextos similares. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Para este análisis, el método inductivo resulta apropiado, dado que la investigación presenta un enfoque descriptivo orientado al análisis de los deslizamientos de la vía Chillanes – San José del Tambo. Se realizó una visita de campo al área de estudio, donde se tomó muestras de suelo para la obtención de datos mediante un ensayo granulométrico, con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo 1.

3.4 Instrumentos de Recolección de Información

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

Mediante la observación in situ, se obtuvo información fundamental para analizar la dinámica del evento y comprobar con exactitud los datos obtenidos mediante el DEM generado a partir de la ortofoto e imagen satelital.

A través de la revisión bibliográfica, se recopiló información proveniente de fuentes secundarias, tales como artículos científicos, repositorios y libros. Este procedimiento se llevó a cabo a través de la búsqueda y selección de términos clave relacionados con la amenaza por deslizamientos, lo que permitió obtener información pertinente para el desarrollo de la investigación.

Se realizó una visita a campo orientado a identificar las zonas de mayor susceptibilidad dentro del área de estudio, la cual se tomaron cinco muestras de suelo para su respectivo análisis, dichos resultados fueron registrados en una tabla de Excel, lo que facilitó la determinación de la tipología del suelo y del material rocoso existentes. De igual manera se empleó el software Global Mapper, para la elaboración de cinco perfiles geotécnicos usando la herramienta Path Profile y así llevarlo al software GEO5 para el modelamiento del talud.

Mediante la aplicación de ArcGis se efectuó la elaboración de mapas y el análisis espacial de la información recopilada logrando una visualización precisa del área de estudio.

3.5 Técnicas de análisis y procesamiento de la Información

3.5.1 Objetivo 1

Para el desarrollo del objetivo 1 *Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo*, se elaboraron cinco mapas de las zonas susceptibles utilizando el software ArcGis. Para ello se realizó un vuelo fotogramétrico mediante dron, durante el cual se capturaron imágenes que posteriormente fueron procesadas en Agisoft Metashape. A partir de este procesamiento, se obtuvieron ortofotos georreferenciadas y un Modelo Digital de Elevación (DEM) de alta resolución, lo que permitió la obtención de perfiles topográficos con mayor precisión. Dichos perfiles fueron procesados en el software Global Mapper y posteriormente exportados a GEO5 para la modelación de los taludes aplicando el método de Bishop. La evaluación de estabilidad se realizó considerando dos escenarios: uno sin la inclusión de la aceleración sísmica y otro incorporando la aceleración sísmica, con lo cual se determinó el factor de seguridad (FS) como indicador de grado de estabilidad de los taludes analizados.

Ensayo Granulométrico

Como parte del análisis geotécnico, se llevó a cabo el ensayo granulométrico con el propósito de determinar la distribución de tamaños de partículas y el tipo de suelo predominante en el área de estudio. Para ello, se realizó una salida a campo en la que se recolectaron muestras de suelo por cada zona, las muestras fueron secadas hasta alcanzar masa constante y luego pesadas para obtener su masa inicial.

En análisis granulométrico se efectuó mediante el método de tamizado, empleando una serie de tamices estándar (1", ¾", ½", 3/8", N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100, N°200), los cuales fueron organizados de forma decreciente según la abertura. El proceso de tamizado se realizó utilizando un vibrador mecánico durante 8 minutos, garantizando la adecuada separación de partículas sin generar degradación del material.

Una vez concluido el tamizado, se procedió al pesaje del material retenido en cada tamiz, con estos datos se calcularon los parámetros granulométricos, tales como el porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa, empleando relaciones como:

- $\text{Porcentaje retenido} = (\text{Peso retenido} / \text{Peso total de la muestra}) * 100$
- $\text{Porcentaje retenido acumulado} = \text{suma progresiva de los porcentajes retenidos}$
- $\text{Porcentaje que pasa} = 100 - \text{porcentaje retenido acumulado}$

Los resultados fueron organizados en tablas granulométricas y procesados en una plantilla de Excel diseñada para la generación automática de curvas granulométricas, esto permitió identificar la distribución de tamaños y clasificar el suelo conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), determinado la predominancia de arenas, limos y arcillas.

Características de la Curva Granulométrica

1) Coeficiente de uniformidad (Cu):

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

Cu > 4 Bien gradado

1 < Cu < 3 Pobre gradado

2) Coeficiente de Curvatura (Cc):

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

1 < Cu < 3 Bien gradado

De manera complementaria para la caracterización del macizo rocoso se empleó el Martillo de Schmidt durante la salida a campo, realizando un total de 10 golpes sobre la superficie de la roca. Los valores obtenidos permitieron estimar la resistencia del material rocoso y luego fueron procesados en el software Geotable para su respectivo análisis.

3.5.2 Objetivo 2

En el caso del objetivo 2 *Caracterizar los factores de susceptibilidad que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo*, se obtuvo el DEM de SIGTIERRAS e información del Instituto Geofísico para obtener datos sobre los sismos, las isoyetas de precipitación, estas fueron elaboradas a partir de información climática global proveniente del conjunto de datos WorldClim versión 2, al igual que se realizó el modelado de la hoja geológica para obtener el mapa de geología, en conjunto con ArcGis y la metodología de Mora - Varhson se realizó los respectivos procedimientos para obtener el mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de la vía.

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

- Pendiente
- Geología
- Índice de Humedad Topográfica
- Precipitación
- Sismología

La metodología permitió calificar los niveles de susceptibilidad en: muy alto, alto, medio, bajo, es útil para construir un modelo jerárquico y saber cuáles son los niveles de susceptibilidad del área de estudio.

Fórmula

$$IS=(P\times G\times H) \times (Pr+S)$$

La siguiente formula ayudo a obtener el Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos.

3.5.3 Objetivo 3

Para dar cumplimiento al objetivo 3 *Determinar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de deslizamientos en la zona de estudio, mediante el análisis e integración de la caracterización*, se fundamentó en la cuantificación espacial en donde se realizó las respectivas reclasificaciones de los factores condicionantes y desencadenantes para así obtener las hectáreas y saber cuánto está en niveles altos y muy altos, para esto se utilizó la herramienta de Tabulate Area en ArcGis, para así obtener los respectivos porcentajes de cada factor y saber cuál es el factor más influyente en el lugar de estudio.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

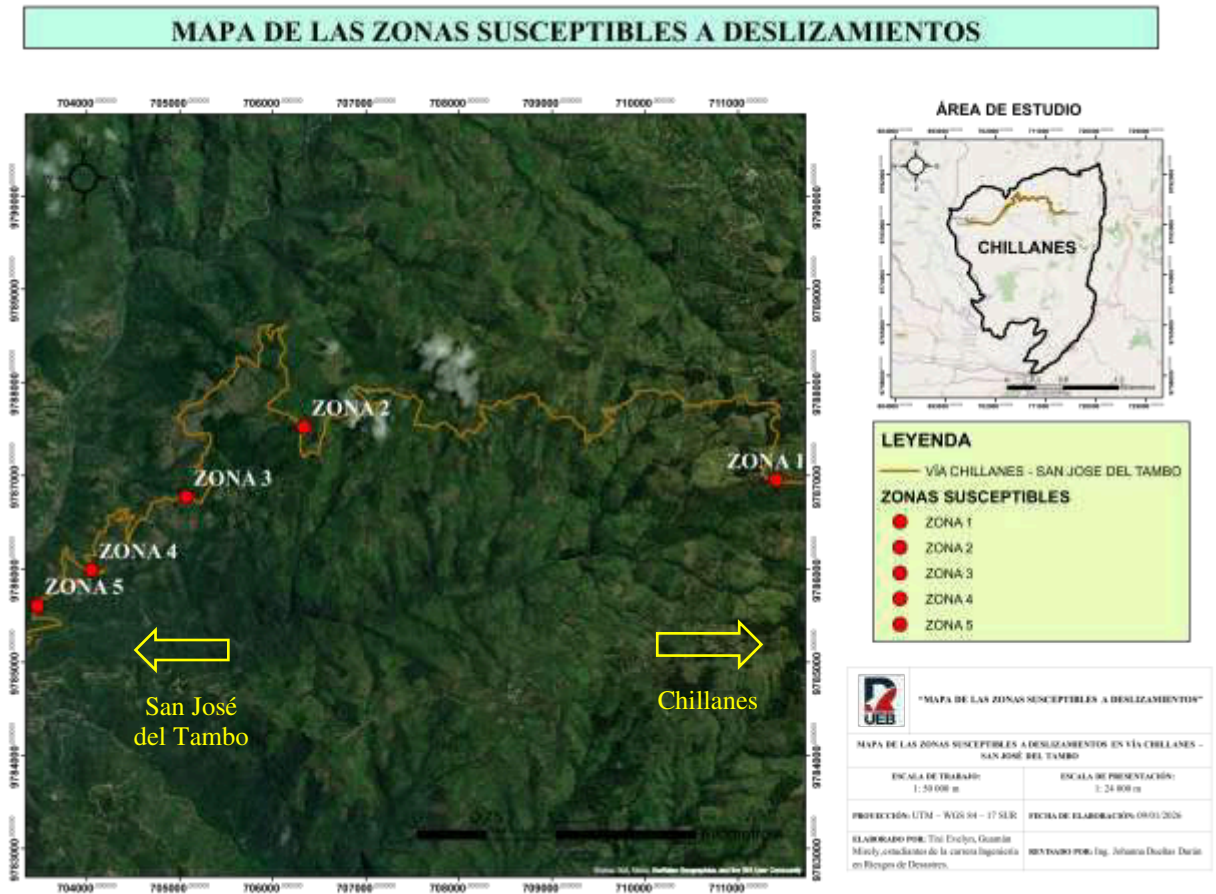
4.1.1 Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.

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

- **Mapa de las zonas susceptibles a Deslizamientos**

Para obtener el resultado del primer objetivo, a lo largo de la vía se identificaron cinco zonas dentro del área de estudio consideradas como puntos críticos por presentar evidencias claras de inestabilidad y mayor susceptibilidad a deslizamientos. La identificación se realizó exclusivamente mediante la observación directa en campo, basándose en evidencias visibles de fragilidad, sin considerar el análisis de variables adicionales.

Figura 10: Mapa zonas susceptibles

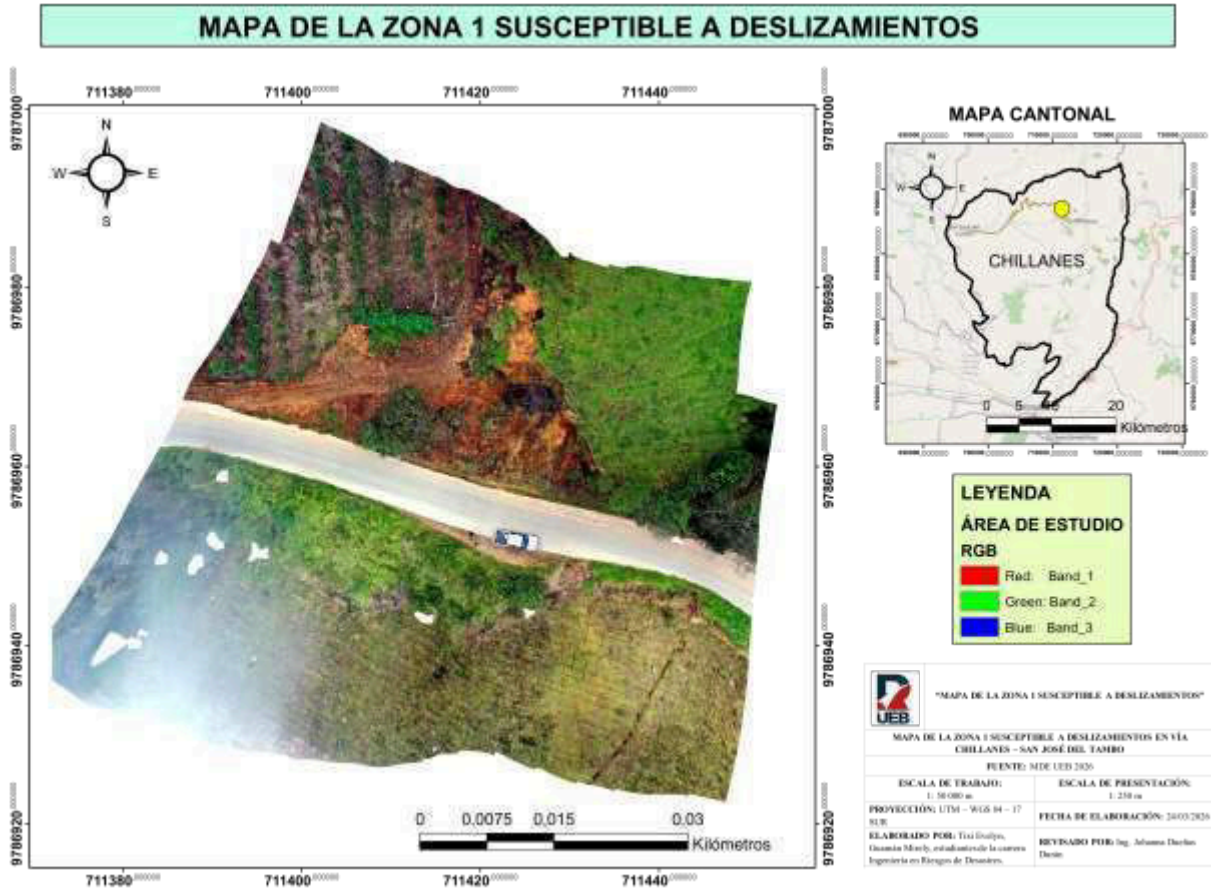


Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

Para el análisis de estabilidad, se generaron los perfiles de cada zona mediante el software Global Mapper, los cuales fueron exportados y utilizados como base para el modelamiento en el programa GEO5. A partir de los cinco perfiles obtenidos se realizó el análisis de estabilidad del talud considerando dos escenarios: uno bajo condiciones estáticas (sin influencia sísmica) y otro incorporando el factor sísmico, con el propósito de evaluar el comportamiento del talud frente a diferentes condiciones de carga.

- MODELAMIENTO EN GEO5

Figura 11: Mapa de la Zona 1



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

En el mapa se observa la ubicación correspondiente al talud 1, donde se evidenció un corte en el terreno junto a la vía, presentando exposición del material del suelo y con limitada cobertura vegetal. Estas características fueron identificadas durante la inspección en campo, permitiendo reconocer las condiciones del terreno.

- **Talud 1 sin factor sísmico**

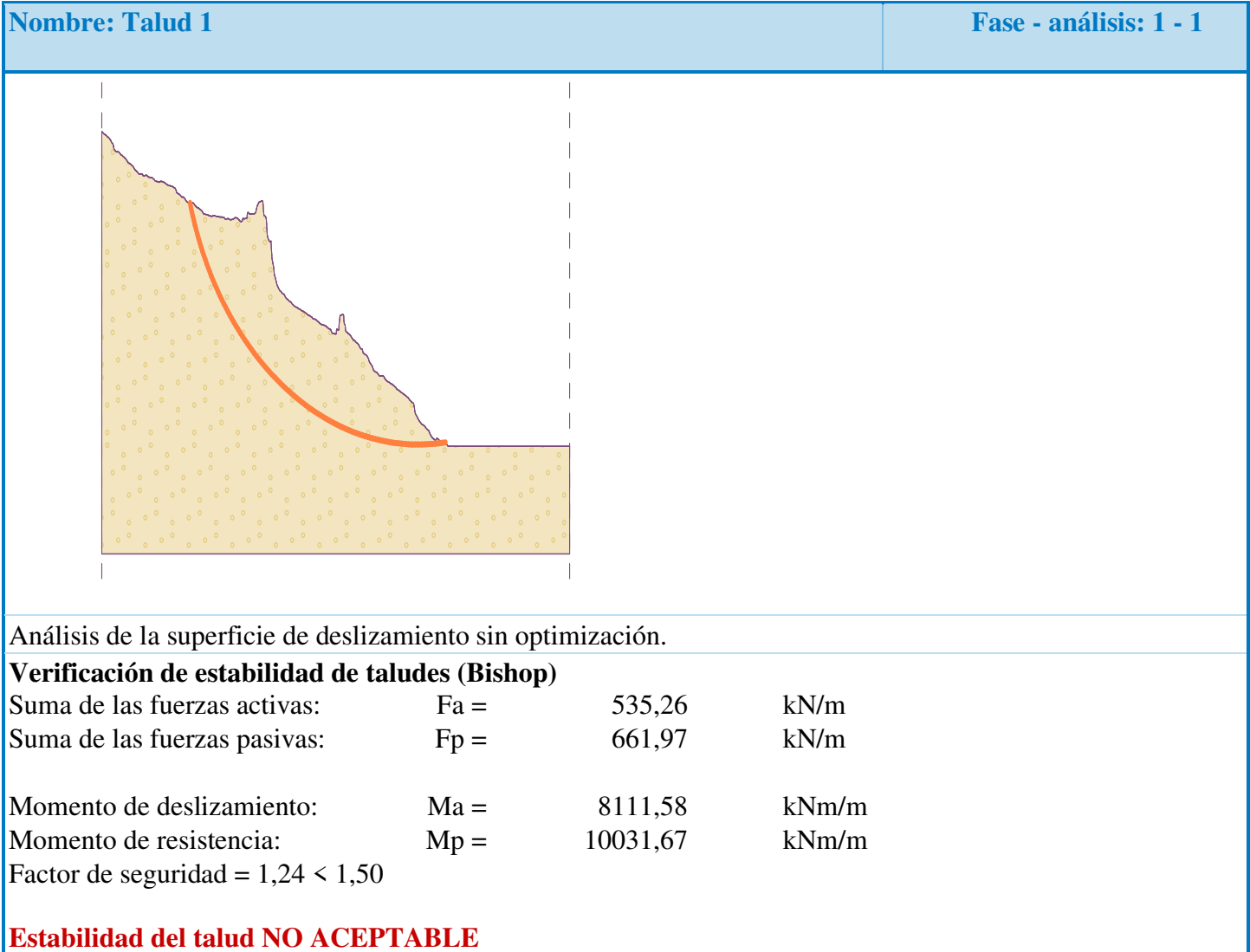
Tipo de suelo: En este talud a partir del análisis de las muestras obtenidas en campo y ensayadas en el laboratorio, se identificó un suelo clasificado como Arena mal gradada (SP) según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), con los parámetros geotécnicos determinados se procedió a modelar el comportamiento del talud en el software GEO5.

Tabla 1: *Parámetros geotécnicos del suelo del Talud N° 1*

Arena mal calificada (SP), densidad media			
Datos del suelo	Símbolo	Unidad	Valor
Coeficiente de Poission	ν	[-]	0,28
Peso Unitario	γ	[kN/m ³]	18,5
Módulo de deformación	Edef	[MPa]	15 - 35
Angulo de fricción interna	ϕ_{ef}	[°]	32 - 35

Nota: *En la tabla se observa los parámetros del talud 1*

Figura 12: Talud N° 1, sin factor sísmico



Nota: Corte del perfil, sin coeficiente sísmico

Análisis:

En el perfil sin coeficiente sísmico presenta un análisis de estabilidad de un talud utilizando el método simplificado de Bishop, arrojo un factor de seguridad (FS) de 1,24, lo cual es inferior al valor mínimo aceptable de 1,50. Esto significa que el talud es inestable y tiene una alta probabilidad de fallar bajo condiciones actuales.

- **Talud 1 con factor sísmico**

De acuerdo con el Código Orgánico de la Construcción (NEC, 2014), la aceleración del suelo correspondiente al cantón Chillanes es de 0,40, valor que se empleó para este análisis.

La demanda sísmica para los análisis pseudo estáticos será del 60% de la aceleración máxima del terreno:

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

Donde:

$$amax = Z * Fa$$

Fa = Factor de amplificación

Reemplazando datos en la fórmula se obtiene el siguiente resultado:

$$amax = Z * Fa$$

$$amax = 0,40 * 1$$

$$amax = 0,40$$

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

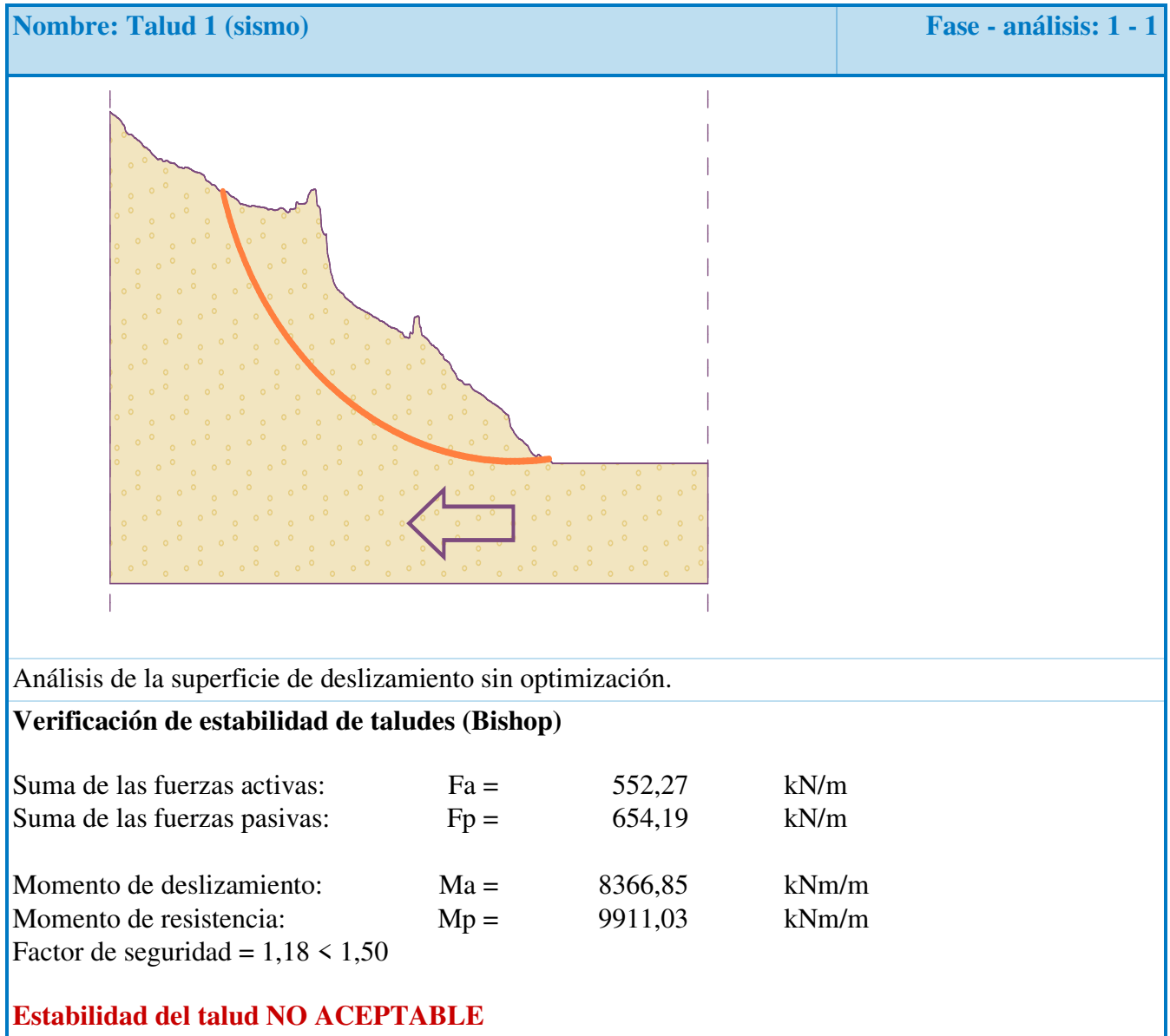
$$kh = \frac{0,6 * 0,40}{9,8}$$

$$kh = \frac{0,24}{9,8}$$

$$kh = 0,024$$

Dándonos como resultado que el coeficiente sísmico horizontal (kh) es de 0,024

Figura 13: Talud N° 1, con factor sísmico



Nota: Corte del perfil, con coeficiente sísmico

Análisis:

El análisis realizado muestra un FS de 1,18, valor inferior al mínimo recomendado de 1,50 para condiciones estáticas. Tomando en cuenta que el factor de seguridad es menor a 1,50,

podemos afirmar que el terreno se encuentra en una condición vulnerable a un deslizamiento. Por lo tanto, el talud se considera **No Aceptable**.

Figura 14: Mapa de la Zona 2



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

El talud 2 se ubica en un tramo curvo de la vía, donde durante la inspección se identificó un corte del terreno. El sector se caracteriza por presentar una ladera con pendiente marcada, en la cual se observan áreas con material expuesto y presencia de vegetación densa en el entorno, propia de una zona boscosa. Asimismo, se evidencia la presencia constante de humedad, condiciones que han favorecido la ocurrencia recurrente de deslizamientos en este punto.

- **Talud 2 sin factor sísmico**

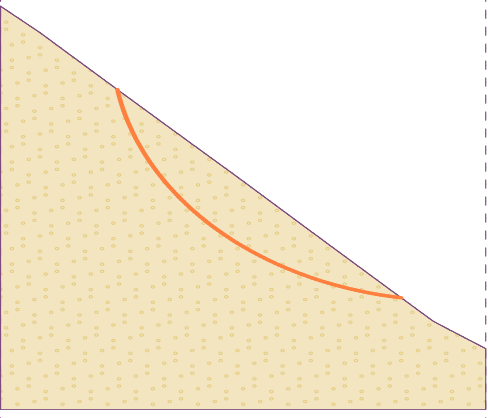
Tipo de suelo: En este talud a partir de los resultados obtenidos en el análisis granulométrico realizado en laboratorio, se identificó un suelo clasificado como Arena bien gradada (SW). Asimismo, se determinó que esta misma clasificación del suelo se presenta de manera continua desde este talud hasta la zona 5 dentro del área de estudio.

Tabla 2: Parámetros geotécnicos del suelo del Talud N° 2

Arena bien calificada (SW), densidad media			
Datos del suelo	Símbolo	Unidad	Valor
Coeficiente de Poisson	ν	[-]	0,28
Peso Unitario	γ	[kN/m ³]	20,0
Módulo de deformación	Edef	[MPa]	30 - 60
Angulo de fricción interna	ϕ_{ef}	[°]	34 - 39

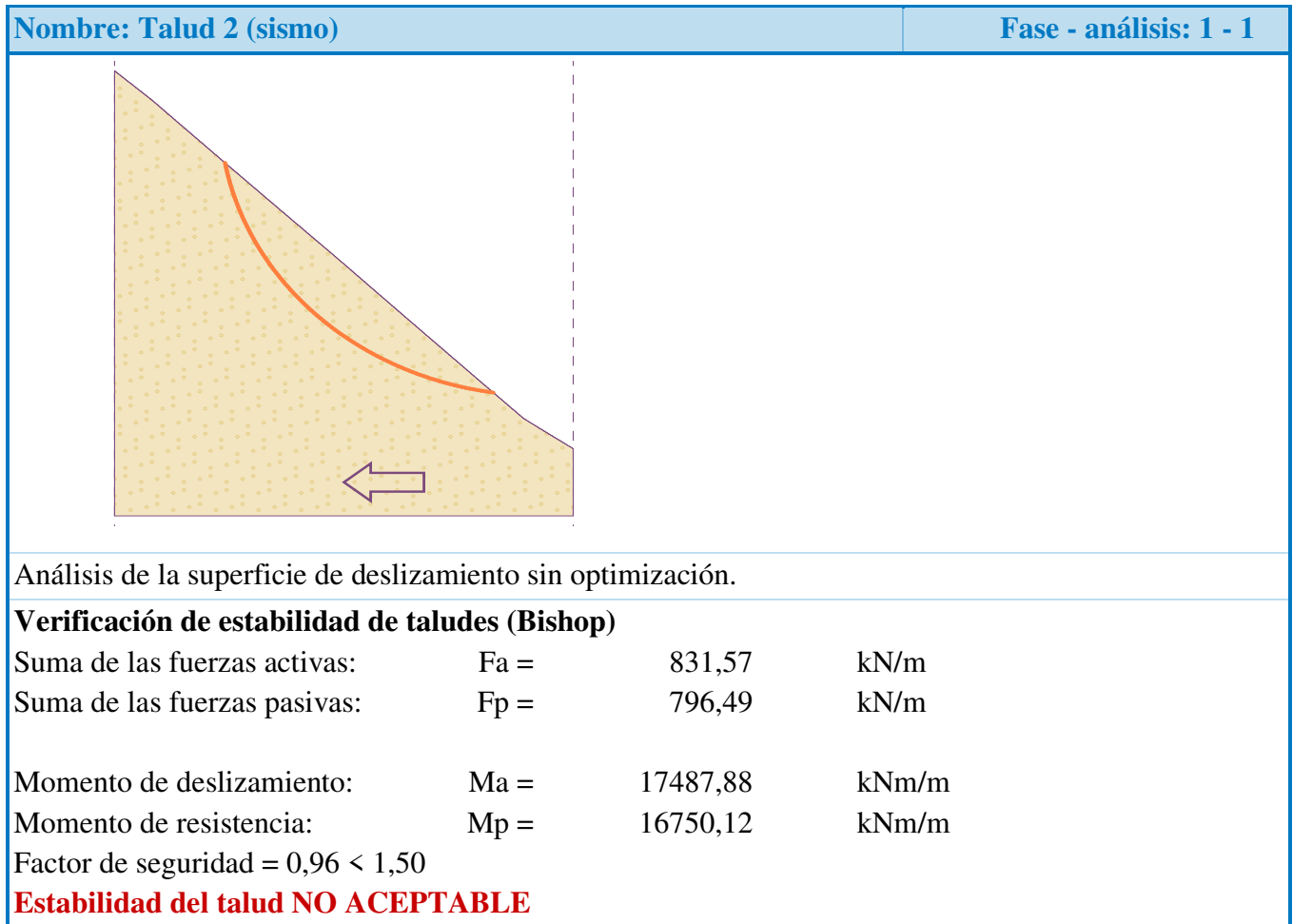
Nota: En la tabla se observa los parámetros del talud 2

Figura 15: Talud N° 2, sin factor sísmico

Nombre: Talud 2		Fase - análisis: 1 - 1	
			
Análisis de la superficie de deslizamiento sin optimización.			
Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)			
Suma de las fuerzas activas:	Fa =	811,53	kN/m
Suma de las fuerzas pasivas:	Fp =	809,15	kN/m
Momento de deslizamiento:	Ma =	17064,89	kNm/m
Momento de resistencia:	Mp =	17014,83	kNm/m
Factor de seguridad = 1,00 < 1,50			
Estabilidad del talud NO ACEPTABLE			

Nota: Corte del perfil, sin coeficiente sísmico

Figura 16: Talud N° 2, con factor sísmico



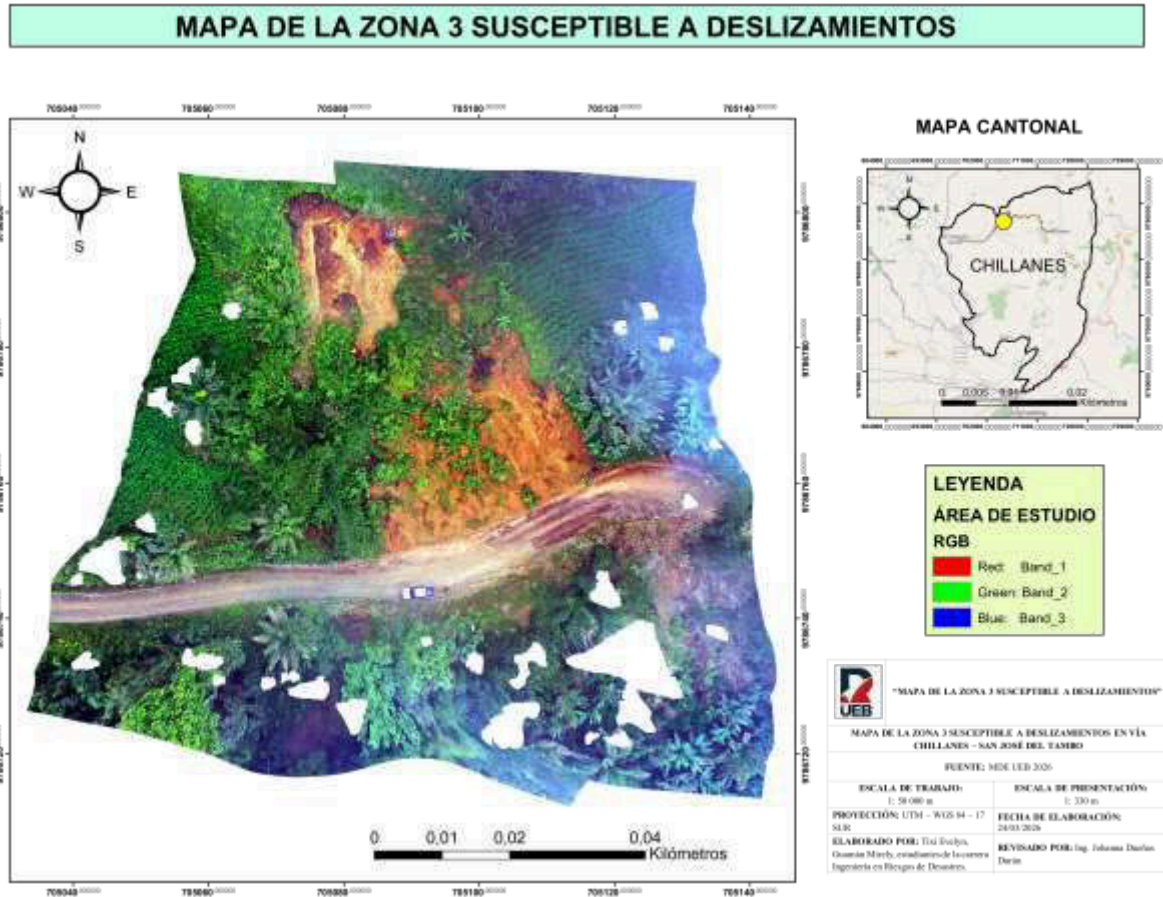
Nota: Corte del perfil, talud 2 con coeficiente sísmico

Análisis:

En la verificación de estabilidad del Talud 2 mediante el método de Bishop, sin considerar la sismicidad se obtuvo un factor de seguridad de 1,00 valor inferior al mínimo recomendado de 1,50. Este resultado indica que las fuerzas que generan el deslizamiento son muy similares a las fuerzas de resistencia del suelo. El material identificado en el talud corresponde a una Arena bien gradada, por lo que el talud no presenta estabilidad adecuada.

Al incluir el coeficiente sísmico, el FS disminuye a 0,96 lo que refleja una reducción en la estabilidad del talud. En ambos casos evaluados, los resultados indican que la estabilidad del talud no es aceptable. Siendo más desfavorable el escenario con efecto sísmico

Figura 17: Mapa de la Zona 3

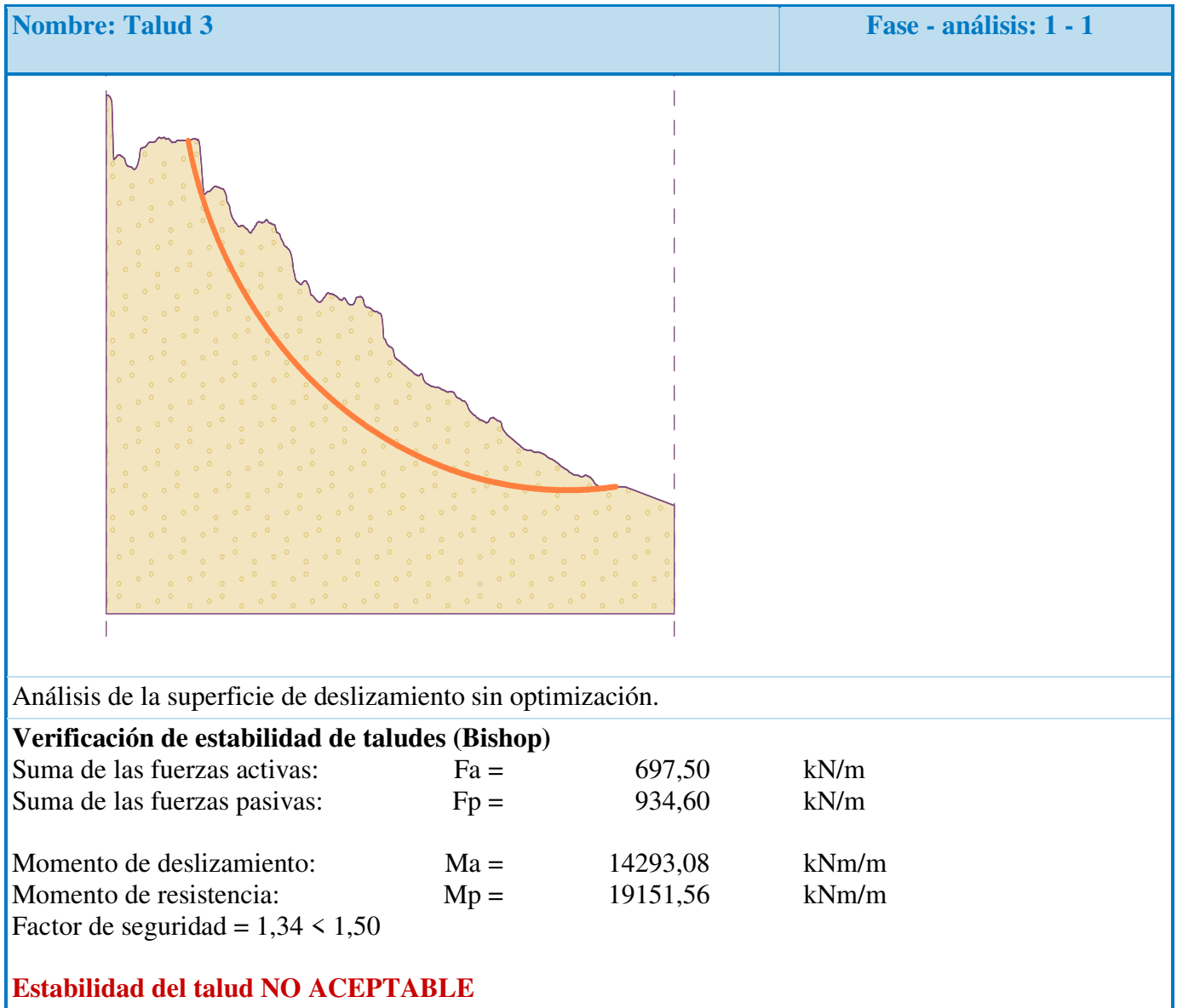


Elaborado por: Guamán M. & Tixi E., 2026

En el mapa de la zona analizada, la ortofoto permite evidenciar la afectación del talud al lado de la vía. Asimismo, en la parte superior del talud se aprecia un nuevo desprendimiento del terreno, asociado a las intensas lluvias, el cual se ubica en la zona donde se originó el deslizamiento anterior.

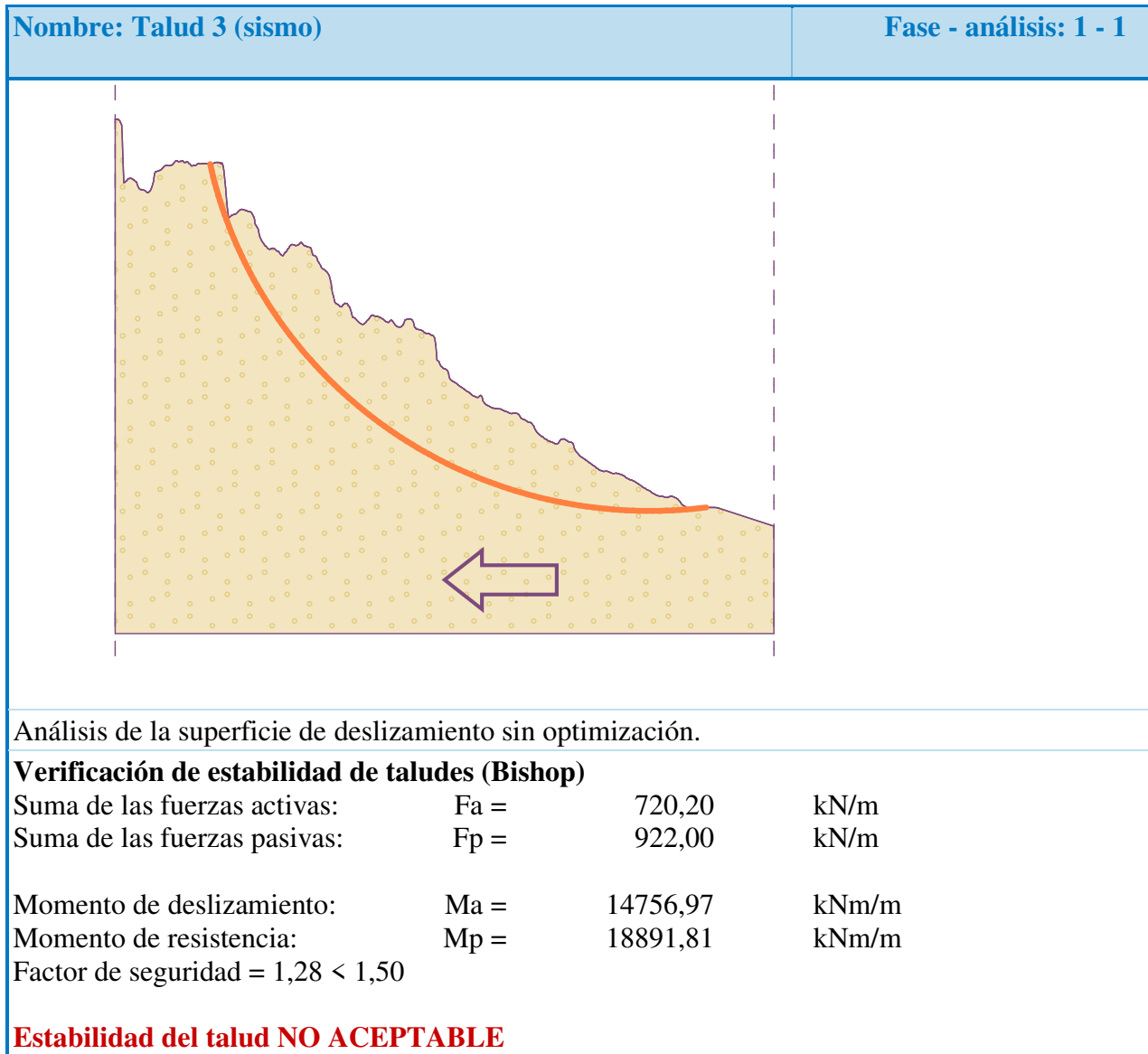
- Talud 3 sin factor sísmico

Figura 18: Talud N° 3, sin factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 3 sin coeficiente sísmico

Figura 19: Talud N° 3, con factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 3 con coeficiente sísmico

Análisis:

Sin considerar el coeficiente sísmico, la línea curva que se observa en la figura indica la posible superficie de deslizamiento del talud. El análisis obtuvo un factor de seguridad de 1,34 valor inferior mínimo recomendado (1,50), lo que evidencia que el talud no presenta un nivel de estabilidad adecuado.

Al incorporar el coeficiente sísmico, el factor de seguridad disminuye a 1,28, lo que evidencia una mayor influencia de las fuerzas que incrementan la posibilidad de desplazamiento del material. Por lo que su comportamiento se considera no aceptables bajo los escenarios evaluados.

Figura 20: Mapa de la Zona 4



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

A partir de la ortofoto obtenida, se observa que el talud se encuentra en una zona con pendientes muy pronunciadas, donde existen áreas de suelo expuesto que favorecen procesos de erosión y pérdida de estabilidad. El levantamiento de información en campo permitió corroborar la presencia de material poco consolidado en el talud, condición que favorece la ocurrencia de deslizamientos especialmente durante periodos de lluvias intensas.

Análisis con el Martillo de Schmidt (esclerómetro)

Figura 21: Clasificaciones Geomecánicas

Clasificaciones Geomecánicas

Regresar Convertidor Salir

Correlaciones y Conceptos Generales

MIRMR | **Q de Barton** | **GSI** | **SMR**

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

Índice de Carga Puntual (MPa) > 10MPa 4-10MPa 2-4MPa 1-3MPa

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) > 250MPa 100-250MPa 50-100MPa 25-50MPa 5-25MPa 1-5MPa < 1MPa

Rating 4

ROD (Índice de calidad de la roca)

50-75 % **Rating** 13

Espaciamiento de discontinuidades

<50mm **Rating** 5

Condición de discontinuidades

Persistencia: <1m Apertura: 1-5mm Rugosidad: Moderadamente lujosa

Relleno: Relleno suave <5m Meteorización: Moderadamente alterado **Rating** 14

Presencia de agua

Caudal en 10m túnel (l/min): <10 Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal): <0.1

Estado: Ligeramente húmedo **Rating** 10

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje

A favor del buzamiento: 45-90°

En contra del buzamiento:

Rumbo paralelo al eje del túnel

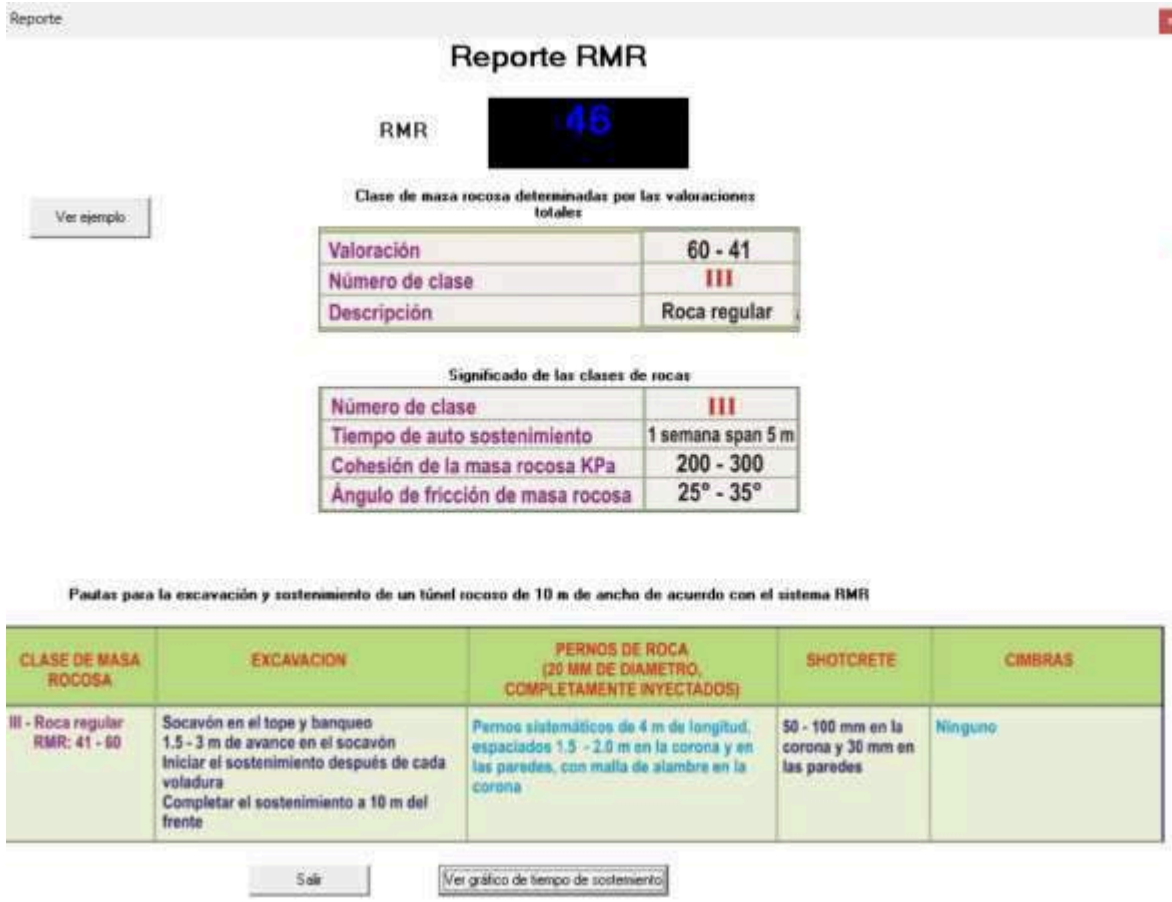
Túnel o mina
 Cimentaciones
 Taludes

Rating 0

RMR 46

Nota: Figura extraída del software Geotable

Figura 22: Reporte del RMR



Nota: Reporte de RMR obtenido de Geotable

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso presente en la zona 4, se aplicó el sistema de clasificación Rock Mass Rating (RMR) mediante el uso del software Geotable. Este método permite evaluar la calidad del macizo considerando parámetros como la resistencia del material intacto, índice de calidad de roca (RQD), el espaciamiento de las discontinuidades, así como la presencia de agua.

Para la obtención de algunos de estos parámetros se realizaron ensayos in situ, empleando un martillo de rebote tipo L con el fin de estimar la resistencia del material. El desarrollo del ensayo consistió en eliminar previamente la capa meteorizada presente en el afloramiento.

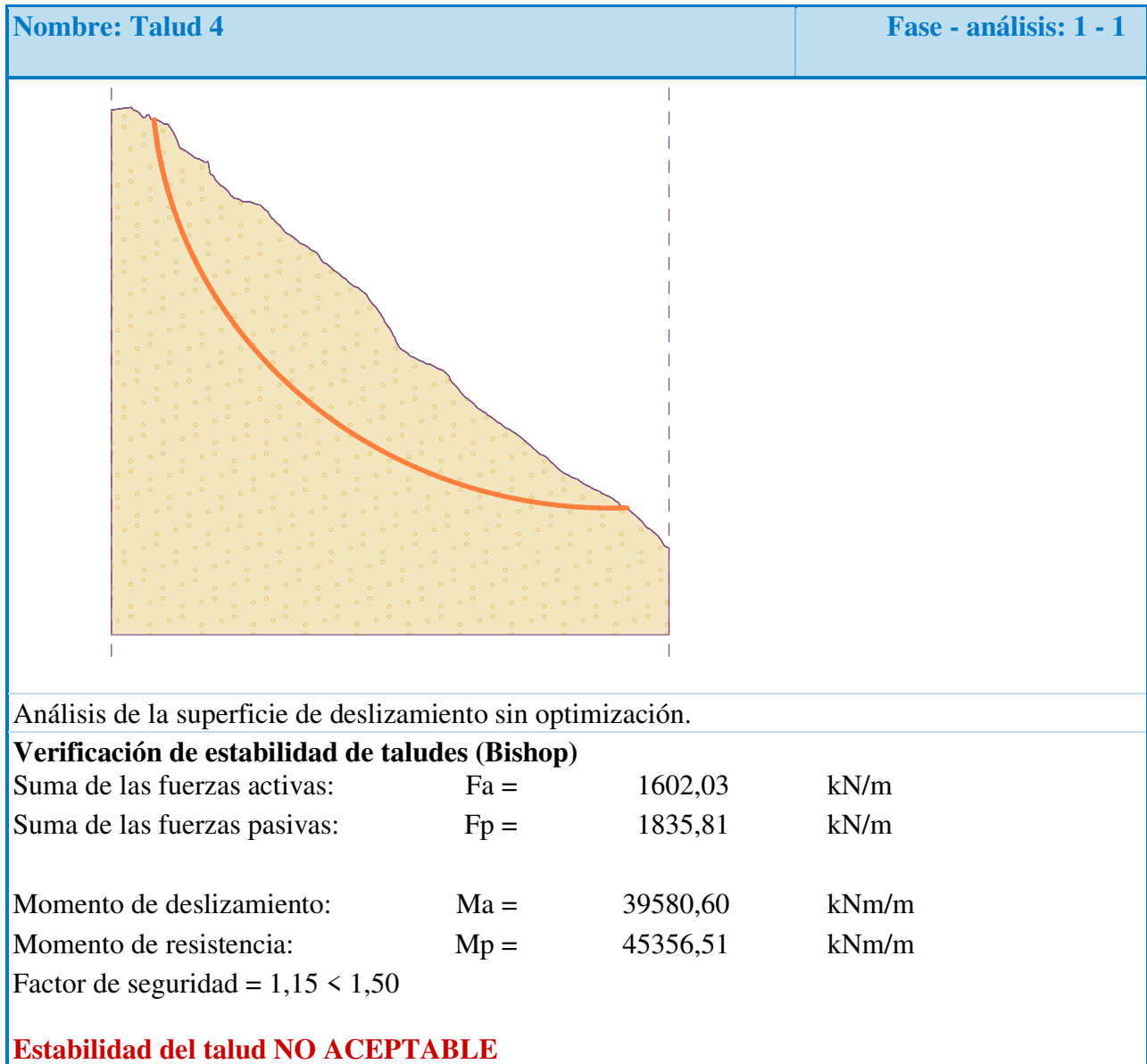
Posteriormente, para alisar la superficie de ensayo y garantizar mediciones precisas, se utilizó una piedra de amolar.

Una vez preparada el área de medición en diferentes partes del talud se realizaron 10 golpes o lecturas, con el fin de obtener valores representativos del índice de rebote y estimar de manera más confiable la resistencia.

A partir del análisis realizado, se obtuvo un valor total de $RMR = 46$ lo que corresponde a una clase III clasificada como roca de calidad regular. Este resultado indica que el material presenta condiciones geomecánicas intermedias, caracterizadas por discontinuidades moderadamente desarrolladas y una ligera presencia de humedad.

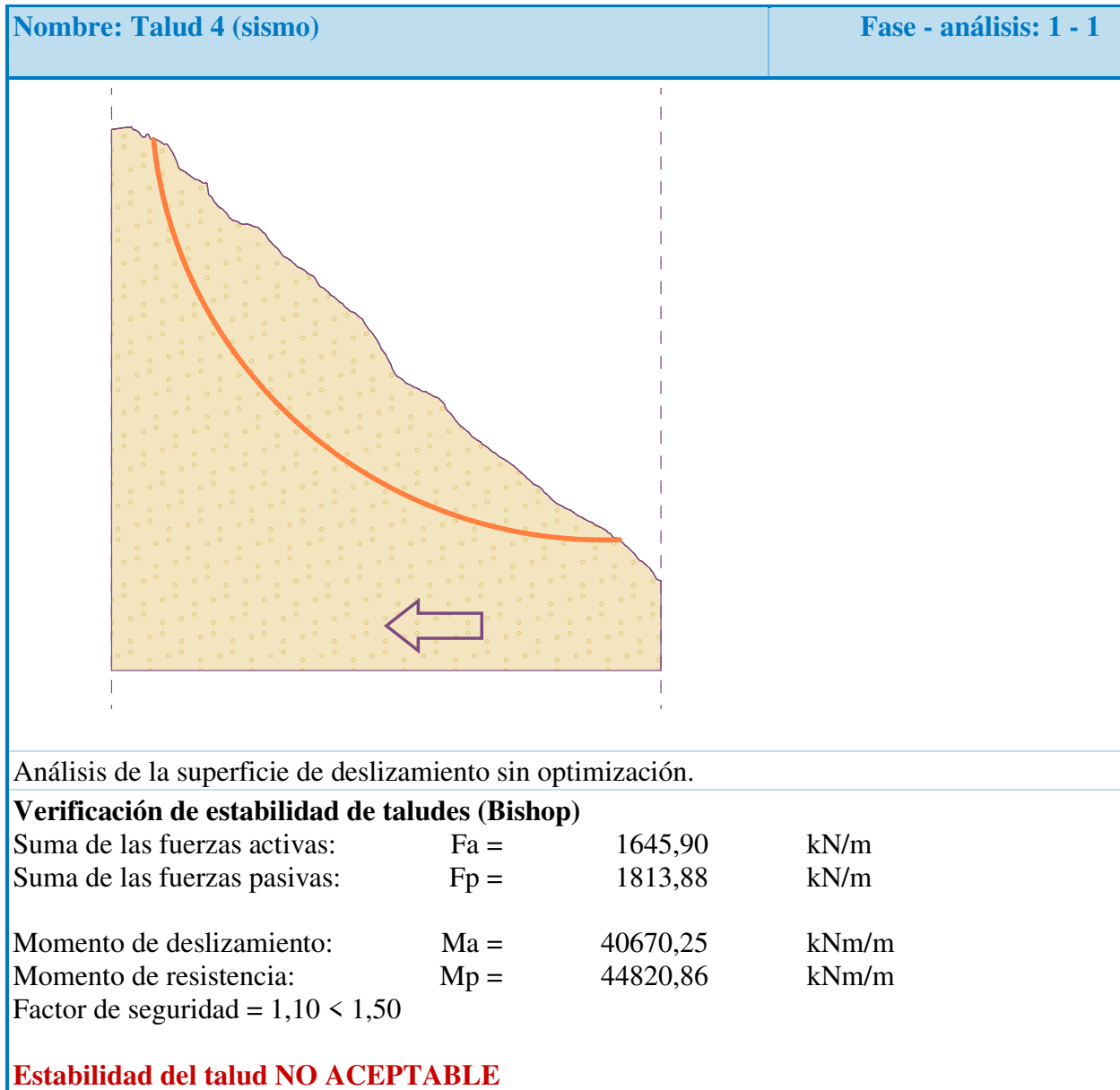
- Talud 4 sin factor sísmico

Figura 23: Talud N° 4, sin factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 4 sin coeficiente sísmico

Figura 24: Talud N° 4, con factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 4 con coeficiente sísmico

Análisis:

En el perfil sin coeficiente sísmico se obtuvo un factor de seguridad de 1.15 valor que se encuentra por debajo del mínimo recomendado de 1,50 para condiciones estáticas. El resultado indica que el talud no alcanza un nivel adecuado de estabilidad, lo que se relaciona con las características del material presente en el sitio, identificado como arena bien gradada (SW).

Cuando se considera el coeficiente sísmico el FS se reduce a 1,10, lo que refleja una disminución adicional en la estabilidad del talud. Este comportamiento sugiere ante vibraciones o cargas dinámicas, la masa del suelo presenta mayor susceptibilidad a deslizarse.

Figura 25: Mapa de la Zona 5

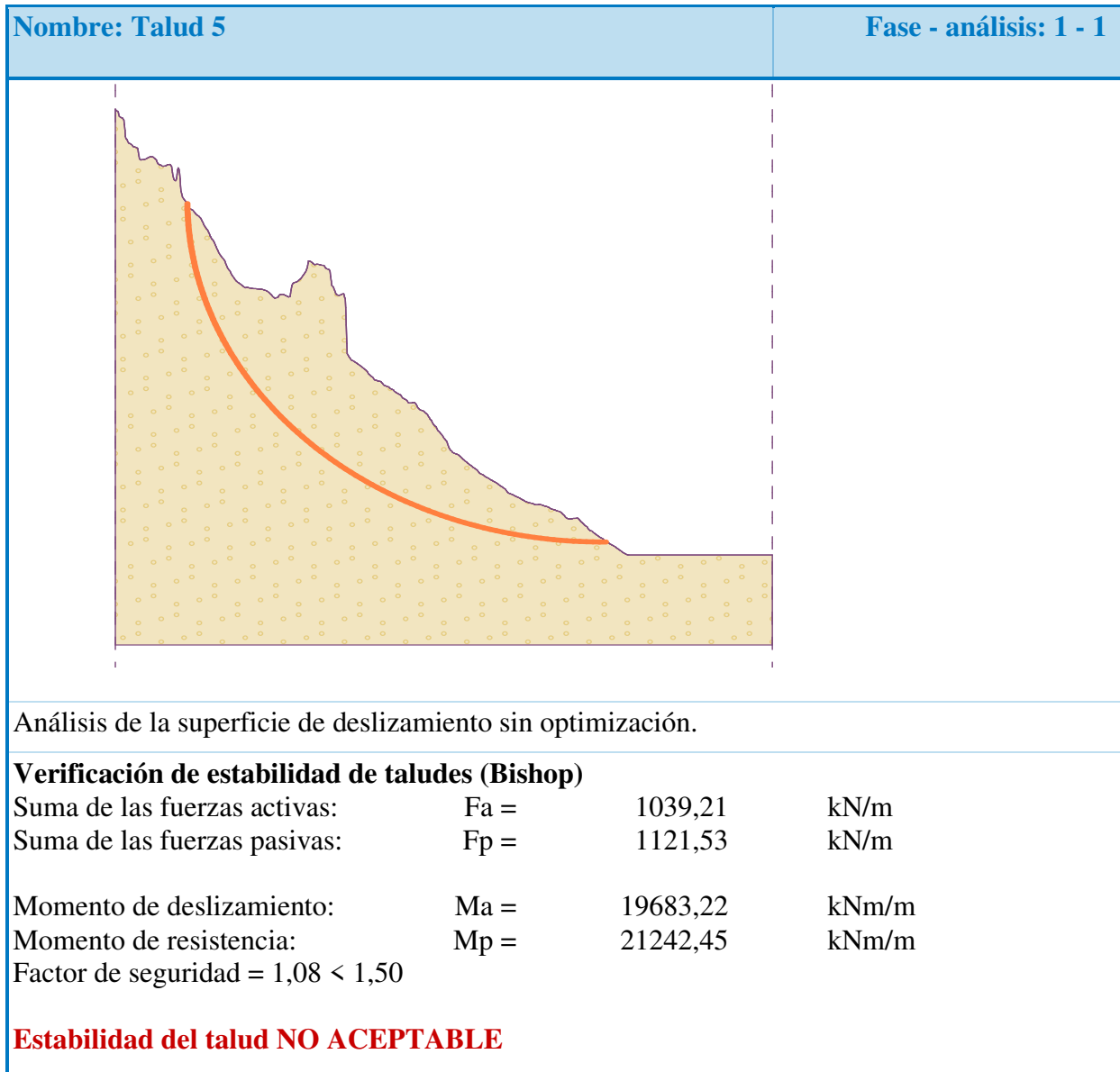


Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

El mapa de la Zona 5 muestra la localización del talud evaluado dentro del área de estudio. Se observa que el talud se ubica en una zona con abundante cobertura boscosa y presenta una pendiente pronunciada, lo que influye directamente en la dinámica del terreno.

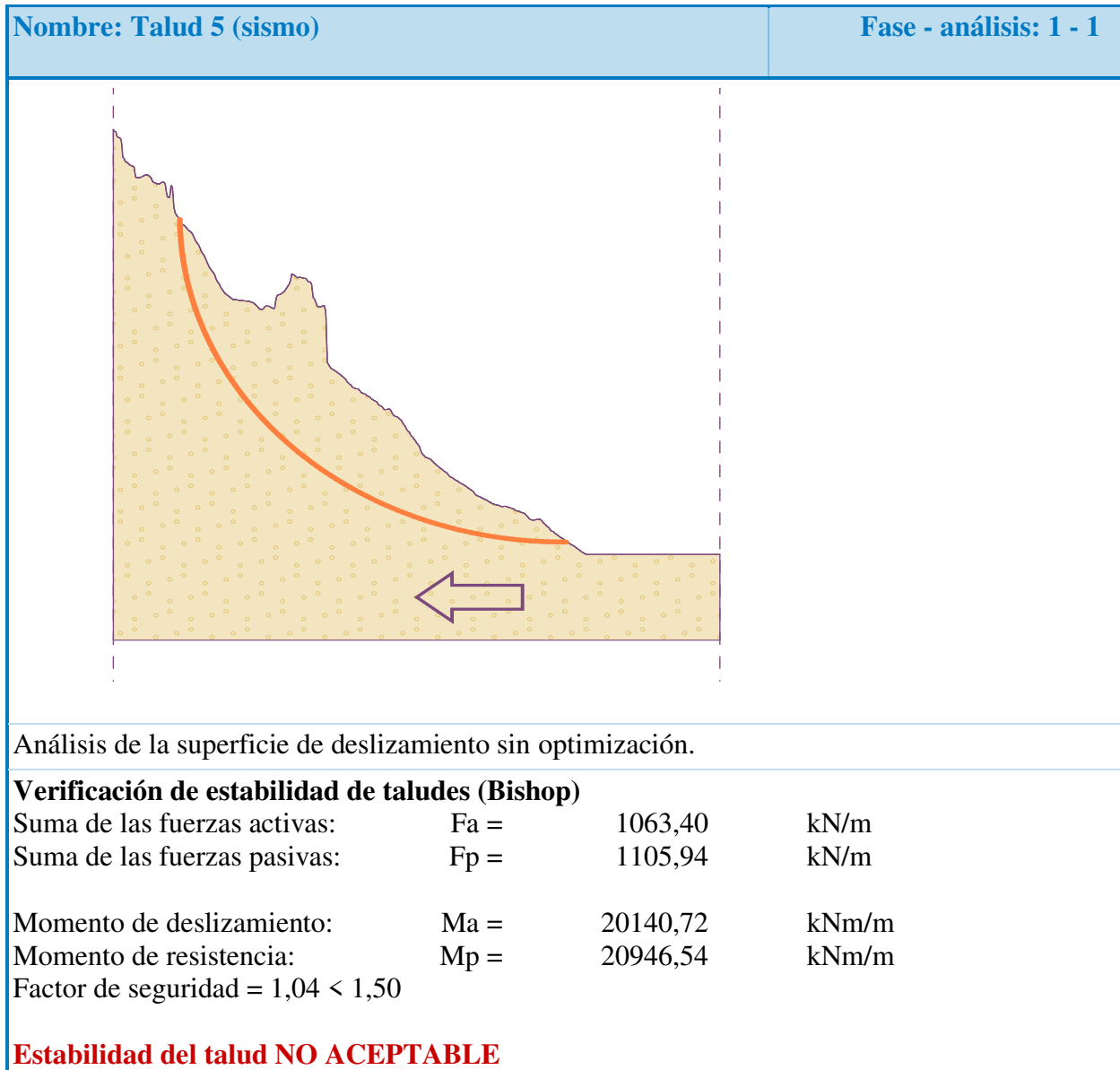
- Talud 5 sin factor sísmico

Figura 26: Talud N° 5, sin factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 5 con coeficiente sísmico

Figura 27: Talud N° 5, con factor sísmico



Nota: Corte del perfil, talud 5 sin coeficiente sísmico

Análisis:

En el talud 5, el análisis de estabilidad realizado mediante el método de Bishop muestra que sin considerar el coeficiente sísmico se obtuvo un factor de seguridad de 1,08 valor que se encuentra muy por debajo de 1,50, lo que indica que el talud no alcanza condiciones adecuadas de estabilidad.

Considerando el coeficiente sísmico este factor disminuye a 1,04, evidenciado una reducción en la resistencia del mismo frente a fuerzas que generan el deslizamiento, por lo tanto, la estabilidad del talud no es aceptable.

4.1.2 Caracterizar los factores de susceptibilidad que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo.

Para caracterizar los factores de susceptibilidad que contribuyen en la generación de deslizamientos y la elaboración del mapa final de susceptibilidad, se realizó el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) en conjunto con la metodología propuesta por Mora-Vahrson, el cual permite integrar diversos factores condicionantes y detonantes mediante la aplicación de fórmulas específicas, en las cuales se consideran variables representativas del comportamiento geomorfológico, geológico e hidrológico del terreno.

La formulación general del modelo se expresa como:

$$IS=(P \times G \times H) \times (Pr+S)$$

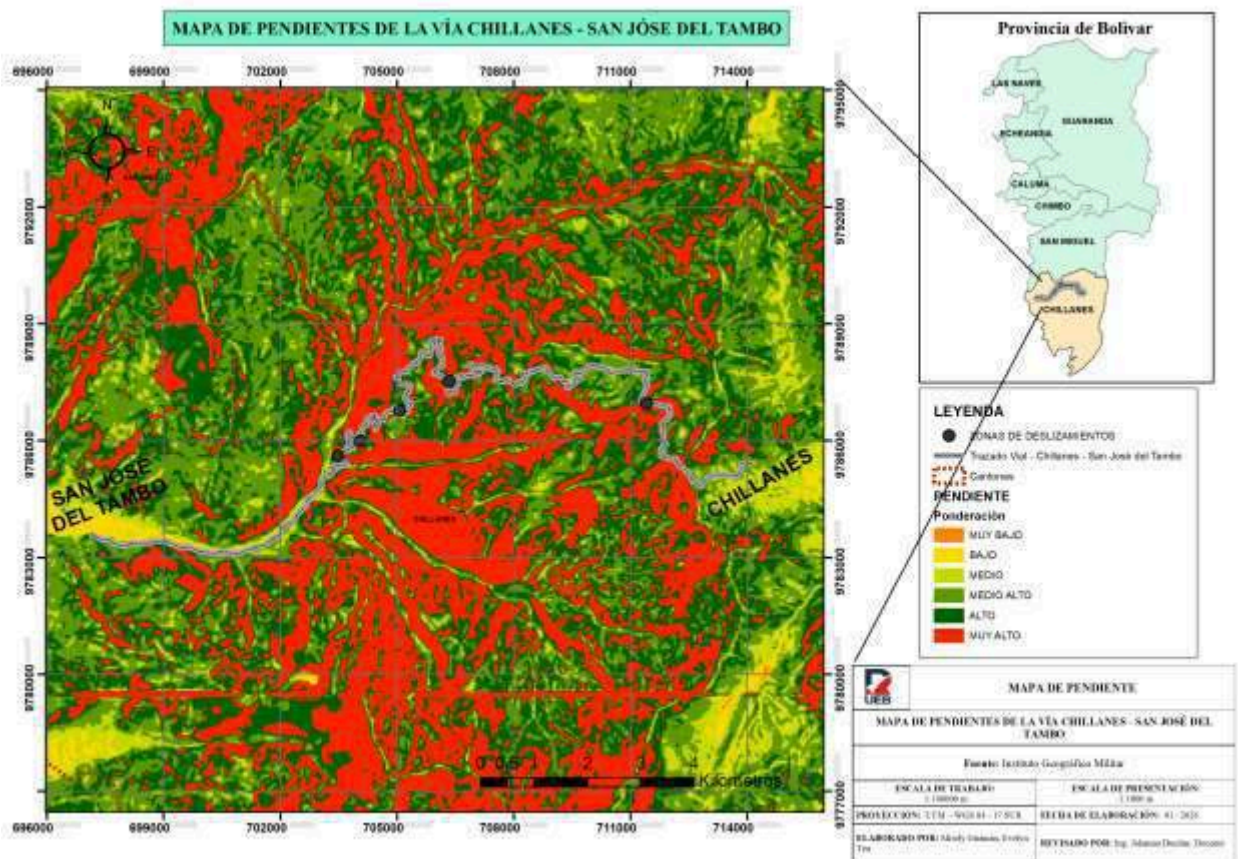
- IS = Índice de susceptibilidad a deslizamientos
- P = factor pendiente
- G = factor litológico o geológico
- H = factor de humedad
- Pr= factor de precipitación
- S= factor de sismicidad

Factores Condicionantes

- *Factor Pendiente*

Con la información obtenida de distintas fuentes disponibles cartografía base de SIGTIERRAS un MDE de 30m de la zona de estudio, se procedió a desarrollar el análisis ArcGIS utilizando herramientas especializadas como 3D Analyst, Spatial Analyst Tools y la función Slope, las cuales permitieron derivar y clasificar los valores de pendiente del terreno, los resultados fueron reclasificados conforme a los criterios establecidos por la metodología de Mora y Vahrson, facilitando su integración dentro del modelo de susceptibilidad a deslizamientos.

Figura 28: Mapa de Pendientes



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

Tabla 3: Ponderación del factor Pendiente

Clase de pendiente	Característica geomorfológica	Interpretación de estabilidad	Ponderación
Muy bajo	Superficies casi planas o ligeramente inclinadas	Condiciones muy estables, escasa influencia en deslizamientos	1
Bajo	Laderas suaves	Baja probabilidad de inestabilidad	2
Medio	Laderas moderadamente inclinadas	Condiciones intermedias de estabilidad	3
Alto	Laderas inclinadas	Mayor influencia de la gravedad sobre el material	4
Muy alto	Laderas muy escarpadas	Alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos	5

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

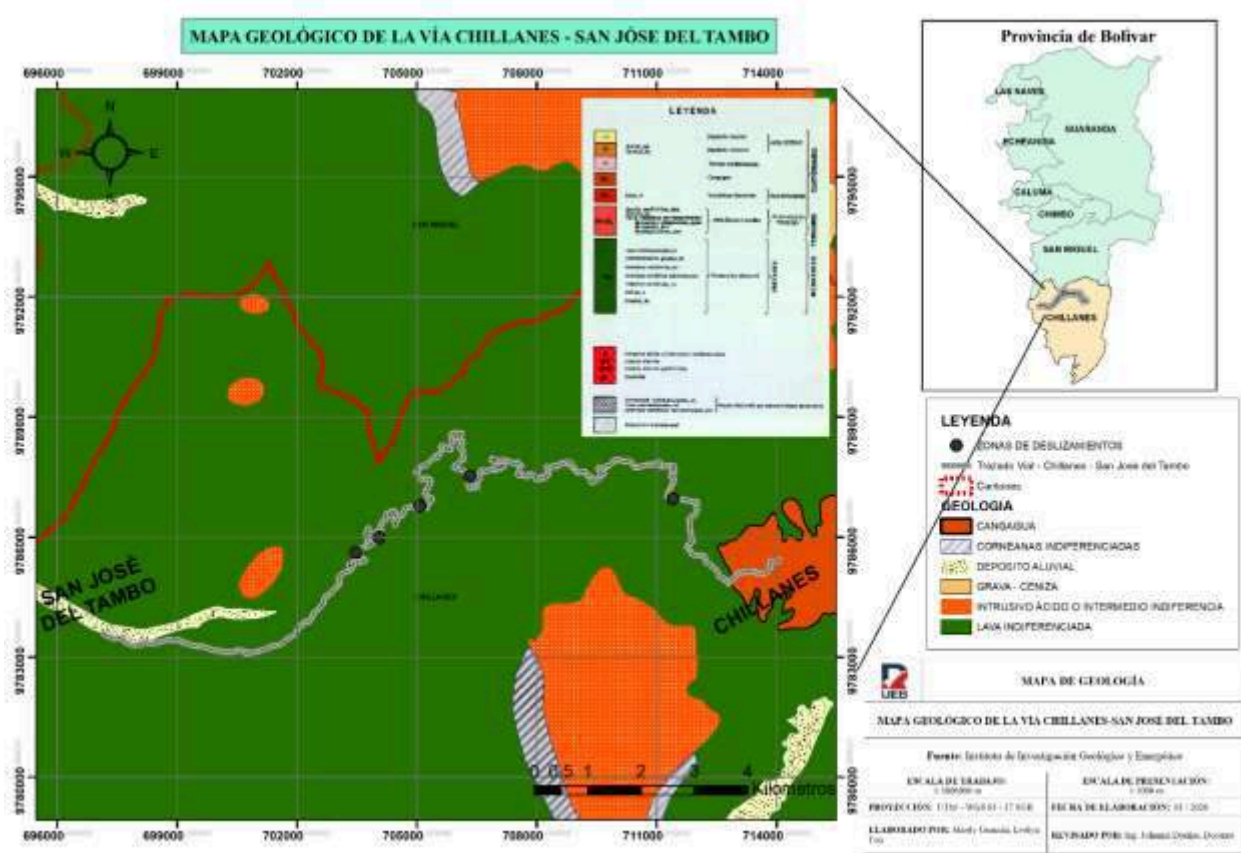
La Vía Chillanes- San José del Tambo se encuentra dominada por pendientes altas y muy altas con ponderación de 5 y 4 representado en tonalidades verde oscuro y rojo, distribuyéndose en casi todo el territorio especialmente en las zonas del trazado vial donde se observan laderas abruptas y fuertemente discretas, la vía se encuentra adaptada a la morfología del terreno atravesando zonas con pendientes pronunciadas. Por otro lado, la clase de pendiente media con ponderación 3 corresponde a laderas moderadamente inclinadas las cuales mantiene condiciones intermedias de estabilidad, pero pueden evolucionar hacia estados de inestabilidad ante cambios en las condiciones hidrológicas o intervenciones antrópicas, como cortes de talud asociados a la infraestructura vial.

Las zonas con pendientes bajas y muy bajas con ponderación 1 y 2 se localizan de forma puntual, principalmente en sectores de valle o áreas planas presentan condiciones más estables y una menor generación de deslizamientos, aunque no deben considerarse completamente seguras.

- **Factor Geológico**

Mediante el Instituto de Investigaciones Geológicas y Energéticas (IIGE) se obtuvo el pdf de la carta geológica para proceder a realizar el mapa, el cual nos garantizó la información base con su adecuada representación cartográfica y escala, permitiendo identificar las principales unidades litológicas presentes en el área de estudio las cuales son un factor condicionante clave para la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos según el enfoque de Mora y Vahrson.

Figura 29: Mapa Geológico



Elaborado por: *Guamán M. & Tixi E., 2026*

Tabla 4: Ponderación del factor Geológico

Unidad geológica	Característica del material	Comportamiento geotécnico	Factor SI (Mora-Vahrson)
Cangagua	Depósito volcánico cementado parcialmente (ceniza consolidada)	Moderadamente susceptible a erosión y deslizamientos	4
Corneanas indiferenciadas	Roca metamórfica compacta y resistente	Muy baja susceptibilidad	1
Depósito aluvial	Sedimentos sueltos no consolidados (arena, limo, grava)	Alta susceptibilidad a inestabilidad	5
Grava – ceniza	Material volcánico granular poco consolidado	Susceptibilidad alta	4
Intrusivo ácido o intermedio	Roca ígnea masiva (granitoide) muy competente	Muy baja susceptibilidad	1
Lava indiferenciada	Roca volcánica consolidada (andesita/basalto)	Baja susceptibilidad	2

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

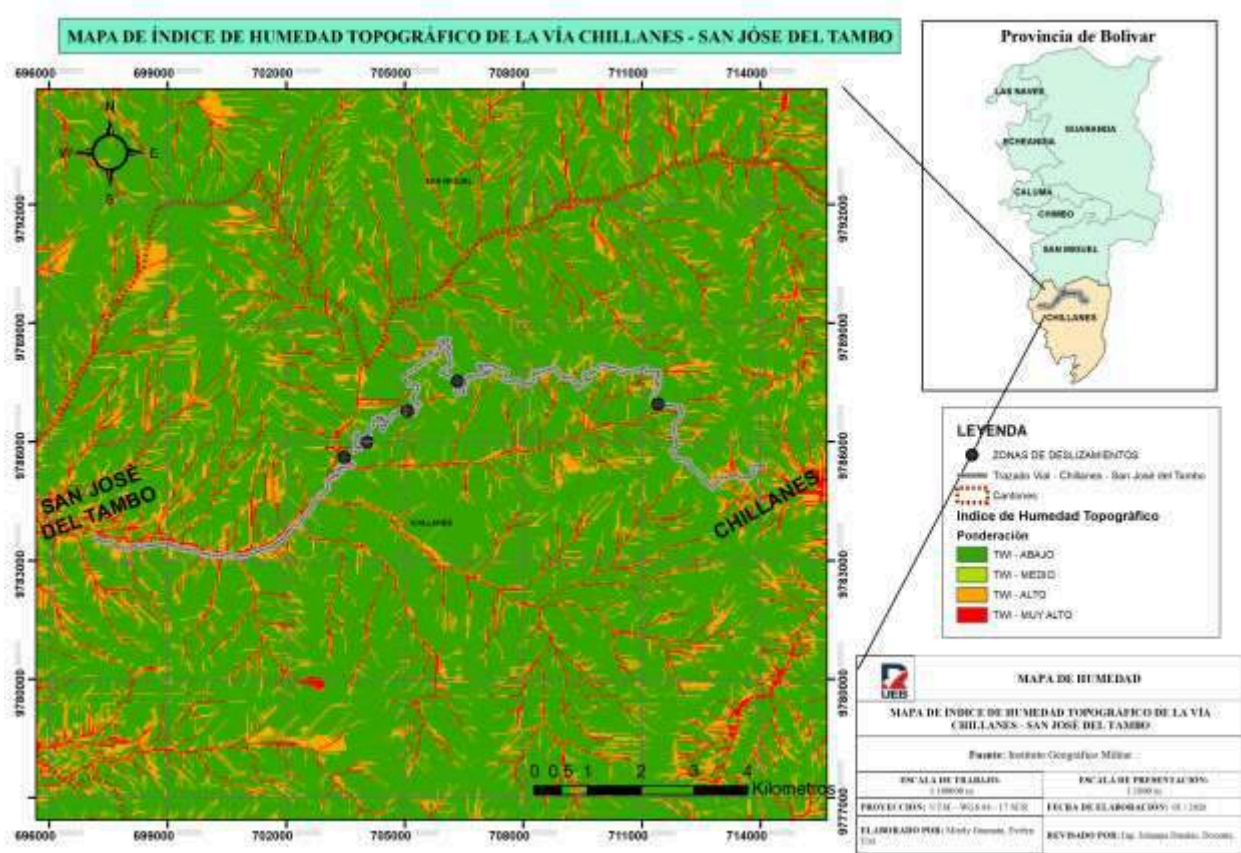
La geología de la vía Chillanes – San José del Tambo en la mayoría presenta una gran parte de lavas indiferenciadas, estas rocas volcánicas, generalmente de composición andesítica a basáltica, presentan un grado de consolidación elevado, lo que se traduce en una baja susceptibilidad a procesos de remoción en masa con una ponderación en la Factor SI de 2, pero su comportamiento puede variar según el grado de fracturamiento, meteorización y presencia de discontinuidades especialmente en zonas con intervención humana. Por otro lado, se observa una zona de la vía con depósitos volcánicos tipo cangagua con factor SI de 4 debido a su naturaleza friable y su tendencia a erosionarse fácilmente bajo condiciones de saturación hídrica, así mismo vemos depósitos aluviales con un factor SI de 5, localizados principalmente en las zonas bajas y

cercanas a cauces hídricos, constituyen las unidades de mayor inestabilidad dentro del área de estudio.

- **Índice de Humedad Topográfica**

Índice de Humedad Topográfico (TWI) elaborado para la vía Chillanes – San José del Tambo es fundamental en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos, ya que permite identificar zonas con diferente grado de acumulación de humedad en función de la topografía, fue generado a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM), el cual permitió derivar variables hidrológicas como la dirección y acumulación de flujo, integradas en el cálculo del TWI.

Figura 30: Mapa del índice de Humedad



Elaborado por: Guamán M. & Tixi E., 2026

Tabla 5: Ponderación del factor Humedad

Clase	Característica	Interpretación geomorfológica	Ponderación
TWI – Bajo	Baja acumulación de humedad	Sectores bien drenados, generalmente en divisorias o laderas convexas	1
TWI – Medio	Acumulación moderada de humedad	Laderas con drenaje intermedio	2
TWI – Alto	Alta acumulación de humedad	Sectores con concentración de flujo superficial y mayor saturación	3
TWI – Muy alto	Muy alta acumulación de humedad	Zonas de convergencia de flujo, valles o pie de ladera con saturación frecuente	4

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

En el área en donde se encuentra ubicada la vía Chillanes- San José del Tambo se observa una predominación de valores bajos de humedad TWI bajo el cual está representado en color verde estos corresponden a lugares bien drenados, estas zonas presentan una limitada acumulación de humedad lo que reduce la probabilidad de saturación del suelo, por tanto, la generación de deslizamientos es considerada muy baja con valor de 1, Sin embargo a lo largo de la vía existen tramos que intersecan con zonas de alto y muy alto TWI con color anaranjado y rojo el cual coincide con canales de drenaje, quebradas, pie de laderas y zonas de convergencia de flujo superficial en la cual hay una mayor concentración de humedad y saturación del suelo obteniendo una ponderación de 3 y 4.

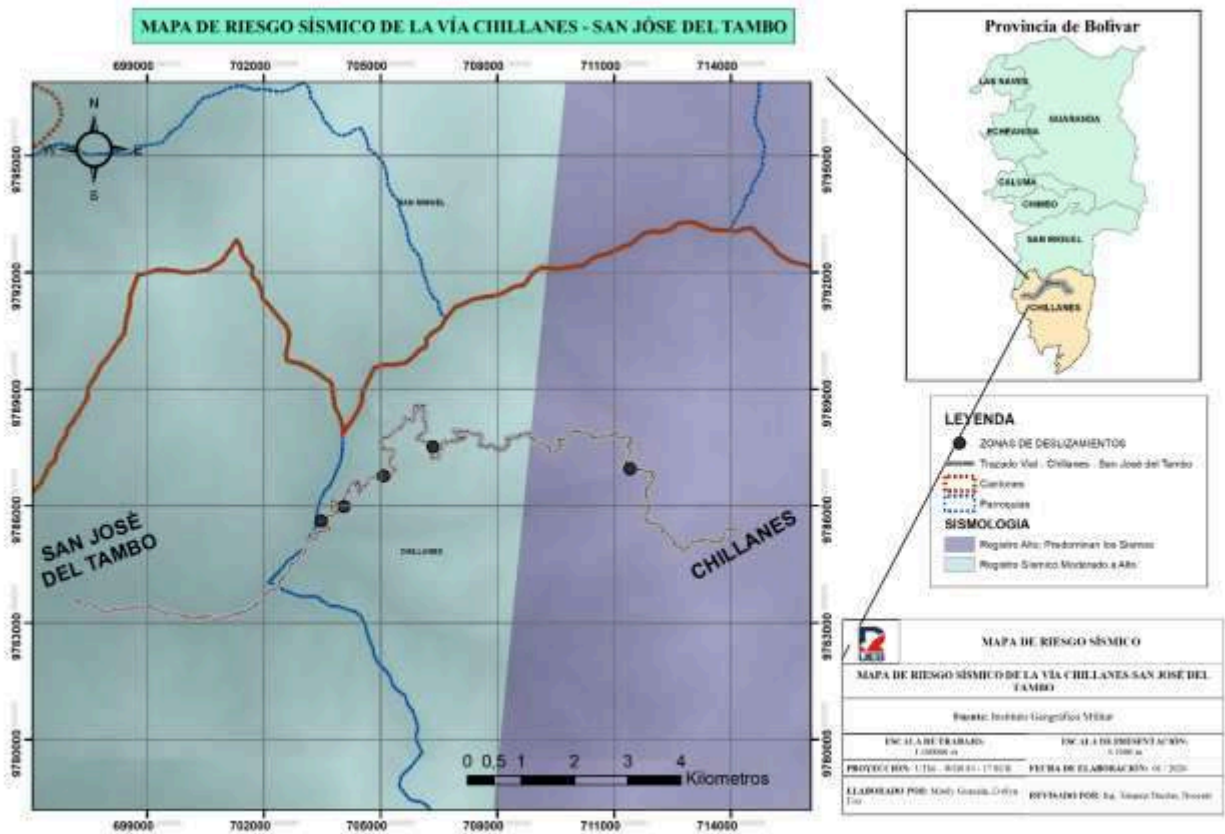
Factores Detonantes

- ***Factor Sísmico***

El mapa de riesgo sísmico elaborado para la vía Chillanes – San José del Tambo se desarrolló a partir del análisis del catálogo sísmico nacional proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), considerando variables como magnitud, profundidad, localización y fecha de los eventos registrados, en el análisis se tomó en cuenta el contexto tectónico regional asociado con la interacción entre la placa de Nazca y la Sudamericana, además de la identificación de fallas como la Falla geológica de Pallatanga que se encuentra cerca de la provincia de Bolívar, posteriormente los datos fueron depurados y homogenizados a magnitud MW con el fin de garantizar su consistencia mediante el uso de herramientas de SIG se generó el mapa de amenaza sísmica.

El área de estudio no es homogénea, presentando zonas con mayor concentración de eventos, lo que incrementa la susceptibilidad del terreno a procesos de inestabilidad, lo cual representa la distribución de la actividad sísmica, constituyendo un factor condicionante en la generación de deslizamientos, especialmente en regiones montañosas donde las laderas presentan condiciones de inestabilidad.

Figura 31: Mapa de Riesgo Sísmico



Elaborado por: Guamán M. & Tixi E., 2026

Tabla 6: Ponderación factor Sísmico

Clase	Característica	Interpretación sísmica	Influencia en deslizamientos	Ponderación
Registro sísmico moderado alto	Actividad sísmica frecuente de magnitud moderada	Vibraciones que pueden activar deslizamientos en laderas inestables	Influencia moderada	2
Registro alto; predominan los sismos	Alta actividad sísmica con presencia frecuente de eventos sísmicos	Alta probabilidad de activación de movimientos en masa	Influencia alta	3

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

Evidencia dos categorías principales: registro sísmico moderado alto y registro alto donde predominan los sismos lo cual permite identificar zonas con distinta intensidad de actividad sísmica que incide directamente en la estabilidad de los taludes.

En el sector occidental, correspondiente principalmente a San José del Tambo, predomina un registro sísmico moderado alto, caracterizado por la ocurrencia de eventos de magnitud moderada, las vibraciones generadas por los sismos pueden inducir esfuerzos adicionales en las laderas provocando la reactivación de movimientos en masa preexistentes o la generación de nuevos deslizamientos en materiales inestables, la tabla de clasificación, presenta una influencia moderada con ponderación 2 en la susceptibilidad.

Por otro lado, en el sector oriental, hacia Chillanes se identifica una zona de registro sísmico alto predominando los eventos sísmicos con mayor frecuencia o intensidad incrementando significativamente la probabilidad de inestabilidad, debido a que las vibraciones sísmicas pueden superar la resistencia al corte de los materiales, especialmente en laderas con pendientes pronunciadas o suelos saturados, la tabla asigna una ponderación de 3 que refleja una alta influencia en la generación de deslizamientos.

- ***Factor Precipitación***

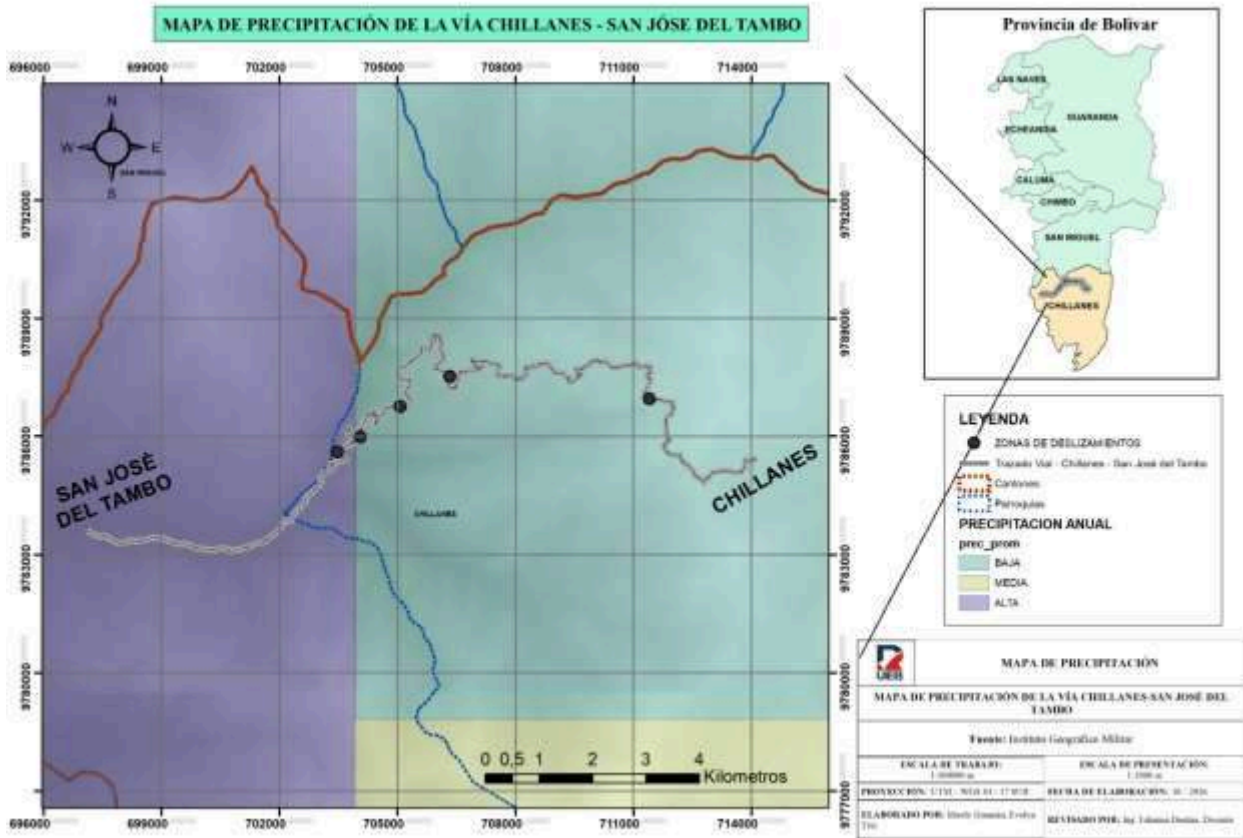
Para a caracterización del factor precipitación se utilizó la información climática global proveniente del conjunto de datos WorldClim versión 2 el cual ofrece variables climáticas interpoladas a nivel mundial basadas en registros de estaciones meteorológicas, en este estudio se utilizó la variable BIO12(precipitación anual media) la cual representa directamente el promedio anual de precipitación expresado en milímetros.

Los datos corresponden a un promedio climatológico del periodo 1970-2000 equivalente a 30 años de registros continuos cumpliendo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial para la definición de normales climatológicas lo que permite la representatividad temporal de la variable y permite analizar patrones espaciales bajo condiciones climáticas promedio, la variable BIO12 ya constituye un producto procesado que integra y promedia series históricas, por lo que no fue necesario realizar procedimientos adicionales de agregación temporal.

A partir del raster de precipitación media anual se procedió a su recorte utilizando el límite administrativo del Ecuador, delimitando así el área de estudio, luego se realizó una reclasificación en intervalos de precipitación que permitió agrupar valores similares y definir zonas homogéneas. Estas fueron transformadas en entidades vectoriales tipo polígono mediante herramientas de análisis espacial y se calculó el valor promedio de precipitación anual dentro de cada polígono, lo que permitió generar un archivo tipo shapefile que contiene polígonos con sus respectivos valores promedio de precipitación expresados en milímetros.

El resultado final corresponde a un mapa de zonas de precipitación anual representadas mediante polígonos (isoyetas zonales), proyectado al sistema de coordenadas UTM zona 17 Sur para su utilización en sistemas de información geográfica y en análisis de susceptibilidad a deslizamientos.

Figura 32: Mapa de Precipitación



Elaborado por: Guamán M. & Tixi E., 2026

Tabla 7: Ponderación factor Precipitación

Clase	Rango de precipitación (mm/año)	Característica climática	Interpretación en susceptibilidad	Ponderación
Baja	≈ 600 – 900	Precipitación baja	Baja saturación del suelo y menor influencia en deslizamientos	1
Media	≈ 900 – 1500	Precipitación moderada	Condiciones intermedias de humedad del suelo	2
Alta	> 1500	Precipitación elevada	Alta saturación del suelo y mayor probabilidad de inestabilidad	3

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

Con respecto a la precipitación de la vía se puede observar que presenta una variación espacial de la precipitación anual, diferenciada en tres clases: baja, media y alta el cual permite interpretar el comportamiento climático del territorio y su posible incidencia en los procesos de inestabilidad de laderas. El trazado vial atraviesa sectores con diferentes niveles de precipitación por lo que la amenaza de deslizamientos no es homogénea ya que varían en función de sus condiciones.

En la tabla de clasificación se establece que la categoría de precipitación baja corresponde a rangos aproximados entre 600 y 900 mm/año, asociados a una menor saturación del suelo el cual tiene una influencia reducida de deslizamientos el cual recibe una ponderación de 1, lo que indica una incidencia baja dentro del modelo de susceptibilidad, en el mapa, esta condición se localiza principalmente en la parroquia Chillanes.

Por otra parte, tenemos valores superiores a 1500 mm/año, representa el escenario de mayor incidencia dentro del análisis, la precipitación favorece una mayor saturación del suelo, incrementa la presión de poros y disminuye la cohesión y fricción interna de los materiales, condiciones que aumentan significativamente la probabilidad de inestabilidad de ladera, recibe una ponderación de 3, dando una influencia alta en la generación de deslizamientos, en el mapa, esta condición se da principalmente en los sectores de mayor humedad anual como es en la Parroquia de San José del Tambo, donde el trazado vial puede encontrarse más expuesto a fenómenos de remoción en masa, especialmente en temporadas lluviosas o durante eventos de precipitación intensa.

Susceptibilidad a deslizamientos

Para la creación del mapa de Susceptibilidad ante Deslizamientos se realizó una relación de los factores condicionantes y detonantes con la herramienta Ráster Calculator en ArcGis, el cual permitió multiplicar los factores condicionantes como (pendiente, geología y humedad) y ponderarlos frente a los factores detonantes (sismicidad y precipitación), obteniendo como producto final el Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de la vía Chillanes – San José del Tambo.

Para realizar el mapa de susceptibilidad ante deslizamientos se realizó mediante la metodología de Mora Vahrson dándoles una ponderación del 1 a 5 tomando los factores condicionantes y desencadenantes.

Con la siguiente Formula:

Factores condicionantes

$$(P \times G \times H)$$

Factores Detonantes

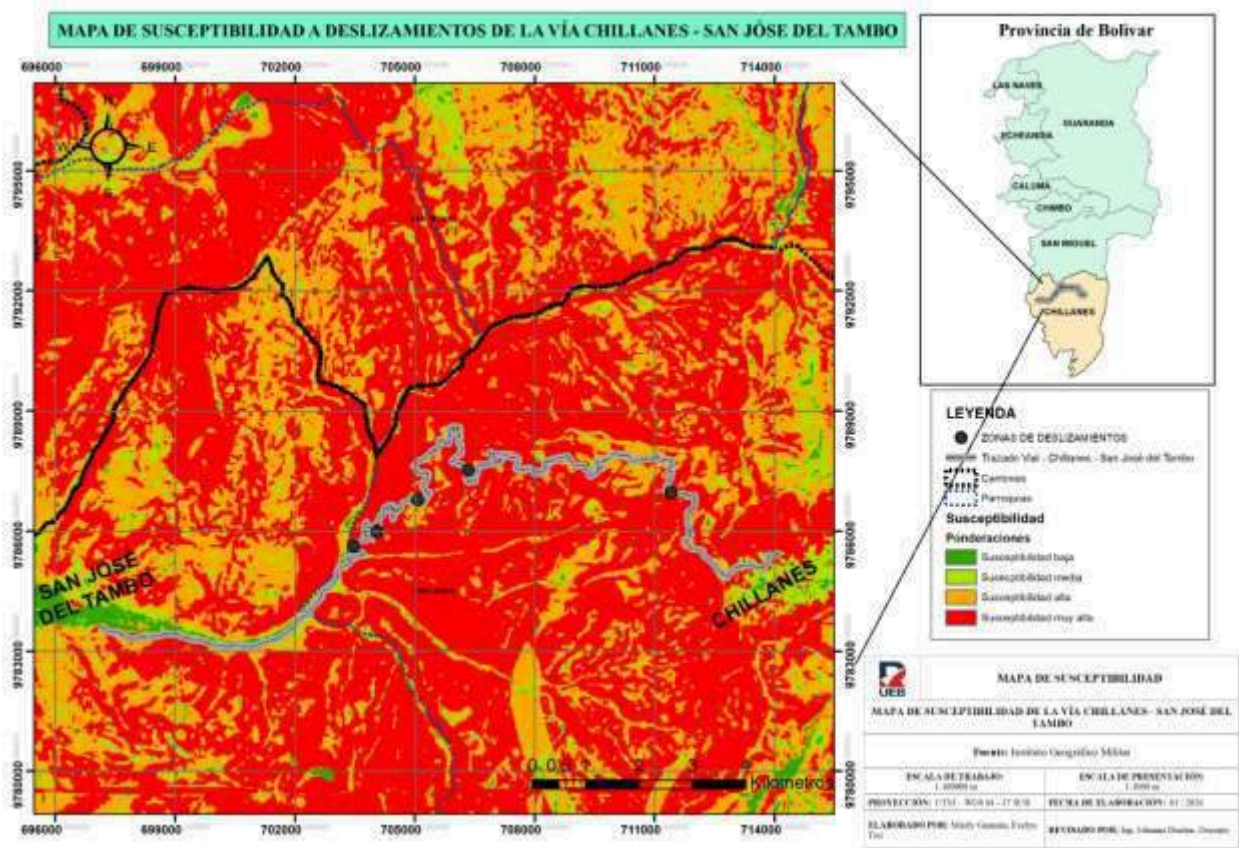
$$(Pr + S)$$

Para obtener el mapa final se realizó

(Resultado de la multiplicación de Factores condicionantes) + (Resultado de los Factores detonantes) = Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos

Esta ecuación responde al principio de que la susceptibilidad es el resultado de la interacción de múltiples factores, los cuales, al ser superpuestos, permiten identificar zonas con diferentes niveles de inestabilidad.

Figura 33: Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos



Elaborado por: Guamán M. & Tixi E., 2026

Tabla 8: Tabla de Susceptibilidad a deslizamientos

Clase	Área (ha)	%
Baja	2,407.30	6.31%
Media	2,655.28	6.96%
Alta	11,540.57	30.25%
Muy alta	21,547.49	56.48%

Nota: Tabla de ponderaciones según el método de Mora y Vahrson (1994)

Se evidencia que en la vía se desarrolla predominantemente sobre zonas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad, representadas en colores naranja y rojo, se confirma con los datos cuantitativos de la tabla, donde la clase muy alta alcanza el 56.48 % (21,547.49 ha) y la

clase alta el 30.25 % (11,547.49 ha), lo que indica que más del 86 % del área de estudio presenta condiciones desfavorables para la estabilidad de laderas. la vía interseca de manera continua estas zonas críticas especialmente en sectores de laderas pronunciadas y cercanos a drenajes, donde la combinación de pendiente, materiales geológicos susceptibles, acumulación de humedad y factores detonantes incrementa significativamente la probabilidad de deslizamientos.

Al contrario de los tramos que atraviesan zonas de susceptibilidad media (6.96 %) y baja (6.31 %) son puntuales y discontinuos, lo que demuestra que las condiciones de estabilidad son limitadas a lo largo del recorrido, estos resultados muestran que la vía se encuentra en un entorno geomorfológicamente inestable la cual esta propensa a sufrir deslizamientos.

4.1.3 Determinar los factores que ejercen mayor influencia en la generación de deslizamientos en la zona de estudio, mediante el análisis e integración de la caracterización.

Con el fin de determinar los factores los factores que influyen en mayor medida en la ocurrencia de deslizamientos en la vía Chillanes - San José del Tambo se realizó un análisis comparativo de los factores condicionantes y detonantes considerando la susceptibilidad basada en la metodología de (Mora & Vahrson, 1994). El análisis se fundamentó en la cuantificación espacial de cada variable mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a través del uso de la herramienta Tabulate Area en ArcMap 10.5 que permitió estimar la proporción del área ocupada por cada clase dentro del área de estudio.

Los factores analizados fueron la pendiente, geología, Índice de Humedad Topográfico, precipitación y sismicidad los cuales fueron previamente reclasificados en categorías como: muy

bajo, bajo, medio, alto, muy alto) para integrarlos en el modelo de susceptibilidad sin la asignación de pesos diferenciados permitiendo evaluar su influencia relativa de manera objetiva.

Análisis por factor

Pendiente

En el análisis de factor pendiente evidencio que las clases correspondientes a pendientes altas y muy altas concentran mayor proporción del área dentro del recorrido vial superando el 60% del total analizado, esta distribución coincide con las zonas identificadas como de susceptibilidad alta y muy alta en el mapa final, lo que demuestra una relación directa entre la inclinación del terreno y la ocurrencia de deslizamientos.

Desde el punto de vista geomorfológico, las pendientes elevadas incrementan los esfuerzos cortantes y reducen la estabilidad de los materiales en contextos andinos donde predominan relieves escarpados y cortes de talud asociados a infraestructura vial.

Tabla 9: *Distribución de cuantificación espacial factor Pendiente*

Clase de pendiente	Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy baja	0.72	0.00 %
Baja	146.77	0.36 %
Media	1,434.02	3.54 %
Media Alta	12,234.29	30.21 %
Alta	12,906.84	31.87 %
Muy Alta	11,426.03	28.23 %
Total	38,148.67	100 %

Nota: *Clasificación porcentual y superficial realizado con ArcGis.*

Lo que indica en la Tabla es que la pendiente representa uno de los factores condicionantes más determinantes en la ocurrencia de deslizamientos en la Vía Chillanes – San

José del Tambo indicando en relación con el porcentaje desde media alta con 30,21%, alta 31,87% y muy alto 28,23% da un 89,13% lo que concentra un 91,31% una marcada predominancia de relieves escarpados, esta condiciones topográficas favorecen el incremento de esfuerzos cortantes y la disminución de la estabilidad de los materiales, especialmente cuando se combinan con otros factores.

Geología

El análisis geológico permitió identificar la predominancia de materiales volcánicos meteorizados, depósitos aluviales y formaciones poco consolidadas dentro del área de estudio por lo cual las unidades geológicas con menor resistencia mecánica coinciden espacialmente con zonas de susceptibilidad elevada, evidenciando su influencia en la estabilidad de las laderas.

Los materiales como cenizas volcánicas, suelos residuales y depósitos coluviales presentan alta permeabilidad y baja cohesión, lo cual favorece la infiltración de agua y la pérdida de resistencia al corte.

Tabla 10: Distribución de cuantificación espacial factor Geológico

Factor SI (Mora-Vahrson)	Geología	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Corneanas indiferenciadas	359.86	0.94 %
1	Intrusivo ácido o intermedio indiferenciado	4,904.89	12.86 %
2	Lava indiferenciada	31,032.27	81.35 %
4	Grava-ceniza	146.77	0.38 %
4	Cangagua	466.22	1.22 %
5	Depósito aluvial	1,298.95	3.40 %
-	Total	38,208.96	100 %

Nota: Clasificación porcentual y superficial realizado con ArcGis.

Como se observa en tabla se observa un claro predominio de Lava indiferenciada que ocupa el 81,35% por donde pasa la vía Chillanes – San José del Tambo indica que gran parte del territorio está constituido por materiales de origen volcánico que en condiciones naturales presenta resistencia relativa sin embargo cuando estos materiales se encuentran fracturados, meteorizados o alterados su comportamiento cambia favoreciendo a la ocurrencia de deslizamiento especialmente cuando se combina con pendientes elevadas.

Índice de Humedad

El análisis del Índice de Humedad Topográfico (TWI) es un variable esencial para saber cuál es factor que más influye en la incidencia de deslizamientos ya que modelar la propensión del terreno a la saturación hídrica mediante la relación entre el área de contribución y la pendiente esto facilita identificar las áreas con mayor convergencia de flujo de agua y con poros menor presión de poros, si bien la humedad contribuye a la saturación del suelo y a la reducción de la resistencia, su distribución espacial no es determinante en la generación de deslizamientos a escala regional.

Tabla 11: Distribución de cuantificación espacial factor Humedad

Índice de Humedad	Área (ha)	Porcentaje %
TWI BAJO	31,492.08	82.71 %
TWI MEDIO	0.00	0.00 %
TWI ALTO	5,006.25	13.14 %
TWI MUY ALTO	1,656.09	4.35 %
Total	38,154.42	100 %

Nota: Clasificación porcentual y superficial realizado con ArcGis.

Como podemos observar en la tabla se observa un claro predominio de la clase TWI bajo de 82,71 %, lo que indica que la mayor parte del área presenta condiciones de drenaje relativamente eficientes y menor acumulación de humedad superficial, pero es importante aclarar que en donde se encuentra el Trazado de la vía Chillanes – San José del Tambo encontramos presencia de zonas con TWI alto 13,14% y muy alto con 4,35% representando el 17,49% correspondiendo a áreas donde el agua tiende a concentrarse, incrementando la presión de poros y reduciendo la resistencia al corte de los materiales, La humedad influyen en la generación de deslizamientos especialmente en los lugares que presentan valores altos y muy altos.

Sismicidad

El análisis del factor sísmico evidenció una distribución prácticamente homogénea dentro del área de estudio, con valores cercanos al 68,77% y 31,23% entre las clases consideradas. Esta uniformidad espacial indica que la sismicidad no presenta una diferenciación significativa que permita explicar la localización de deslizamientos.

Si bien los sismos pueden actuar como detonantes en eventos puntuales, su influencia en este caso es limitada debido a la ausencia de contrastes espaciales marcados.

Tabla 12: Distribución de cuantificación espacial factor Sísmico

Clase de sismicidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Sismo predominante	11,928.15	31.23 %
Sismo moderado–alto	26,280.81	68.77 %
Total	38,208.96	100 %

Nota: Clasificación porcentual y superficial realizado con ArcGis.

Se evidencia que la parte de sismos predominantes se con un 31,23%, lo que indica una proporción considerable esto refuerza la presencia constante de actividad sísmica en la zona,

aunque esta categoría puede asociarse a eventos de menor magnitud relativa su recurrencia puede generar efectos acumulativos en la estructura de los suelos y rocas, debilitando progresivamente su estabilidad, su influencia es determinante en la activación de procesos de remoción en masa especialmente en escenarios donde el terreno ya presenta condiciones críticas de inestabilidad.

Precipitación

El análisis de precipitación anual mostró una variabilidad espacial moderada dentro del área de estudio, con rangos que van desde valores medios hasta altos. Aunque la precipitación actúa como un factor detonante al incrementar la saturación del suelo, su distribución relativamente homogénea limita su capacidad para discriminar zonas específicas de deslizamiento. En este contexto, la precipitación influye más como un desencadenante temporal que como un factor condicionante estructural.

Tabla 13: Distribución de cuantificación factor Precipitación

Clase de precipitación	Área (ha)	Porcentaje (%)
Baja	15,724.44	41.17 %
Media	4,980.60	13.03 %
Alta	17,489.40	45.80 %
Total	38,194.44	100 %

Nota: Clasificación porcentual y superficial realizado con ArcGis.

El análisis del factor precipitación se observa que la clase de precipitación alta representa el 45,80 % y baja representando el 41,14% son las que más predominan en la vía Chillanes – San José del Tambo lo cual genera un comportamiento contrastante en términos de estabilidad de laderas, en las áreas de precipitación baja las condiciones de menor saturación favorecen una

mayor estabilidad relativa del terreno pero no eliminan el riesgo, ya que eventos lluviosos intensos pueden generar infiltración rápida y activar deslizamientos.

Por otro lado, en las zonas de precipitación alta el riesgo mayor debido a la constante infiltración de agua que incrementa la presión de poros y disminuye la resistencia de los materiales mayormente cuando se combina con pendientes elevadas y suelos meteorizados, se determina que la precipitación alta constituye el principal factor detonante a lo largo del trazado vial y la precipitación baja representa condiciones de menor susceptibilidad, pero con potencial de activación bajo eventos extremos siendo un escenario de riesgo variable a lo largo de la vía.

Análisis Comparativo de los Factores de Susceptibilidad a deslizamientos

Para saber cuál es el Factor que influye más en la generación de deslizamiento en la vía Chillanes – San José del Tambo se realizó un análisis comparativo de los principales factores condicionantes y detonantes con el propósito de identificar aquellos que influyen en mayor medida en la inestabilidad del terreno, la construcción de la tabla final permitió sintetizar la información y establecer una jerarquización de los factores en función de su representatividad y su incidencia en la ocurrencia de deslizamientos se evidencio la interacción entre condiciones naturales del terreno y agentes desencadenantes, lo cual resulta fundamental para la toma de decisiones en la gestión del riesgo.

Tabla 14: Factores que más influyen a los deslizamientos

Factor	Porcentaje (%)	Interpretación
Pendiente alta + muy alta	90,31%	Factor condicionante principal controla la estabilidad de las laderas y favorece la ocurrencia de deslizamientos por el incremento de esfuerzos gravitacionales.
Geología susceptible	81,35%	Factor condicionante estructural determina la resistencia de los materiales especialmente si están meteorizados o fracturados.
Humedad TWI	17,49%	Factor complementario influye en zonas localizadas donde existe acumulación de agua.
Precipitación	86,97%	Principal factor detonante provoca saturación del suelo y aumento de presión de poros.
Sismicidad	31,23%	Factor detonante secundario puede activar deslizamientos en zonas previamente inestables.

Nota: Identificación de los factores condicionantes y detonantes.

Los deslizamientos en la vía Chillanes – San José del Tambo están determinados principalmente por la pendiente que actúa como factor condicionante; la precipitación cumple un rol clave como factor principal detonante; la geología procede a ser un factor estructural importante y aunque con menor incidencia la humedad aporta de forma complementaria en sectores específicos, en contraste con la sismicidad un factor detonante secundario presenta una influencia significativa en la distribución de los eventos. En conjunto, estos resultados evidencian que la gestión del riesgo debe priorizar intervenciones en zonas de alta pendiente bajo condiciones de lluvia intensa, donde se concentra la mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones


- Se determinaron las zonas susceptibles a deslizamientos a lo largo de vía Chillanes - San José del Tambo, identificando sectores específicos donde se concentran las condiciones propias para la ocurrencia de deslizamientos. La delimitación de las cinco zonas susceptibles evidenció que estos se concentran en áreas con pendientes marcadas y materiales poco consolidados, lo cual incrementa la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. Además, los resultados obtenidos mediante el modelamiento en el software GEO5 muestran factores de seguridad inferiores a los valores recomendados, confirmando la inestabilidad de los taludes analizados.
- La caracterización de los factores de susceptibilidad mediante la metodología de Mora-Vahrson, permitió establecer que el área de estudio presenta predominantemente niveles de susceptibilidad alta y muy alta. Además, a lo largo de la vía se evidenció un cambio climático progresivo hacia condiciones subtropicales conforme se desciende, lo cual influye en la dinámica de los deslizamientos.
- Se estableció que los deslizamientos son producto de la combinación de los factores condicionantes y desencadenantes. Entre los factores más influyentes se destaca las pendientes pronunciadas, mientras que la precipitación actúa como el principal agente detonante. Esta relación explica la recurrencia de eventos en determinados sectores de la vía.

5.2 Recomendaciones

- Emplear el mapa de las zonas susceptibles como instrumento técnico para la planificación y gestión de la vía, orientando la priorización de mantenimiento y la toma de decisiones en función del nivel de riesgo identificado en cada sector. Es conveniente que las entidades responsables integren esta información en sus planes operativos, con el fin de optimizar recursos y reducir la exposición a eventos de deslizamiento. Asimismo, se sugiere delimitar y señalar las zonas vulnerables para prevenir afectaciones a los transeúntes y facilitar acciones oportunas antes posibles emergencias.
- Es esencial utilizar los resultados obtenidos como base para la actualización y validación continua del análisis de la susceptibilidad, incorporando datos más específicos sobre la precipitación, condiciones geotécnicas y variaciones del suelo. Asimismo, se sugiere que esta información sea considerada en la planificación territorial y en el diseño de medidas preventivas orientadas a disminuir la incidencia de los factores que favorecen la inestabilidad del terreno.
- Incorporar la identificación de los factores condicionantes y desencadenantes dentro de un sistema de gestión del riesgo que permita anticipar la ocurrencia de deslizamientos en la zona de estudio. Es pertinente establecer protocolos de alerta basados en niveles críticos de precipitación y condiciones desfavorables del terreno, finalmente resulta necesario fortalecer la capacitación de las entidades responsables en la interpretación de estos factores, para mejorar la capacidad de respuesta.

Bibliografía

- Abdelbary, A., & Chang, L. (2023). Friction and wear. *Principles of Engineering Tribology*, 127–206. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99115-5.00011-6>
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21–44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K., & Lee, C. W. (2019). Assessment of Landslide Susceptibility Using Statistical- and Artificial Intelligence-Based FR–RF Integrated Model and Multiresolution DEMs. *Remote Sensing 2019, Vol. 11, Page 999, 11(9)*, 999. <https://doi.org/10.3390/rs11090999>
- Bastardo. (2023). *[Guía práctica] Análisis de Estabilidad de Taludes (Fellenius y Bishop) - Sismica Institute*. <https://sismica-institute.com/guia-practica-analisis-de-estabilidad-de-taludes-fellenius-bishop/>
- Bravo López, E., Castillo, T. F. Del, Sellers, C., & Delgado-García, J. (2023). Analysis of Conditioning Factors in Cuenca, Ecuador, for Landslide Susceptibility Maps Generation Employing Machine Learning Methods. *Land*, 12(6), 1–28. <https://ideas.repec.org/a/gam/jlands/v12y2023i6p1135-d1157547.html>
- Cabrera. (2021). “*Susceptibilidad a deslizamientos mediante el uso de SIG, a escala 1: 10 000, del tramo vial comprendido desde: el redondel del barrio el Plateado hasta el antiguo peaje del cantón Catamayo, provincia de Loja.*” Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24356>

- Camacho. (2021). Determinación del factor de seguridad para comparar técnicas de estabilización de taludes utilizando GEO5 caso: parque El Milagro, Huaraz, Áncash, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60818>
- Cobos Mora, S. L., Rodriguez Galiano, V., & Lima, A. (2023). Analysis of landslide explicative factors and susceptibility mapping in an andean context: The case of Azuay province (Ecuador). *Heliyon*, 9(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20170>
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (pp. 36–75). Transportation Research Board. https://www.researchgate.net/publication/269710331_CrudenDMVarnes_DJ1996_Landslide_Types_and_Processes_Transportation_Research_Board_US_National_Academy_of_Sciences_Special_Report_247_36-75
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3–4), 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>
- GEO 5 Perú. (2025).  *Características principales de GEO5 en 2026*. <https://geo5peru.pe/software-geotecnico/caracteristicas/>
- Global Mapper. (2025). *Global Mapper* | *GeOilEnergy*. <https://www.geoilenergy.com/es/software/geosoluciones/global-mapper>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: An update. *Landslides*, 5(1), 3–17. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>

- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, *81*(1–2), 166–184.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.007>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de La Investigación*, 1–634.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA>
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008a). The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides. In *U.S. Geological Survey*. (pp. 36–75).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3133/cir1325>
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008b). *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/cir1325>
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, *11*(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Keefer, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, *95*(4), 406–421. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95)
- Kopecký, M., Macek, M., & Wild, J. (2021). Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition. *Science of The Total Environment*, *757*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143785>
- Mora, C. , S., & Vahrson, W. ,G. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. *Environmental & Engineering Geoscience*, *xxxi*(1), 49–58.
<https://doi.org/10.2113/gseengeosci.xxxi.1.49>

- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180, 60–91.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2018). *GUÍA DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LA COMUNIDAD PRESENTACIÓN*. www.gestionderiesgos.gob.ec
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope Materials and Processes*. . Oxford Oxford University Press.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2898355>
- Suárez. (2017). *TALUD Y TALUD NATURAL DEFINICIONES Y TIPOS – Geotecnia y Mecanica de Suelos*. <https://www.mecanicasuelosabcchile.com/talud-natural/>
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico* (Universidad & Industrial de Santander (UIS)., Eds.; Vol. 1). <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Torres. (2021). *Estabilidad de Taludes by Adamari Torres on Prezi*.
https://prezi.com/p/hdqcbxc_ueio/estabilidad-de-taludes/
- Van Westen, C. (1997). Statistical landslide hazard analysis. *ILWIS*, 73–84.
https://www.academia.edu/2489720/Statistical_landslide_hazard_analysis
- Varnes, DJ. (1978). Slope Movement Types and Processes. In R. L. Schuster & Krizek R. J. (Eds.), *Landslides: Analysis and control* (pp. 11–33). National Academy of Sciences.
<https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>
- WHITMAN, L. (2014). *LAMBE Y WHITMAN - MECANICA DE SUELOS.pdf*. 552.
<https://es.scribd.com/document/382633206/Cohesion-y-Friccion>

Yu, H., Pei, W., Zhang, J., & Chen, G. (2023). Landslide Susceptibility Mapping and Driving Mechanisms in a Vulnerable Region Based on Multiple Machine Learning Models. *Remote Sensing* 2023, Vol. 15, Page 1886, 15(7), 1886. <https://doi.org/10.3390/rs15071886>

Anexos



