

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN
EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VÍA FÉRREA CUSCO-
HIDROELÉCTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO,
PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024.**

PRESENTADO POR:

Br. MIRELLA APAZA ARONI

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE:**

INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR:

Mg. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

CUSCO-PERU

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Edison Santiago Mattos Ojeda.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: Evaluación de riesgo por deslizamiento
de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea
Cusco - Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de
Urubamba, departamento de Cusco - 2024.

Presentado por: Mirella Apaza Aroni..... DNI N° 75178161 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Geólogo.....

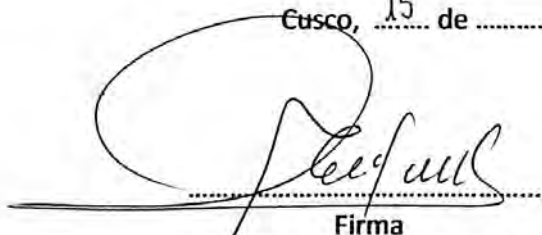
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de mayo..... de 2026.....


Firma

Post firma Edison Santiago Mattos Ojeda

Nro. de DNI 23853084

ORCID del Asesor 0000-0002-3236-025X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:590425377

Mirella Apaza

Evaluación de Riesgo por Deslizamiento de Talud en el Tramo m 78+000 al Km 81+000 de la Vía Férrea Cusco- Hidroeléctrica

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:590425377

Fecha de entrega

13 may 2026, 10:07 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 may 2026, 10:13 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Apaza, Mirella.pdf

Tamaño del archivo

15.0 MB

217 páginas

33.602 palabras

191.932 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)
- ▶ Fuentes de Internet
- ▶ Base de datos de Crossref
- ▶ Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
26 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con mucho amor a mi madre Edith, por su apoyo incondicional y fortaleza inquebrantable , gracias por darme valentía en cada paso.

Para mis abuelos Sabina y Juan, por ser mi soporte, motivación e inspiración para cumplir mis sueños. Por darme tanto amor.

Para mi tía Mary Luz por su apoyo, amor y compañía. Gracias por estar conmigo en cada etapa y cada meta alcanzada.

Para mi hermana Morelia quien es mi compañía, apoyo y fortaleza.

A mi Padre Percy por su apoyo y cariño, gracias por creer en este sueño.

A mi pequeña hermana Fabiana, por creer en mí y sacarme sonrisas en todo momento.

A Vianney quien con su comprensión y paciencia me demostró que una familia se construye desde el corazón.

Y a mi hermano Sebastián que desde el cielo me cuida y me inspira a ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con una hermosa familia, por darme la oportunidad de cumplir este sueño junto a ellos.

A mis asesores Mgt.Ing. Edison Santiago Mattos Ojeda y al Ing. Jefferson Chara Holguin por su orientación y apoyo en el proceso de elaboración de esta tesis.

A los profesionales que conocí durante mis primeras experiencias laborales, gracias por enseñarme a confiar más en mí, por sus enseñanzas, y buenos consejos.

A todos mis amigos con los que compartí mi etapa universitaria, fueron un gran apoyo académico y personal durante cada año de estudio en la carrera.

Agradezco también a mis amigos y amigas a quienes conocí fuera de las aulas, fueron un apoyo constante en el camino a este momento. Gracias por acompañarme en esta etapa distinta, llena de cambios, aprendizajes, y nuevos comienzos.

Y a todas las personas con las que en algún momento compartí cuanto anhelaba este momento. Me alegra saber que fuera de las aulas también se construyen vínculos profundos, sinceros y duraderos. Gracias por ser parte de mi proceso.

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal determinar el nivel de riesgo por deslizamiento de taludes en el tramo comprendido entre el kilómetro 78+000 y el kilómetro 81+000 de la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica, ubicada en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento del Cusco. Para ello, se desarrolló una metodología que integró el uso de herramientas geoespaciales (ArcGIS) y software de análisis geotécnico (Slide) para evaluar la estabilidad de los taludes en el área de estudio.

El trabajo de investigación analiza las características geográficas, geológicas y geotécnicas de la zona de estudio, considerando aspectos como geomorfología, pendientes, mecánica de suelos y condiciones sísmicas. El análisis de estabilidad identificó factores de seguridad menores a 1.28, evidenciando una condición crítica con riesgo de deslizamientos, especialmente ante lluvias o actividad sísmica.

Asimismo, se evalúan los peligros, vulnerabilidades y niveles de riesgo mediante la elaboración de mapas temáticos y el cálculo de daños y pérdidas probables. Finalmente, se proponen medidas de prevención y reducción del riesgo, tanto estructurales como no estructurales, además de presentar conclusiones y recomendaciones para la mitigación de impactos.

Los resultados identificaron zonas con alto peligro de deslizamientos debido a condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas desfavorables. Además, se determinaron áreas con alta vulnerabilidad por la proximidad de la infraestructura ferroviaria a taludes inestables, la falta de obras de protección y el tránsito constante de personas y carga.

PALABRAS CLAVE: Riesgo por deslizamiento, Estabilidad de taludes, Análisis geotécnico, Infraestructura ferroviaria, Cusco.

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to determine the level of risk of landslides along the section of the Cusco–Hydroelectric railway line between kilometer 78+000 and kilometer 81+000, located in the district of Ollantaytambo, province of Urubamba, department of Cusco. To this end, a methodology was developed that integrated the use of geospatial tools (ArcGIS) and geotechnical analysis software (Slide) to evaluate the stability of the slopes in the study area.

The research analyzes the geographical, geological, and geotechnical characteristics of the study area, considering aspects such as geomorphology, slopes, soil mechanics, and seismic conditions. The stability analysis identified safety factors less than 1.28, indicating a critical condition with a risk of landslides, especially in the event of rainfall or seismic activity.

Hazards, vulnerabilities, and risk levels are also assessed through the development of thematic maps and the calculation of probable damages and losses. Finally, structural and non-structural risk prevention and reduction measures are proposed, along with conclusions and recommendations for impact mitigation.

The results identified areas with a high risk of landslides due to unfavorable geological, geomorphological, and geotechnical conditions. Furthermore, areas with high vulnerability were identified due to the proximity of railway infrastructure to unstable slopes, the lack of protective structures, and the constant transit of people and cargo.

KEYWORDS: Landslide risk, Slope stability, Geotechnical analysis, Railway infrastructure, Cusco.

INDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	17
1.1. INTRODUCCION.....	17
1.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	19
1.2.1. Ubicación política.....	19
1.2.2. Ubicación geográfica y UTM.....	19
1.2.3. Zona de estudio.....	22
1.2.4. Accesibilidad.....	22
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.3.1. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	24
1.3.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	26
1.3.3. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	27
1.4. CONDICIONES CLIMATICAS.....	33
1.4.1. Clima.....	33
1.4.2. Precipitación.....	34
1.4.3. Modelos de distribución.....	39
1.4.4. Precipitación intensa y periodos de recurrencia.....	41
1.4.5. Umbrales propuestos y analizados por SENAMHI.....	43
1.4.6. Hidrodinámica de los ríos.....	44
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	46
2.1. ANTECEDENTES.....	47
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	47
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	49
2.1.3. Antecedentes Regionales.....	51
2.1.4. Antecedentes Locales.....	52
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	53

2.2.1.	Movimientos en masa.....	53
2.2.2.	Deslizamiento	54
2.2.3.	Talud.....	55
2.2.4.	Factor de seguridad.....	55
2.2.5.	Tipos de deslizamiento	55
2.2.6.	Riesgos por movimientos de masa	56
2.2.7.	Peligro.....	56
2.2.8.	Factores condicionantes.....	56
2.2.9.	Factores desencadenantes	56
2.2.10.	Vulnerabilidad	57
2.2.11.	Estimación o cálculo del riesgo	57
2.2.12.	Sistema de informacion geográfica (SIG)	57
2.2.13.	Slide 6.0	58
2.3.	VARIABLES	59
2.3.1.	Evaluación de riesgo.....	59
2.3.2.	Deslizamiento	59
2.3.3.	Talud.....	59
2.4.	HIPOTESIS	60
2.5.1.	Hipótesis General	60
2.5.2.	Hipótesis Especificas.....	60
2.5.	METODO DE INVESTIGACION.....	62
2.6.1.	ENFOQUE	62
2.6.2.	TIPO DE INVESTIGACION:.....	62
2.6.3.	DISEÑO DE INVESTIGACION:.....	63
2.6.4.	INFRAESTRUCTURA	63
2.6.5.	MUESTRA	63
2.6.6.	TECNICAS E INSTRUMENTOS	63

2.6.7.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS	65
2.6.8.	RECOLECCION DE DATOS	66
CAPITULO III: CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO 68		
3.1.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	68
3.1.1	Terraza aluvial	68
3.1.2	Talud aluvial.....	68
3.1.3	Cárcava de socavación fluvial	69
3.1.4	Cauce de rio	69
3.1.5	Terraplén.....	69
3.1.6	Ladera de montaña	70
3.2.	UNIDADES GEOLÓGICAS	72
3.2.1	Complejo metamórfico Ollantaytambo (CAOi-o-esq,cct)	72
3.2.2	Depósitos aluviales antiguos (Qh-al1)	73
3.2.3	Depósitos aluviales recientes (Qh-al2)	74
3.2.4	Depósitos coluviales (Qh-co)	75
3.3.	ZONIFICACION GEOTÉCNICA	78
3.3.1	Grava y bloques angulosos en matriz arenosa (GP)	78
3.3.2	Grava malgradada limoarenosa (GP-GM)	79
3.3.3	Grava y bloque subanguloso a subredondo en matriz limoarenosa. (Pt/GP-GM)	79
3.3.4	Arena limosa bien gradada con presencia de gravas subangulosas (Pt/SW-SM)	79
3.3.5	Bloques subredondeados heterometricos y gravas (B)	80
3.4.	PENDIENTES	83
3.4.1.	Pendiente suave (menor a 11.3 °)	84
3.4.2.	Pendiente moderada (11.3 ° a 26.6°)	84
3.4.3.	Pendiente fuerte (26.6° a 45°)	85
3.4.4.	Pendiente muy fuerte (45° a 63.4°)	85

3.4.5. Pendiente muy escarpada (mayor a 63.4°)	85
CAPITULO IV: ASPECTOS GEOTECNICOS	87
2.1. GENERALIDADES	87
4.1.1. MARCO NORMATIVO.....	87
4.1.2. SISMICIDAD Y SISMICA.....	87
4.1.3. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS SISMICOS SEGÚN NORMA E030. De acuerdo con nueva Norma Técnica E-30 y el predominio del suelo bajo el lugar de estudio, se recomienda adoptar Diseños Sismo-Resistentes, tomando en consideración los siguientes parámetros:	91
4.1.4. ACELERACIONES SÍSMICAS NORMALIZADAS.....	93
2.2. MECANICA DE SUELOS.....	96
2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	97
2.4. DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA	98
2.5. EVALUACION DE LA ESTABILIDAD DE TALUD	108
4.5.1. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA.....	108
4.5.2. CONSIDERACIONES SISMICAS	110
4.5.3. SECCIONES CRITICAS A ANALIZAR.....	112
4.5.4. DESARROLLO DEL TRABAJO REALIZADO	118
CAPITULO V: DETERMINACION DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD	134
2.1. Metodología para la determinación del peligro	134
2.2. Recopilación y análisis de informacion	135
2.3. Identificación del tipo de peligro	136
2.4. Caracterización del peligro por deslizamiento.....	137
2.5. Ponderación de los parámetros de evaluación	137
5.5.1. Parámetro: Factor de seguridad	137
2.6. Susceptibilidad del territorio.....	138
5.6.1. Factores condicionantes.....	138
5.6.2. Factores desencadenantes	143

2.7.	Análisis de los elementos expuestos	144
2.8.	Determinación de posibles situaciones de riesgo.....	145
2.9.	Calculo de rangos de la susceptibilidad	145
2.10.	Nivel de peligrosidad	147
2.11.	Estratificación del nivel de peligrosidad	148
CAPITULO VI: ANALISIS DE VULNERABILIDAD		150
6.1.	Metodología para el análisis de la vulnerabilidad.....	150
6.2.	Análisis de la vulnerabilidad.....	150
6.2.1.	Análisis de la dimensión económica	150
6.2.2.	Jerarquía de la dimensión económica.....	155
6.2.3.	Estratificación de los niveles de vulnerabilidad	156
CAPITULO VII: CALCULO DEL RIESGO.....		158
7.1.	Metodología para el cálculo de riesgo	158
7.2.	Calculo del riesgo	158
7.3.	Niveles de riesgo.....	159
7.4.	Estratificación del nivel de riesgo.....	160
7.4.1.	Estratificación del nivel de riesgo por deslizamiento	160
CAPITULO VIII: CONTROL DEL RIESGO		162
8.1.	Aceptabilidad y tolerancia del riesgo.....	162
8.1.1.	Valoración de consecuencias.....	162
8.1.2.	Valoración de frecuencias	163
8.1.3.	Nivel de consecuencias y daños	163
8.1.4.	Aceptabilidad y/o tolerancia.....	163
8.1.5.	Prioridad de intervención	164
8.2.	Riesgo por deslizamiento	165
CAPITULO IX: RESULTADOS		166
CAPITULO X: MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES.....		170

2.1. Medidas estructurales	170
10.1.1. Medidas no estructurales	171
CONCLUSIONES.....	172
RECOMENDACIONES	174
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	176

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ubicación política de la zona de estudio</i>	19
Tabla 2 <i>Coordenadas geográficas</i>	19
Tabla 3 <i>Coordenadas geográficas</i>	20
Tabla 4 <i>Accesibilidad a la zona de estudio</i>	22
Tabla 5 <i>Parámetros Climáticos promedio</i>	33
Tabla 6 <i>Prueba de bondad de ajuste</i>	36
Tabla 7 <i>Distribución de Log Pearson</i>	37
Tabla 8 <i>Parámetros estadísticos en la estación Urubamba(Pmax24)</i>	38
Tabla 9 <i>Ajuste de las distribuciones de la estación Urubamba</i>	40
Tabla 10 <i>Resumen de bondad de ajuste de la estación Urubamba</i>	41
Tabla 11 <i>Periodo de recurrencia y precipitación de diseño</i>	42
Tabla 12 <i>Parámetros de la cuenca Vilcanota</i>	45
Tabla 13 <i>Clasificación de movimientos en masa</i>	54
Tabla 14 <i>Instrumentos utilizados en la investigación</i>	65
Tabla 15 <i>Rango de pendientes</i>	83
Tabla 16 <i>Determinación del factor zona</i>	91
Tabla 17 <i>Clasificación típica de suelos según el perfil (basado en la Norma E.030)</i> ..	92
Tabla 18 <i>Valores típicos del Factor “S” según tipo de suelo y zona sísmica.</i>	92
Tabla 19 <i>Periodos característicos TP y TL según zona sísmica</i>	93
Tabla 20 <i>Normas aplicadas en campo</i>	96
Tabla 21 <i>Ensayo estándar y especiales</i>	97
Tabla 22 <i>Coordenadas de las calicatas</i>	98
Tabla 23 <i>Detalles del análisis</i>	108
Tabla 24 <i>Factor de zona Peru E30-2018</i>	110

Tabla 25 <i>Clasificación de suelos de acuerdo amplificación E030 -2018.</i>	110
Tabla 26 <i>Factor de zona Perú E030 -2018.</i>	111
Tabla 27 <i>Datos sísmicos taludes a modelar.</i>	111
Tabla 28 <i>Datos Sísmicos de la zona de estudio</i>	112
Tabla 29 <i>Líneas de investigación geotécnica de estabilidad de taludes</i>	112
Tabla 30 <i>Datos Sísmicos</i>	126
Tabla 31 <i>Ubicación de las evaluaciones de estabilidad de taludes</i>	133
Tabla 32 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación</i>	138
Tabla 33 <i>Matriz de normalización de pares del parámetro de evaluación</i>	138
Tabla 34 <i>Matriz de comparación de pares de pendiente</i>	139
Tabla 35 <i>Matriz de normalización de pares de pendiente</i>	139
Tabla 36 <i>Matriz de comparación de pares</i>	140
Tabla 37 <i>Matriz de normalización de pares</i>	140
Tabla 38 <i>Matriz de comparación de pares</i>	141
Tabla 39 <i>Matriz de normalización de pares</i>	141
Tabla 40 <i>Matriz de comparación de pares</i>	142
Tabla 41 <i>Matriz de normalización de pares</i>	142
Tabla 42 <i>Matriz de comparación de pares para precipitación</i>	143
Tabla 43 <i>Determinación de intervalos para el parámetro evaluado</i>	145
Tabla 44 <i>Calculo de intervalos del factor desencadenante</i>	146
Tabla 45 <i>Calculo de intervalos del factor condicionante</i>	146
Tabla 46 <i>Calculo de rangos de la susceptibilidad</i>	146
Tabla 47 <i>Calculo de rangos de los niveles de peligro</i>	147
Tabla 48 <i>Niveles de peligro</i>	147
Tabla 49 <i>Síntesis del análisis de vulnerabilidad</i>	150
Tabla 50 <i>Matriz de comparación de pares dimensión económica</i>	151
Tabla 51 <i>Matriz de normalización de dimensión económica</i>	151
Tabla 52 <i>Matriz de comparación de pares dimensión económica</i>	152
Tabla 53 <i>Matriz de normalización de la dimensión económica</i>	152
Tabla 54 <i>Matriz de comparación de pares dimensión económica</i>	152
Tabla 55 <i>Matriz de normalización de la dimensión económica</i>	153
Tabla 56 <i>Matriz de comparación de pares dimensión económica</i>	153
Tabla 57 <i>Matriz de normalización de la dimensión económica</i>	153
Tabla 58 <i>Matriz de comparación de pares dimensión económica</i>	154

Tabla 59 <i>Matriz de normalización de la dimensión económica</i>	154
Tabla 60 <i>Calculo y ponderación de pesos de los descriptores de vulnerabilidad</i>	155
Tabla 61 <i>Niveles de vulnerabilidad</i>	155
Tabla 62 <i>Estratificación de los niveles de vulnerabilidad</i>	156
Tabla 63 <i>Cálculo de los niveles de riesgo</i>	159
Tabla 64 <i>Niveles de riesgo</i>	159
Tabla 65 <i>Estratificación de los niveles de riesgo</i>	160
Tabla 66 <i>Valoración de consecuencias</i>	162
Tabla 67 <i>Valoración de frecuencia</i>	163
Tabla 68 <i>Nivel de consecuencia y daños</i>	163
Tabla 69 <i>Aceptabilidad y tolerancia</i>	163
Tabla 70 <i>Nivel de prioridad de intervención</i>	164
Tabla 71: Resistividad de materiales	188

INDICE DE FIGURAS/FOTOS Y MAPAS

Figura 1:Comportamiento de la precipitación anual 2024	35
Figura 2:Comportamiento de la precipitación histórica	35
Figura 3:Distribuciones de probabilidad	36
Figura 4:Función densidad de probabilidad	37
Figura 5: Umbrales mínimos y máximos de la estación Urubamba.....	39
Figura 6:Distribuciones de probabilidad de las precipitaciones máximas en 24 horas..	40
Figura 7:Precipitación de diseño-periodo de retorno	43
Figura 8:Hidrograma del río Vilcanota, estación Chilca.....	44
Figura 9:Cuenca del río Vilcanota estación Chilca	44
Figura 10:Zonificación sísmica	87
Figura 11:Imagen 1: Izquierda: Mapa sísmico del Perú donde se aprecia el departamento del Cusco con las zonas que son más propensas a sufrir los embates sísmicos. Fuente IGP. Derecha: Mapa de Zonas de Mayor Concentración de Sismos Superficiales (color rojo)	88
Figura 12:Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas en el Dpto. de Cusco	89
Figura 13:Fallas geológicas que influyen en el tramo del km 78+000 al km 81+000 ...	90
<i>Figura 14:Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años ..</i>	94
<i>Figura 15:Mapa de ordenadas espectrales</i>	95
Figura 16:Distribución de calicatas	113

Figura 17:Partes el talud para analizar	113
Figura 18:Linea a analizar 01	114
Figura 19:Linea a analizar 02	115
Figura 20:Linea a analizar 03	115
Figura 21:Linea a analizar 04	116
Figura 22:Linea a analizar 05	116
Figura 23:Linea a analizar 06	117
Figura 24:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius (LINEA 01).....	120
Figura 25:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop (LINEA 01).....	120
Figura 26:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius	121
Figura 27:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop ...	121
Figura 28:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius	122
Figura 29:Imagen 18:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop.....	122
Figura 30:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius	123
Figura 31:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop ...	123
Figura 32:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius	124
Figura 33:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop ...	124
Figura 34:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius	125
Figura 35:Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop ...	125
Figura 36:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Fellenius	126
Figura 37:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop ...	127
Figura 38:Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius	127
Figura 39:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop ...	128
Figura 40:Imagen 29: Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius	128
Figura 41:Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Bishop ..	129
Figura 42:Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius	129
Figura 43:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop ...	130
Figura 44:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Fellenius	131
Figura 45:Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop ...	132
Figura 46:Metodología de análisis de peligro por deslizamiento de talud	134

Figura 47:Flujograma general del análisis de información	136
Figura 48:Metodología para determinar vulnerabilidad.....	150
Figura 49. Análisis del peligro por progresiva del kilómetro 78+00 al 81+000.	168
Figura 50:Ubicación geográfica de la línea de investigación TRE01 y TRE02.....	182
Figura 51:Ubicación geográfica de la línea de investigación TRE03 y TRE04.....	183
Figura 52 Arreglo de dispositivos TRE-01	185
Figura 53 Arreglo de dispositivos TRE-02	185
Figura 54 Arreglo de dispositivos TRE-03	186
Figura 55 Arreglo de dispositivos TRE-04	186
Figura 56:Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografía TRE01.....	190
Figura 57:Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografía TRE02.....	190
Figura 58:Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografía TRE03.....	191
Figura 59:Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografía TRE04.....	191
Fotografía 1:Chilca-Ollantaytambo km 80.....	20
<i>Fotografía 2:Clima Ollantaytambo</i>	34
<i>Fotografía 3:Derrumbe y accidente en el KM 80</i>	52
<i>Fotografía 4:Terraza aluvial</i>	68
<i>Fotografía 5:Talud aluvial contiguo a la vía férrea.</i>	68
<i>Fotografía 6:Cauce del rio Vilcanota</i>	69
<i>Fotografía 7:Terraplen de la vía férrea</i>	70
<i>Fotografía 8:Ladera de montaña</i>	70
<i>Fotografía 9:Complejo metamórfico Ollantaytambo</i>	73
<i>Fotografía 10:Depósitos aluviales antiguos</i>	74
<i>Fotografía 11:Depósitos aluviales recientes</i>	74
<i>Fotografía 12:Depositos coluviales</i>	75
Fotografía 13:Depósitos fluviales y boloneria	76
<i>Fotografía 14:Grava y bloques angulosos en matriz arenosa</i>	78
<i>Fotografía 15:Grava malgradada limoarenosa</i>	79
<i>Fotografía 16:Arena limosa bien gradada con presencia de gravas subangulosas</i>	80
<i>Fotografía 17:Bloques subredondeados heterometricos y gravas</i>	80
Fotografía 18:Determinación del límites de consistencia y humedad.....	192
Fotografía 19:Determinación de la granulometría y peso específico	192
Fotografía 20:Determinacion de peso especifico	193

Fotografía 21:Determinación de los límites de Atterberg y granulometría.....	193
Fotografía 22:Determinación de la humedad	193
Fotografía 23:Determinación del peso específico	194
Fotografía 24:Determinación de peso específico	194
fotografía 25:límite de Atterberg	194
fotografía 26:Determinación del peso específico y límites Atterberg	195
Fotografía 27:Determinación de la Granulometría y la humedad	195
fotografía 28:Determinación de granulometría	196
Fotografía 29:Determinación de límite de consistencia y humedad	196
Fotografía 30:Ejecución del ensayo corte directo	196
Mapa 1:Mapa de Ubicación.....	21
Mapa 2:Mapa geomorfológico	71
Mapa 3:Mapa geológico	77
Mapa 4:Mapa de ubicación de calicatas	81
Mapa 5:Mapa geotécnico	82
Mapa 7:Mapa de pendientes	
Mapa 8:Mapa de nivel de peligro	149
Mapa 9:Mapa de vulnerabilidad	157
Mapa 10:Mapa de riesgo por deslizamiento.....	161
Mapa 11:Problemas identificados y medidas	

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1.INTRODUCCION

Ante la presencia de inestabilidad geotécnica en zonas críticas de la vía férrea Cusco– Hidroeléctrica, la presente tesis tiene como finalidad principal determinar el nivel de riesgo por deslizamiento de taludes en el tramo comprendido entre el kilómetro 78+000 y el kilómetro 81+000, ubicado en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, región Cusco. Esta problemática representa una amenaza significativa para la seguridad de la infraestructura ferroviaria, así como para la integridad de los usuarios y el normal desarrollo de las actividades de transporte y turismo en la zona.

El tramo de estudio forma parte de un corredor ferroviario estratégico y de gran importancia económica y turística, debido a que constituye una de las principales vías de acceso al Santuario Histórico de Machu Picchu, reconocido como uno de los destinos turísticos más importantes del Perú y del mundo. Sin embargo, las condiciones geomorfológicas, geológicas y climáticas del área favorecen la ocurrencia de procesos de remoción en masa, especialmente durante temporadas de intensas precipitaciones, generando riesgos constantes de deslizamientos y afectación de los taludes adyacentes a la vía férrea.

Frente a esta situación, resulta fundamental desarrollar un análisis geodinámico detallado que permita identificar los factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad de taludes. Para ello, se plantea el empleo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), levantamiento geotécnico de campo, estudios de mecánica de suelos in situ y ensayos de laboratorio, orientados a caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del terreno. Asimismo, el análisis permitirá zonificar las áreas de mayor susceptibilidad y establecer el nivel de riesgo existente en el tramo evaluado.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se propondrán medidas de prevención, estabilización y mitigación que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura ferroviaria, garantizar la seguridad operativa de la vía y minimizar posibles impactos económicos, sociales y ambientales asociados a eventos de deslizamiento.

1.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.2.1. Ubicación política

La zona de estudio se ubica en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba y departamento de Cusco (Tabla 1).

Tabla 1 *Ubicación política de la zona de estudio*

Departamento:	Cusco
Provincia:	Urubamba
Distrito:	Ollantaytambo

1.2.2. Ubicación geográfica y UTM

Geográfica: El tramo de estudio se encuentra en el distrito de Ollantaytambo según los puntos descritos en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2 *Coordenadas geográficas*

Km 78+000	Longitud: -72.351687° Latitud: -13.223174°
Km 81+000	Longitud: -72.363658° Latitud: -13.219009°

UTM: Las coordenadas UTM que corresponden al tramo de estudio están representadas en la siguiente tabla (Tabla 3).

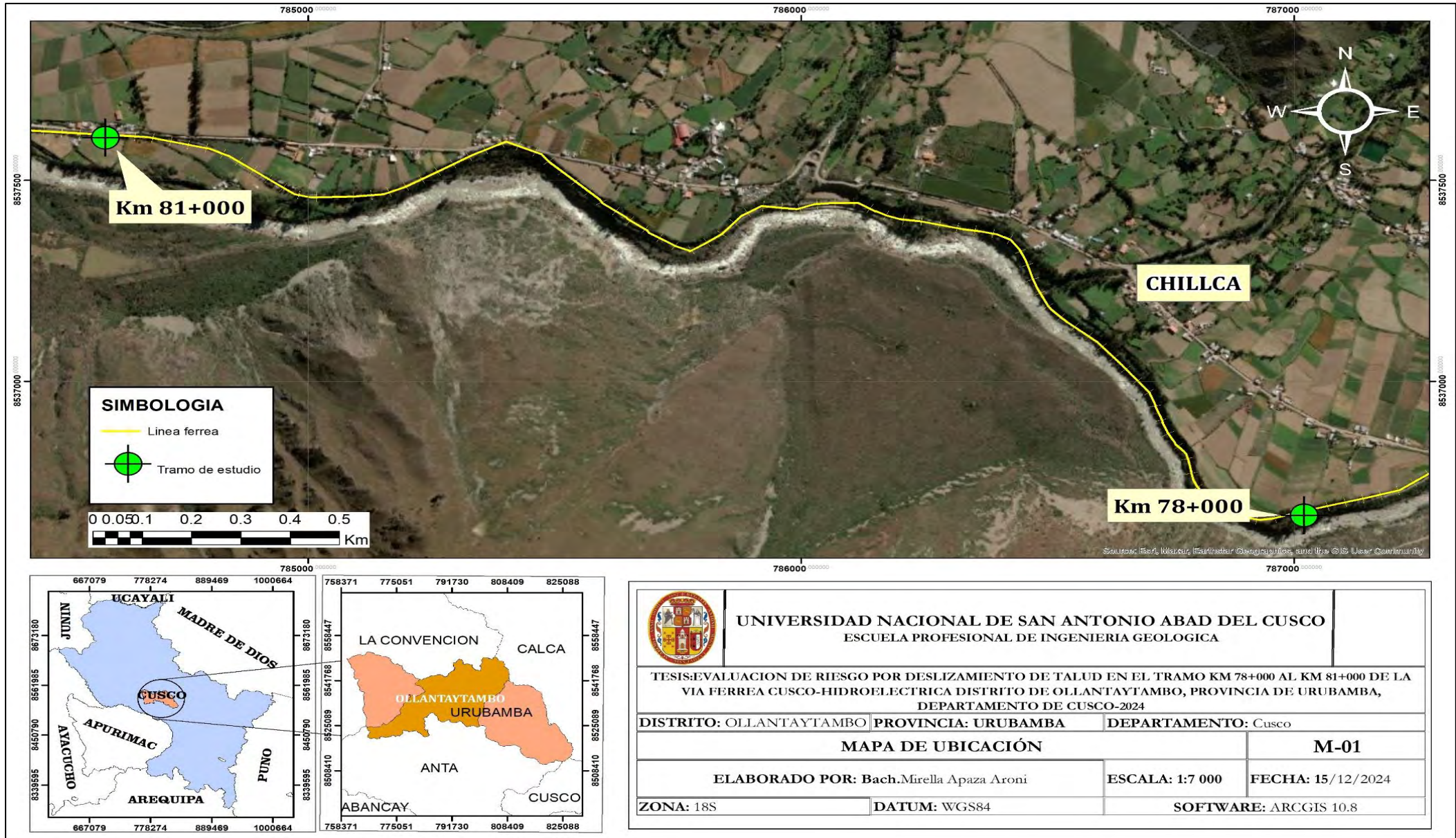
Tabla 3 *Coordenadas geográficas*


Coordenada		
Km 78+000	ESTE	787020.68 m E
	NORTE	8536666.70 m S



Fotografía 1: Chilca-Ollantaytambo km 80

Mapa 1: Mapa de Ubicación



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
	TESIS: EVALUACION DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VIA FERREA CUSCO-HIDROELECTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024	
DISTRITO: OLLANTAYTAMBO		PROVINCIA: URUBAMBA
DEPARTAMENTO: Cusco		
MAPA DE UBICACIÓN		M-01
ELABORADO POR: Bach. Mirella Apaza Aroni		ESCALA: 1:7 000
		FECHA: 15/12/2024
ZONA: 18S	DATUM: WGS84	SOFTWARE: ARCGIS 10.8

Fuente: Google Earth

1.2.3. Zona de estudio

La zona de estudio corresponde al tramo que inicia en el Km 78+000 hasta el Km 81+000 que abarca un aproximado de 3 kilómetros lineales, donde se realizó la recolección de datos para la evaluación de riesgo.

1.2.4. Accesibilidad

La accesibilidad al tramo de la vía férrea por carretera es siguiendo la ruta 3S, CU-110 y carretera 28B hacia CU-917, luego se continua hacia la ruta CU-917 hasta llegar a la zona a evaluar, tomándonos un tiempo aproximado de 1 hora con 50 minutos recorriendo una distancia de 72.9 km, a continuación, se detalla la accesibilidad.

Tabla 4 *Accesibilidad a la zona de estudio*

PUNTO DE PARTIDA	PUNTO DE LLEGADA	VIA	Km	TIEMPO
Cusco	Centro Poblado de Anta	3S -Asfaltado	27.1	45 min
Anta	Centro Poblado de Pachar	CU-110-Asfaltado.	30.2	42 min.
Pachar	Centro poblado de Chilca	28B- Asfaltado CU-917	15.6	23 min.
		TOTAL	72.9	1h 50 min.

1.3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el tramo de estudio de la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica, comprendido entre el km 78+000 y el km 81+000, se evidencia de manera recurrente la ocurrencia de procesos de geodinámica externa, principalmente deslizamientos asociados a la inestabilidad de taludes. Sin embargo, existe una brecha de conocimiento relacionada con la falta de una evaluación integral que permita identificar con precisión las condiciones geológicas, geotécnicas y geomorfológicas que controlan estos procesos y cómo estos afectan directamente la seguridad y operatividad de la infraestructura ferroviaria. Esta limitación dificulta la adecuada estimación del nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo en el sector estudiado.

La problemática se encuentra condicionada por diversos factores naturales, entre ellos la presencia de pendientes pronunciadas, depósitos cuaternarios altamente susceptibles a la erosión y saturación, así como afloramientos pertenecientes al Complejo Metamórfico Ollantaytambo, compuesto predominantemente por esquistos con planos de foliación que actúan como potenciales superficies de deslizamiento. Estas características generan escenarios de inestabilidad que incrementan la probabilidad de afectación sobre la vía férrea.

Frente a esta situación, la solución planteada en la presente investigación se desarrolla en función de la necesidad de evaluar integralmente los taludes y determinar el nivel de riesgo existente en el tramo ferroviario. Para ello, es necesario realizar el reconocimiento y análisis de las condiciones geológicas, geotécnicas, geomorfológicas y climáticas que influyen en la generación de deslizamientos. Asimismo, se requiere identificar y analizar los niveles de

peligro y vulnerabilidad de la infraestructura ferroviaria, considerando factores como el estado de conservación de la vía, la proximidad a zonas inestables y la recurrencia de eventos previos.

La realización de este estudio es necesaria porque permitirá conocer las zonas críticas de inestabilidad de taludes y establecer criterios técnicos para la evaluación del riesgo. Además, los resultados obtenidos servirán como base para la formulación de medidas de prevención y mitigación orientadas a reducir los impactos sobre la infraestructura ferroviaria, garantizando la seguridad, continuidad operativa y sostenibilidad del sistema ferroviario Cusco–Hidroeléctrica.

1.3.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.3.1.1. Problema general

¿Cuál es el nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?

1.3.1.2. Problemas específicos

- ❖ ¿Cuál es el nivel de peligro por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las características geológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las características geotécnicas del suelo para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las características geomorfológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?
- ❖ ¿Cuáles son las medidas estructurales y no estructurales para la prevención y/o reducción del riesgo para deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?

1.3.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1.3. Objetivo general

Evaluar el nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica ,distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.

1.3.1.4. Objetivos específicos

- ❖ Establecer el nivel de peligro por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica , distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco
- ❖ Identificar las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.
- ❖ Establecer las características geológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.
- ❖ Establecer las características geotécnicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.

- ❖ Establecer las características geomorfológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.
- ❖ Sugerir estrategias tanto estructurales como no estructurales orientadas a la prevención y mitigación del riesgo en evaluación.

1.3.3. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

1.3.1.5. Justificación social

Esta tesis tiene una significativa importancia social, al centrarse en una problemática que afecta de manera directa a la seguridad de los usuarios de la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica, en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba. Esta línea ferroviaria es un eje de conectividad vital entre la ciudad del Cusco y el Santuario Histórico de Machu Picchu.

Los constantes deslizamientos de taludes en este tramo constituyen una amenaza recurrente para los usuarios del sistema ferroviario, generando situaciones de emergencia que pueden poner en riesgo la integridad física de los pasajeros y trabajadores del servicio ferroviario. Además, las interrupciones del tránsito ferroviario afectan la economía de la región.

Asimismo, muchas comunidades rurales cercanas, como las de Machu Colca o Piscacucho, dependen del ferrocarril como vía de acceso para productos básicos, atención médica y servicios esenciales. Por tanto, el análisis y la prevención del riesgo de deslizamientos no solo tiene un

componente técnico, sino también un profundo compromiso con el bienestar y la seguridad de la población local.

Esta tesis busca generar información científica y técnica que pueda ser utilizada por autoridades locales, regionales y operadores ferroviarios con el fin de facilitar decisiones informadas respecto a la gestión del riesgo y la aplicación de medidas correspondientes que contribuyan a salvaguardar vidas, proteger la infraestructura y promover el desarrollo sostenible del territorio.

1.3.1.6. JUSTIFICACION ACADEMICA

Desde el punto de vista académico, esta investigación representa una valiosa contribución al estudio multidisciplinario del riesgo geotécnico y su impacto en infraestructuras críticas de transporte en zonas de alta vulnerabilidad geodinámica, como lo es la región andina del Perú. En particular, se centra en el análisis del riesgo por deslizamiento de taludes, Este trabajo se enmarca dentro de las líneas de investigación orientadas a la gestión del riesgo de desastres, la estabilidad de taludes y la protección de infraestructuras de transporte, campos que han cobrado creciente relevancia en el contexto actual debido al aumento en la frecuencia e intensidad de eventos naturales extremos, consecuencia del cambio climático. La aplicación de métodos de evaluación de estabilidad, análisis de parámetros geomecánicos y propuestas de mitigación estructurales y no estructurales en función a las características físicas y mecánicas del talud además de la ubicación de los mismos tanto en la parte superior e inferior a la vía ferrea , refuerza los vínculos entre la teoría académica y su aplicación práctica en contextos reales.

Además, este estudio permitirá generar un modelo técnico de la elaboración de un EVAR según la metodología del CENEPRED que podría replicarse en otros sectores vulnerables de la red ferroviaria nacional y en proyectos de infraestructura similares. También fortalece la formación profesional del autor en el ámbito de la ingeniería geológica y contribuye al acervo académico de la universidad, al poner a disposición de la comunidad académica un caso de estudio con características propias del territorio andino peruano.

1.3.1.7. JUSTIFICACION METODOLOGICA

La elección metodológica para el desarrollo de esta investigación responde a la necesidad de abordar el fenómeno de los deslizamientos de taludes desde un enfoque cuantitativo y descriptivo-explicativo, que permita identificar, evaluar y caracterizar los niveles de riesgo presentes en el tramo comprendido entre el km 78+000 y el km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica, en el distrito de Ollantaytambo. La metodología adoptada que se empleó en la investigación es la que se sustenta en el "Manual para la Evaluación de Riesgo Originado por Fenómenos Naturales 02 versión" del CENEPRED – 2014 que combina el análisis de campo, la recopilación de datos geotécnicos y topográficos, el uso de herramientas SIG y la aplicación de criterios técnicos de evaluación de riesgos, lo cual permitirá una comprensión integral del problema.

Este enfoque metodológico se justifica por la naturaleza del objeto de estudio, que requiere el uso de instrumentos técnicos y científicos para evaluar variables como la estabilidad de taludes, las propiedades físico-mecánicas del suelo, la pendiente del terreno, precipitaciones, y la frecuencia histórica de deslizamientos en la zona. El uso de software especializado (como ArcGIS, Slide, o QGIS) permite elaborar

mapas temáticos y modelos de simulación que representan de forma precisa las condiciones geotécnicas del área de estudio.

Además, se utilizarán métodos reconocidos internacionalmente para el análisis de estabilidad de taludes, como el Método de Equilibrio Límite y el análisis de factores de seguridad (F_s) que permiten cuantificar el grado de estabilidad o inestabilidad de los taludes mediante fórmulas. De igual manera, se aplicará una matriz de riesgo geológico según THOMAS SAATY, para determinar zonas críticas dentro del tramo analizado.

1.3.1.8. CONVENIENCIA

Esta investigación es conveniente porque aborda un problema crítico y recurrente, los deslizamientos de taludes en la vía férrea Cusco–Hydroeléctrica en el tramo del km 78+000 al km 81+000 que afecta no solo la seguridad de los usuarios del sistema ferroviario, sino también la estabilidad económica y social de la región. Su desarrollo permitirá generar conocimiento técnico especializado que puede ser aplicado por autoridades locales, regionales y operadores ferroviarios en la prevención y gestión de riesgos, contribuyendo a:

1. **Reducir riesgos humanos y materiales**, mediante la identificación de zonas vulnerables y la implementación de medidas de mitigación más eficaces.
2. **Minimizar pérdidas económicas** asociadas a la interrupción del turismo y del comercio.

3. **Fortalecer la planificación territorial** y la toma de decisiones basadas en evidencia, promoviendo un desarrollo sostenible y resiliente.

En este sentido, la investigación no solo es pertinente desde un enfoque académico, sino altamente conveniente para el diseño de políticas públicas, la gestión de infraestructuras críticas y la protección del bienestar colectivo.

1.3.1.9. IMPLICANCIA PRACTICA

La presente investigación tiene importantes implicancias prácticas, ya que ofrece soluciones concretas y aplicables a una problemática que afecta directamente el funcionamiento de una infraestructura crítica como es la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica. A través del análisis de los factores que provocan deslizamientos de taludes, así como de la evaluación del riesgo asociado, se podrán generar herramientas técnicas que permitan:

1. **Diseñar e implementar medidas de prevención y mitigación** del riesgo geotécnico en los tramos más vulnerables del corredor ferroviario.
2. **Optimizar los protocolos de mantenimiento, monitoreo y respuesta ante emergencias**, mejorando la seguridad operativa del sistema ferroviario.
3. **Brindar soporte técnico y científico a las autoridades locales y regionales** para la formulación de políticas públicas de gestión del riesgo y ordenamiento territorial.
4. **Proteger la infraestructura ferroviaria** clave para el transporte turístico y comunitario, evitando pérdidas humanas, económicas y daños materiales.

1.3.1.10. VALOR TEORICO

El valor teórico de esta investigación radica en su contribución al desarrollo del conocimiento científico en el campo de la geotecnia aplicada al transporte ferroviario en el tramo km 78+000 al km 81+000 . A través del estudio de riesgos en los deslizamientos de taludes en la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica, se busca:

1. **Profundizar en la comprensión de los factores** que inciden en la inestabilidad de taludes.
2. **Integrar enfoques interdisciplinarios**, fusionando conocimientos de ingeniería civil, geología, desarrollo territorial y planificación urbana/rural.
3. **Fortalecer la base conceptual para futuras investigaciones**, ofreciendo una referencia metodológica que pueda orientar estudios relacionados con infraestructura crítica en zonas vulnerables.

En este sentido, la investigación no solo tiene un propósito aplicado, sino que también enriquece el marco teórico de las ciencias de la tierra, la ingeniería y la gestión del riesgo, contribuyendo a una mejor comprensión de los procesos naturales y su interacción con la infraestructura.

1.4.CONDICIONES CLIMATICAS

1.4.1. Clima

El clima de Ollantaytambo, se caracteriza por ser seco desde abril hasta octubre, mientras que desde diciembre a marzo predominan las lluvias. Por su localización entre dos vertientes, durante la noche y madrugada, debido a su ubicación entre montañas, se presentan vientos moderados. Las temperaturas en Ollantaytambo presentan variaciones a lo largo del año, con valores mínimos que pueden descender hasta aproximadamente 5 °C durante la noche y máximos que alcanzan alrededor de 23 °C durante el día, según registros climatológicos del SENAMHI.

Tabla 5 *Parámetros Climáticos promedio*

Mes	Temp. media (°C)	Temp. mín. (°C)	Temp. máx. (°C)	Precipitación aprox. (mm)	Humedad (%)
Enero	7.8	5.2	11.7	~261	88%
Febrero	7.7	5.3	11.6	~244	89%
Marzo	7.7	5.2	11.8	~237	89%
Abril	7.4	4.6	11.6	~147	86%
Mayo	6.9	3.8	11.1	~68	81%
Junio	6.2	2.8	10.9	~40	77%
Julio	5.8	2.1	10.7	~39	75%
Agosto	6.3	2.5	11.3	~63	75%
Septiembre	6.8	3.4	11.5	~99	80%
Octubre	7.5	4.4	12.0	~162	85%
Noviembre	8.1	5.2	12.3	~196	85%
Diciembre	7.9	5.3	11.9	~241	87%

Nota. Datos obtenidos de *Climate-data.org*

Fotografía 2: Cultivos de clima templado en Ollantaytambo



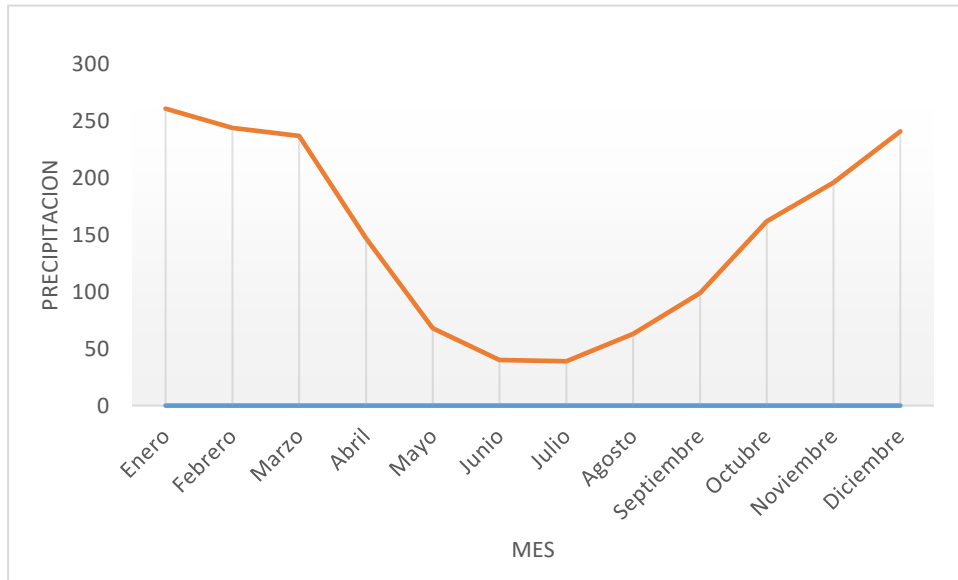
1.4.2. Precipitación

1.4.2.1. Análisis de la precipitación anual

En promedio el área de influencia de cada estación es de aproximadamente 49.7 km², lo cual está dentro de las normas establecidas por la OMM (Campos, 2007). A partir de esta directriz, se utilizó la estación Urubamba que se encuentra a 26.4 km del área evaluada. Donde del análisis de la información del año 1964 a 2017, se tiene que las lluvias ocurren con mayor regularidad entre los meses de noviembre y abril, según se ha observado observan en la figura 1, Por otra parte se realizó también el análisis histórico de las precipitaciones que se muestra en la figura 2, donde se pueden

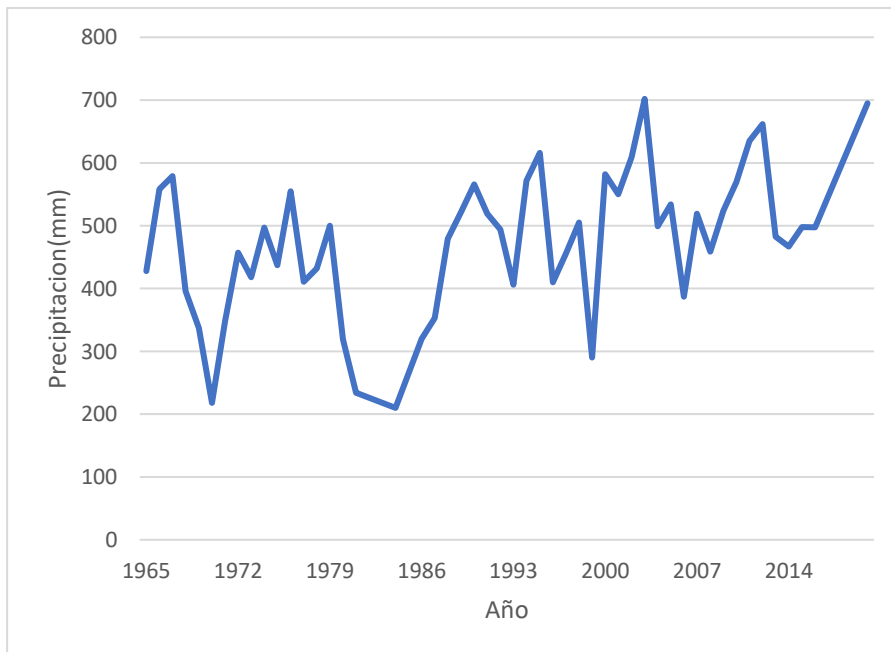
visualizar, en línea de color azul el comportamiento histórico, de donde se concluye que en el análisis del este registro se tiene varios picos de precipitación en los años más recientes.

Figura 1:Comportamiento de la precipitación anual 2024



Fuente:SENAMHI

Figura 2:Comportamiento de la precipitación histórica

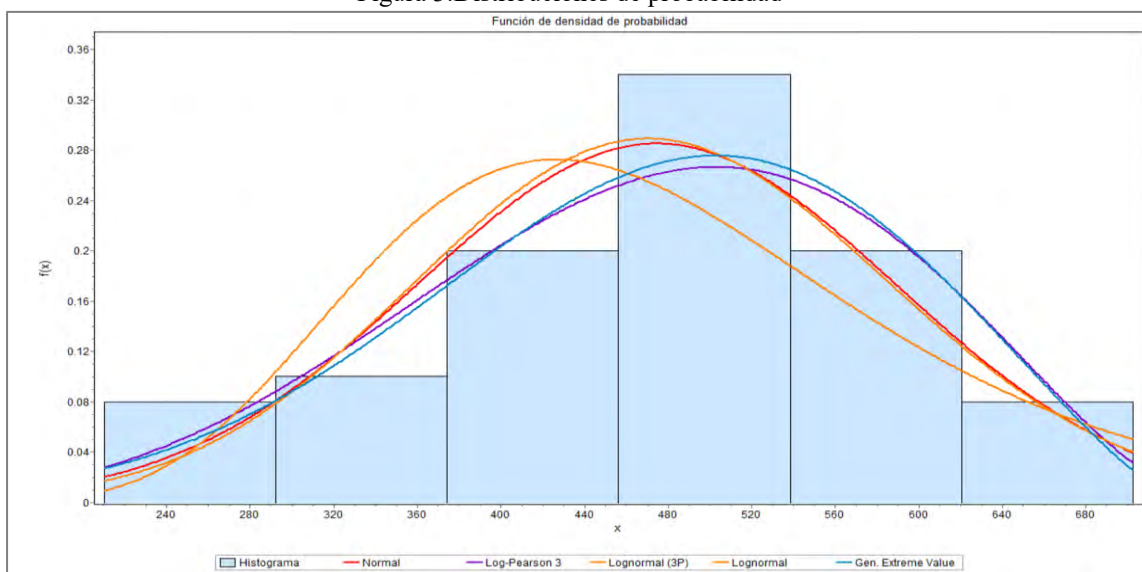


Fuente:SENAMHI

Así mismo se sometió a un análisis estadístico de la información pluviométrica de la estación, para obtener datos importantes como son; media, moda, entre otros que a continuación se describen.

En la figura 3, se tienen distintas distribuciones de probabilidad de ajuste a la densidad de datos evaluados, de donde observamos que las distribuciones Gen.Extreme Value Y Log-Pearson muestran un análisis relativamente similar.

Figura 3: Distribuciones de probabilidad

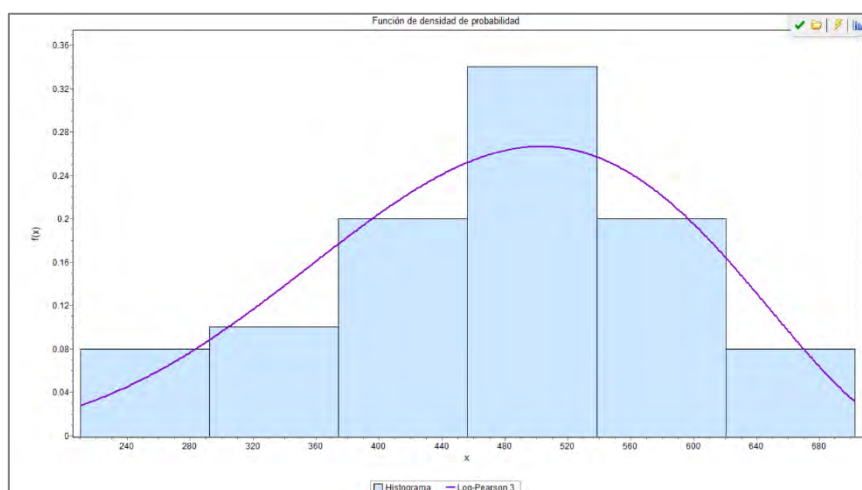


Seguidamente se sometió las distribuciones a una prueba de bondad de ajuste, como se observa en la Figura 3, se muestra tres tipos de ajustes, por Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling, la distribución Extreme Value y Log-Pearson presentan los mejores ajustes, por ello, se tomó como la distribución de Log-Person, para realizar los análisis (Figura 4).

Tabla 6 Prueba de bondad de ajuste

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
1	Gen. Extreme Value	0.08098	1	0.29992	1	2.6276	3
2	Log-Pearson 3	0.08194	2	0.31823	2	2.6975	4
5	Normal	0.08957	3	0.33411	3	2.0346	1
4	Lognormal (3P)	0.09234	4	0.38153	4	2.0683	2
3	Lognormal	0.13181	5	1.2289	5	4.9207	5

Figura 4: Función densidad de probabilidad



De la distribución seleccionada (figura 4), se obtuvieron los datos para el análisis de factor desencadenante de precipitación para el peligro de deslizamiento, el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7 Distribución de Log Pearson

Max	Media	Moda	Varianza	Desv. Estand.
750.55	474.71	502.78	13248	115.1

Producto del análisis estadístico de la estación Urubamba por un ajuste de distribución de tipo LogPearson, se tiene que el valor medio de 474.71 mm/año, la moda de la precipitación media anual presenta un valor de 502.77 mm/año, así mismo el valor máximo fue de 750 mm/año, con estos datos se desarrollara el análisis como factor desencadenante del valor de la precipitación.

1.4.2.2. Análisis de la precipitación máxima en 24 horas

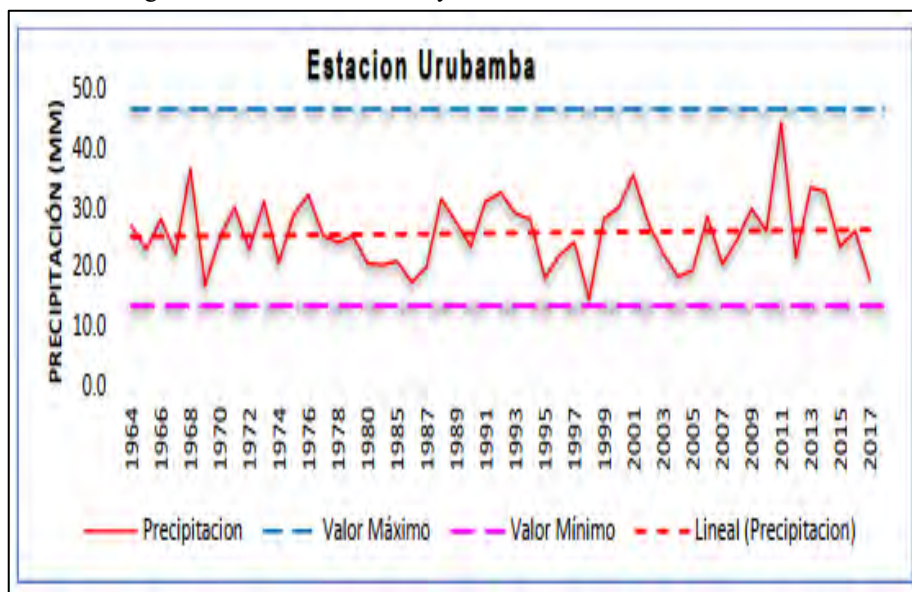
Para el presente análisis, se tomó como base de información a la estación Urubamba, del cual se pasó a desarrollar el análisis de la información contenida en esta estación y la cual presentamos a continuación.

Tabla 8 *Parámetros estadísticos en la estación Urubamba(Pmax24)*

PARÁMETROS	P(24hr)	Log(P24hr)
Número de datos (N)	51	51
Sumatoria	1311	71.37
Valor Máx.	44.20	1.65
Valor Mín.	14.70	1.17
Media	25.71	1,399
Varianza	33.27	0.009
Desviación Estándar	5.77	0.097
Coef. Variación	0.22	0.069
Coef. de Sesgo	0.67	-0.0376

Así mismo, del análisis desarrollado, no se encontró datos dudosos de carácter mínimo ni alto de toda la muestra analizada, en la siguiente figura se muestra los umbrales, así como la serie histórica de las máximas precipitaciones máximas de la estación Urubamba.

Figura 5: Umbrales mínimos y máximos de la estación Urubamba



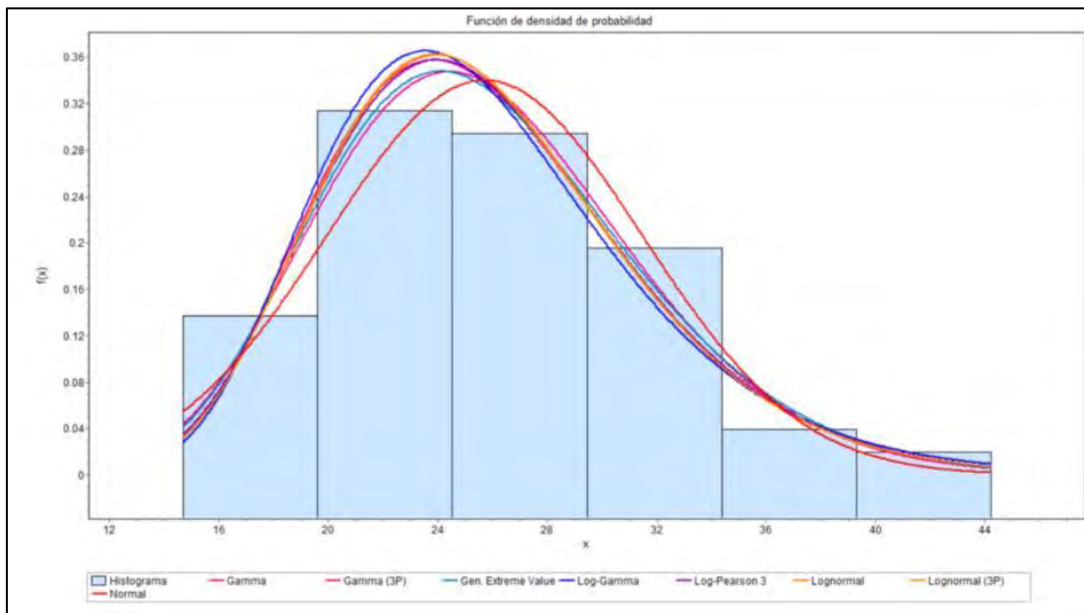
FUENTE: SENAMHI

Así mismo del grafico anterior, cabe indicar que el valor máximo de precipitación máxima en 24 horas se obtuvo en el año 2011, con un valor de 44.20mm. información representativa para los análisis siguientes.

1.4.3. Modelos de distribución

Se realizó un análisis de frecuencia sobre el registro histórico de precipitaciones con el propósito de estimar los valores máximos correspondientes a distintos períodos de retorno. Para ello, se emplearon modelos probabilísticos, tanto de tipo discreto como continuo, los cuales permiten describir de manera adecuada la variabilidad y la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. En este trabajo se utilizó la base de datos de la estación meteorológica de Urubamba, sobre la cual se aplicó dicho análisis, obteniéndose diversos modelos de distribución estadística, entre ellos Gumbel y Log-Normal. Estos modelos son esenciales para entender el comportamiento de las precipitaciones extremas y serán detallados a continuación.

Figura 6: Distribuciones de probabilidad de las precipitaciones máximas en 24 horas.



Tras la elaboración del histograma y la función de densidad de probabilidad, se determinó que las distribuciones Gamma de tres parámetros, Log-Pearson III, Log-normal de dos y tres parámetros cuentan con funciones de probabilidad semejantes y con un buen ajuste a los datos. En la Tabla 9 se presentan los parámetros resultantes del ajuste de estas distribuciones para la estación Urubamba.

Tabla 9 Ajuste de las distribuciones de la estación Urubamba

Distribución	Parámetros
Gamma	$\mu=19.862 \quad \sigma=1.2942$
Gamma (3P)	$\mu=9.5281 \quad \sigma=1.8594 \quad \tau=7.9896$
Gen. Extreme Value	$\mu=-0.1403 \quad \sigma=5.2521 \quad \tau=23.322$
Log-Gamma	$\mu=208.49 \quad \sigma=0.0154$
Log-Pearson 3	$\mu=2567.2 \quad \sigma=-0.0044 \quad \tau=14.53$
Lognormal	$\mu=0.22097 \quad \sigma=3.2224$
Lognormal (3P)	$\mu=0.2132 \quad \sigma=3.258 \quad \tau=-0.8884$
Normal	$\mu=5.768 \quad \sigma=25.706$

1.4.3.1. Pruebas de bondad de ajuste

Los métodos de ajuste evalúan si un conjunto de datos sigue una distribución específica. En este caso se utilizó el método Kolmogórov-Smirnov, debido a su eficacia en identificar el mejor ajuste. Según esta prueba, la distribución Gamma de tres parámetros tiene mejor ajuste.

Tabla 10 Resumen de bondad de ajuste de la estación Urubamba

Distribución	Kolmogorov	
	Smirnov	
Estadística	Rango	Estadística
Gamma	0.05925	1
Gamma (3P)	0.07086	5
Gen. Extreme Value	0.06215	2
Log-Gamma	0.07835	8
Log-Pearson 3	0.06934	4
Lognormal	0.07284	7
Lognormal (3P)	0.0718	6
Normal	0.06436	3

1.4.4. Precipitación intensa y periodos de recurrencia

El periodo de recurrencia, es el tiempo promedio(T), en años, entre eventos de una determinada magnitud o mayor, se estimó considerando la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento, periodo de servicio esperado de la estructura y el nivel de riesgo aceptable de que ocurra una falla, como se muestra en la Tabla 11. Aunque la distribución Gamma de tres parámetros presentó el mejor ajuste, se decidió utilizar el promedio de tres distribuciones debido a su similitud en la función de probabilidad.

Fórmula básica para tiempo de recurrencia en años

$$T=(n+1)/T$$

Donde:

- T = período de retorno (años)
- n = número total de años con datos
- m = orden de magnitud del evento (1 = evento más grande, 2 = segundo más grande, etc.)

Fórmula del riesgo de falla en un período de tiempo (n años):

$$R=1-(1-1/T)^n$$

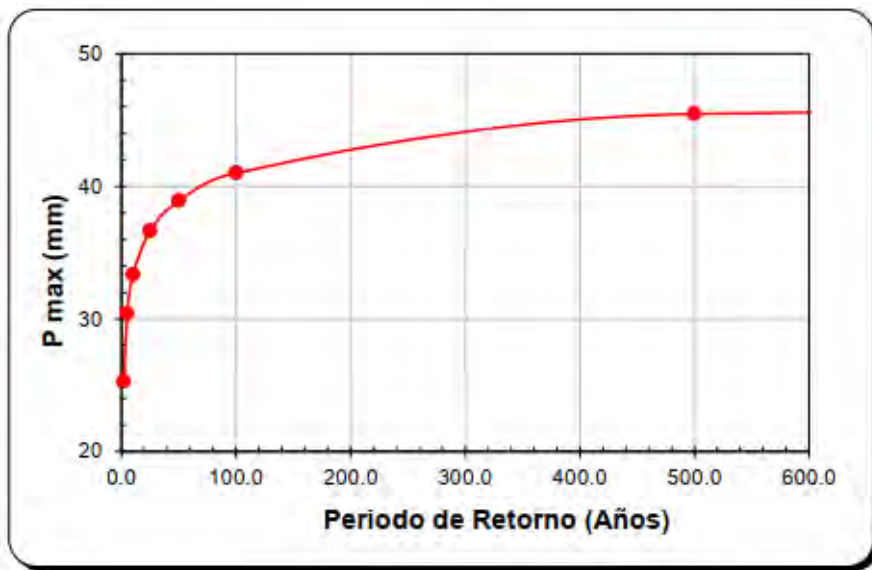
Donde:

- R: riesgo de falla acumulado en n años
- T: período de retorno (años)
- n: número de años

Tabla 11 *Periodo de recurrencia y precipitación de diseño*

Periodos de recurrencia	T	2	5	10	25	50	100	500	1000	
Nivel de riesgo aceptable	R	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.18	
Periodo de servicio	N	0	1.0	1.30	2.70	7.00	14.00	29.00	144.00	200.00
		0								
		Precipitación de diseño(mm)								
Gamma 3P		25.276	30.392	33.319	36.637	38.889	40.99	45.461	52.851	

Figura 7: Precipitación de diseño-periodo de retorno



Fuente: Senamhi

1.4.5. Umbrales propuestos y analizados por SENAMHI

Estas se realizaron a partir de la estación Hidrométrica Chilca, estación que se encuentra a 2475 msnm. Ubicada en la provincia de Urubamba. Registra sus niveles más altos en el mes de marzo llegando hasta los 495m³/s. (SENAMHI), Así mismo del Hidrograma del río Vilcanota histórico relacionado a los niveles de altura (Figura 8), correspondiendo a un nivel de 6.5 un umbral rojo el cual indica un probable desborde del río, posible inundación en algunas zonas, erosión en los márgenes y afectación a infraestructura cercana al río, a un nivel 5.5 un umbral naranja el cual indica probables condiciones de riesgos para realizar actividades en el río y zonas aledañas con posible erosión de márgenes y afectación a la infraestructura cercana al río y a un nivel 5 un umbral amarillo el cual indica condiciones que afecten las actividades en el río.

Figura 8: Hidrograma del río Vilcanota, estación Chilca



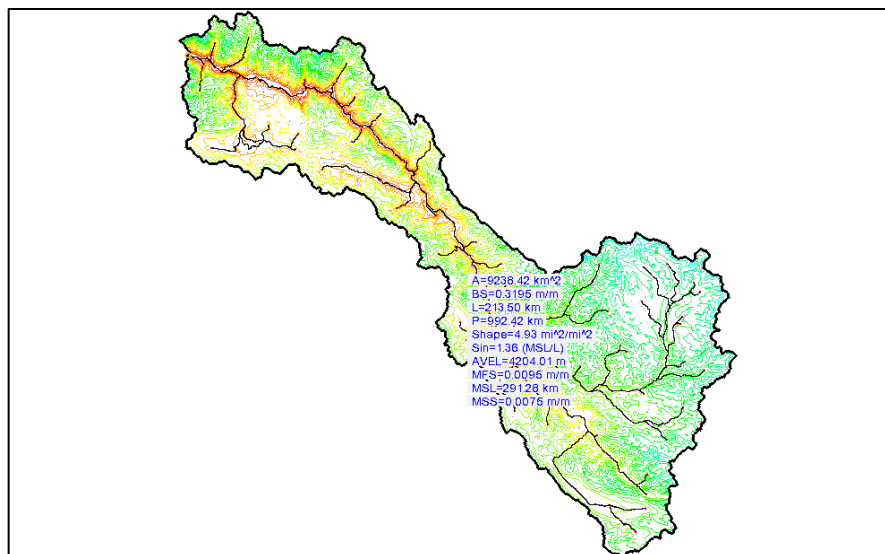
Fuente: Senamhi

1.4.6. Hidrodinámica de los ríos

1.3.1.1. Características morfométricas de la cuenca Vilcanota

Para el análisis de la hidrodinámica de los ríos fue necesaria visualizar a nivel macro la influencia de la cuenca Vilcanota con relación al tramo evaluado.

Figura 9: Cuenca del río Vilcanota estación Chilca



Fuente: Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Promedio multianual de la precipitación acumulada en la cuenca del río Urubamba – subcuenca* [Mapa]. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

A continuación, se muestran los principales parámetros geomorfológicos de la cuenca Vilcanota al área de evaluación.

Tabla 12 *Parámetros de la cuenca Vilcanota*

Parámetros	Extensión
Área	9238.42 km ²
Perímetro	992.42 km
Longitud máxima de cauce principal	213.60 km
Pendiente de cauce principal	0.3195 m/m
Altitud media de la cuenca	4204.01 msnm

En el presente estudio, se consideró un punto específico del río Vilcanota como representativo del comportamiento hidrológico de la cuenca, elemento clave en el análisis de posibles deslizamientos de talud. En el hemisferio sur, el año hidrológico inicia en septiembre, con precipitaciones que generalmente comienzan en octubre y alcanzan su máxima intensidad entre enero y marzo. Durante este periodo, el aumento en la saturación del suelo, producto de la infiltración acumulada, eleva significativamente el nivel freático y la presión intersticial, factores que reducen la estabilidad de los taludes. La mayor respuesta de los caudales ocurre en diciembre y enero, coincidiendo con condiciones críticas para la ocurrencia de movimientos en masa. Además, la morfología irregular del cauce del río Vilcanota, con variaciones en su sección transversal, favorece acumulaciones diferenciales de agua que pueden alterar el equilibrio de los taludes adyacentes. Una vez terminada la temporada de lluvias, a partir de abril, el caudal comienza a disminuir gradualmente, alcanzando su nivel más bajo en mayo. Durante junio y hasta finales de septiembre, persiste únicamente el flujo base, lo que favorece una relativa recuperación de la estabilidad en las laderas.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

El fenómeno de deslizamientos en zonas andinas ha sido ampliamente estudiado desde diversas disciplinas, debido a su frecuencia y alto impacto en la infraestructura y la población. De acuerdo con Varnes (1978), los deslizamientos se clasifican en función del tipo de movimiento y del material involucrado, y son favorecidos por factores como la pendiente, la geología, el uso de suelos, y especialmente por la acción del agua.

En regiones montañosas como los Andes peruanos, los procesos de meteorización y la actividad sísmica han contribuido a la formación de suelos residuales de baja cohesión, altamente sensibles a la saturación. Durante la temporada de lluvias, el aumento del contenido de humedad incrementa la presión de poro en los suelos, lo que reduce la resistencia al corte conforme a la ley de Coulomb-Terzaghi. Esta relación matemática explica por qué muchos taludes colapsan tras periodos de lluvias intensas, como los registrados en Cusco por el SENAMHI (2022), donde se reportan precipitaciones anuales superiores a 1500 mm, concentradas entre noviembre y marzo.

El análisis de estabilidad de taludes mediante el método del equilibrio límite ha sido una técnica ampliamente utilizada en la ingeniería geotécnica (Duncan & Wright, 2005). Este método permite calcular el factor de seguridad utilizando perfiles topográficos reales, datos de laboratorio y condiciones hidráulicas del terreno. En el caso de infraestructura ferroviaria, como la vía Cusco–Hidroeléctrica, es fundamental identificar taludes críticos mediante herramientas como Slide y establecer una zonificación del riesgo, integrando datos geológicos, pluviométricos y geoespaciales mediante SIG.

La gestión del riesgo de desastres, según el CENEPRED (2021), implica no solo identificar zonas de amenaza, sino también proponer medidas estructurales y no

estructurales que reduzcan la vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Por ello, esta investigación se apoya en modelos de análisis de riesgo utilizados por organismos técnicos nacionales como el INGEMMET, adaptando la metodología a las características específicas del tramo ferroviario en estudio.

2.1.ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Internacionales

ANTECEDENTE 1: Severino, B. (2015). Riesgos de taludes y terraplenes en obras lineales de la República Dominicana (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Madrid. Tiene como objetivo principal dar a conocer los riesgos en las obras lineales a causa de los fenómenos naturales para poder prevenir sus daños y reducir los peligros.

Específicamente esta investigación busca analizar las causas que pueden provocar la inestabilidad o colapso de taludes y terraplenes en infraestructuras lineales, así como las consecuencias que podrían derivarse de estos fallos estructurales, por otra parte, también estudia que elementos asociados a la obra pueden ser dañados y de qué manera.

El aporte de esta investigación facilitó una base técnica relevante para comprender los riesgos asociados a los taludes en contextos similares al del presente estudio como la identificación de factores (condicionantes y desencadenantes) que influyen en la rotura de taludes como las propiedades geomecánicas de los materiales mediante el estudio de suelos.

ANTECEDENTE 2: García, J. C. (2005). *Análisis de la vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para evaluación y cartografía de la vulnerabilidad*. Instituto Geológico y Minero de España. Este estudio ofrece un enfoque integral sobre los factores que inciden en la vulnerabilidad social y económica frente a fenómenos de geodinámica externa, como los movimientos de ladera. Se estudian todos los componentes que se relacionan con la vulnerabilidad económica de este tipo de fenómenos. Esta investigación proporcionó herramientas metodológicas clave para la evaluación del riesgo y la elaboración del mapa de vulnerabilidad, lo cual permite una mejor comprensión del grado de exposición de la vía férrea ante posibles deslizamientos.

ANTECEDENTE 3: Vásquez, J. C., Backhoff, M. A., Gonzales, J. O., & Morales, E. M. (2016). Establecer la vulnerabilidad y evaluar los riesgos por deslizamientos, inundaciones pluviales y socavación de puentes en la Red Federal de Carreteras [Informe técnico]. Instituto Mexicano del Transporte.

En este artículo de investigación los autores describen la problemática que ocurre cada año en México durante la temporada de lluvias que debido a su intensidad es susceptible que las laderas puedan deslizarse. Para este estudio se eligió ciertos parámetros técnicos de las carreteras para obtener los valores ponderados que se usaran geoespacialmente para zonificar los tramos con mayor vulnerabilidad a deslizamientos.

Su enfoque metodológico, basado en el análisis de características técnicas de las carreteras (estudio de suelos) y el uso de herramientas SIG para la identificación de tramos vulnerables, representa un valioso referente técnico.

El aporte a la presente tesis se basa en que formuló estrategias de mitigación aplicables, a través de los resultados del estudio que permiten orientar la planificación de políticas públicas para la gestión y mantenimiento de la infraestructura vial.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

ANTECEDENTE 1: Gobierno Regional de Huancavelica. Dirección Regional de Defensa Civil y Desarrollo Sostenible. (2022), *Evaluación del riesgo por deslizamiento en el cerro Ccamana, distrito de Acoria, Huancavelica. Huancavelica, Perú.*

El estudio realizado tuvo como propósito identificar y evaluar los peligros geológicos presentes, evaluar el grado de susceptibilidad del área y establecer la magnitud del riesgo presente, debido a que dicha situación representa una amenaza directa para la población asentada en sus alrededores.

El aporte al presente estudio constituye un referente fundamental, ya que ofreció un diagnóstico detallado sobre los peligros geológicos, la vulnerabilidad y el nivel de riesgo en una zona caracterizada por su alta susceptibilidad a los deslizamientos. Los hallazgos del informe, que señalan como principales factores de riesgo las precipitaciones intensas con condiciones geodinámicas y climáticas similares como el que se aborda en esta tesis.

ANTECEDENTE 2: Fernández, A. (2022). *Evaluación del nivel de riesgo a deslizamiento de taludes mediante los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chota]. Universidad Autónoma de Chota.

Este estudio describe el tramo Lajas-Cochabamba donde constantemente ocurren deslizamientos a causa de precipitaciones.

Su objetivo es establecer el nivel de riesgo para comprobar el Fs estático y dinámico conforme a lo establecido por la norma CE 0.20. Para ello, se efectuaron muestreos a través de calicatas, lo que permitió concluir que el talud presenta inestabilidad bajo condiciones estáticas, principalmente debido a la acción de la gravedad, siendo las lluvias

intensas el factor desencadenante. Del mismo modo, en un contexto dinámico, el talud también resulta inestable ante un sismo, y esta condición se agrava significativamente si el evento sísmico ocurre junto con precipitaciones, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas de estabilización.

Su aporte a la presente tesis radica en que realizó el análisis detallado del factor de seguridad dinámico, el cual permite evaluar el comportamiento del talud. Este análisis es fundamental para determinar el grado real de estabilidad del terreno en condiciones dinámicas, proporcionando una visión integral del riesgo de deslizamientos. Dicha información contribuye a proponer medidas adecuadas de estabilización que garanticen la seguridad de la infraestructura en el tramo analizado.

ANTECEDENTE 3: INGEMMET (Chorrillos, Lima 2021) “Evaluación de peligros geológicos y estabilidad de taludes en el asentamiento humano Buenos Aires de Villa”.

A través del informe N° A7195, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico llevó a cabo un análisis orientado a reconocer y describir los peligros geológicos asociados a movimientos en masa que impactan las viviendas. Este estudio también examinó los factores que favorecen y desencadenan dichos eventos, y propuso acciones para su prevención, reducción y mitigación, basándose en los resultados obtenidos durante el trabajo de campo. Entre los tipos de movimientos identificados se encuentran los vuelcos y los deslizamientos traslacionales.

El aporte al presente estudio radica en que analizó los factores condicionantes y desencadenantes para la evaluación del peligro y proponer medidas de prevención y reducción de los peligros asociados a la inestabilidad de taludes.

2.1.3. Antecedentes Regionales

ANTECEDENTE 1: Villacorta, S., & Chacón, R. (2020). *Evaluación del riesgo geológico de la carretera Yaurisque–Ranraccasa–Paruro, tramo Ranraccasa–Paruro (KM 8+900 – 25+900), Paruro–Cusco* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)]. UNSAAC.

Esta investigación presenta una evaluación integral del riesgo geológico en una vía crítica (Ranraccasa-Paruro), destacando cómo la combinación de condiciones naturales (geología, actividad sísmica) y obras humanas (ampliación de la carretera) ha incrementado la ocurrencia de movimientos en masa peligrosos. Además, resalta el uso de un enfoque metodológico riguroso (ponderación de Saaty) para analizar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo, lo cual aporta objetividad al estudio.

Finalmente, el valor de este estudio se evidencia en que aportó en las propuestas de medidas estructurales y educativas, que abordan tanto la infraestructura como la preparación comunitaria, ofreciendo soluciones integrales de prevención y mitigación.

ANTECEDENTE 2: Olivera A., (Machupicchu, Urubamba 2023) “Evaluación de riesgo originado por deslizamiento en el cerro calvario, central hidroeléctrica de Machupicchu-subestación 138Kv, distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba”. La presencia de deslizamientos está vinculada a procesos de geodinámica externa, los cuales suelen ser activados por precipitaciones intensas, situación que también se evidencia en la zona analizada en esta tesis.

La importancia de este trabajo en la presente tesis es que contribuyó a caracterizar y zonificar la zona de estudio por deslizamiento analizando la vulnerabilidad de los elementos expuestos para calcular el nivel de riesgo.

2.1.4. Antecedentes Locales

ANTECEDENTE 1: Nota de Prensa N.º 555 – 2023

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2023, septiembre 9). *Derrumbe provoca descarrilamiento de tren en vía férrea Machupicchu–Ollantaytambo.*
<https://www.indeci.gob.pe>

Según información emitida por esta institución el 9 de septiembre de 2023 ocurrió un derrumbe en el kilómetro 80 de la vía férrea entre Machupicchu y Ollantaytambo, lo que ocasionó el descarrilamiento de un tren perteneciente a la empresa Perú Rail. Este evento provocó el fallecimiento de una persona y dejó a otras dos heridas. Tras el incidente, la empresa ferroviaria emprendió labores de limpieza y restauración del tramo afectado. El monitoreo y coordinación de la emergencia fue gestionado por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), en colaboración con los centros operativos a nivel regional, provincial y distrital.

Debido a este suceso se identificó puntos críticos y también sirvió como base para realizar estudios técnicos y plantear propuestas de mitigación.

Fotografía 3: Derrumbe y accidente en el KM 80



FUENTE:INDECI

2.2.MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Movimientos en masa

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Asimismo, estos fenómenos forman parte de la transformación de la superficie terrestre. Su origen está vinculado a una diversidad de mecanismos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que actúan tanto en la corteza terrestre como en las zonas donde esta interactúa con la hidrósfera y la atmósfera. De este modo, mientras la actividad tectónica genera elevaciones como montañas, factores como la meteorización, las precipitaciones, los movimientos sísmicos y la intervención humana contribuyen a la inestabilidad de las laderas, favoreciendo el desgaste del terreno y su evolución hacia formas más planas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2007). Clasificación de los movimientos en masa

Para el caso de estudio de la ciudad del Cusco, se adaptó la clasificación (cuadro 1) propuesta por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, (2007) en su publicación denominada Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.

Tabla 13 Clasificación de movimientos en masa

Tipo principal	Subtipos	Descripción general
Caídas (Falls)	Caída de rocas, derrumbes	Material se desprende y cae libremente por gravedad
Volcamientos (Topples)	Volcamiento o basculamiento	Rotación hacia adelante de bloques o masas
Deslizamientos (Slides)	Rotacionales (slump), traslacionales	Movimiento de una masa sobre una superficie de falla
Flujos (Flows)	Flujos de detritos, lodos, tierras	Material saturado que se comporta como fluido
Expansiones laterales (Lateral spreads)	—	Movimiento lateral en suelos blandos o licuados
Reptación (Creep)	—	Movimiento muy lento del terreno

Nota. Datos obtenidos de PMA: GCA (2007)

2.2.2. Deslizamiento

Cruden y Varnes(1996) Un deslizamiento consiste en el desplazamiento descendente de un segmento de tierra o material rocoso se desplaza pendiente abajo, generalmente siguiendo una línea de falla o a través de áreas angostas de debilidad estructural.

Al principio, el desplazamiento no se produce de manera simultánea en toda la futura superficie de ruptura; más bien, el volumen de material en movimiento crece a partir de una zona específica donde se origina la falla.

2.2.3. Talud

Una ladera o talud es una formación de terreno que presenta una inclinación o variaciones marcadas en su elevación, en contraste con una superficie plana. Estos pueden clasificarse, de manera general, en tres tipos: terraplenes, cortes realizados en laderas naturales y estructuras de contención. Se pueden presentar combinaciones los diversos tipos de taludes y laderas. (Suarez, J., 2009, p. 3)

2.2.4. Factor de seguridad

Según Van Westen (1997), el Factor de Seguridad (F) representa la proporción entre las fuerzas que resisten el movimiento del terreno y aquellas que impulsan un deslizamiento. Un valor de F mayor a 1 señala que la pendiente es estable, mientras que un valor inferior a 1 indica inestabilidad. Cuando F es igual a 1, la ladera o talud está justo en el umbral de falla. Si $F_s < 1$, el talud se considera inestable; si $F_s = 1$, está en equilibrio crítico; y si $F_s > 1$, se considera estable.

2.2.5. Tipos de deslizamiento

- Deslizamientos rotacionales

Según Cruden y Varnes (1996), los deslizamientos rotacionales se caracterizan por desplazarse sobre superficies de ruptura curvas y cóncavas. En este tipo de movimiento, el material conserva una deformación interna limitada; la parte superior desciende casi verticalmente, mientras que el bloque desplazado se inclina hacia el talud o escarpe.

- Deslizamientos traslacionales

Cruden y Varnes(1996) Es el movimiento de un volumen de suelo que se desliza sobre una superficie de ruptura generalmente plana o con una curvatura suave .Generalmente, se trata de movimientos poco profundos que tienden a seguir trayectorias determinadas por discontinuidades estructurales, como fracturas, diaclasas o zonas de contacto.

Hoek y Bray (1981) En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano se denomina deslizamiento planar. El deslizamiento tipo cuña se produce cuando la masa inestable está limitada por dos superficies de discontinuidad que se cruzan entre sí y también intersectan la pendiente del talud. Este tipo de movimiento ocurre generalmente a lo largo de la línea de intersección de dichos planos, o bien siguiendo la inclinación de uno de ellos.

2.2.6. Riesgos por movimientos de masa

Se define como la posibilidad de que la población y sus medios de subsistencia sufran daños y pérdidas como resultado de su vulnerabilidad frente a un peligro y las actividades que realizan, así como del impacto de dicho peligro (CENEPRED, 2014).

2.2.7. Peligro

(CENEPRED, 2014), es la probabilidad de que un fenómeno natural potencialmente destructivo, de origen natural o antrópicos ocurra en determinada zona geográfica, con un periodo de tiempo y frecuencia ya preestablecido.

2.2.8. Factores condicionantes

Los elementos que afectan la estabilidad de una pendiente comprenden las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, las cuales están estrechamente relacionadas con la litología, así como las particularidades morfológicas y la forma geométrica del talud.

2.2.9. Factores desencadenantes

Los principales factores que pueden provocar deslizamientos son las lluvias, la presencia de agua subterránea en las laderas, las variaciones en la geometría del terreno, la erosión y los terremotos. Muchos de estos factores se ven influenciados por alteraciones en las condiciones del agua y la geometría, que a menudo son resultado de actividades humanas.

2.2.10. Vulnerabilidad

Según el INDECI (2014), la vulnerabilidad se refiere al nivel de posibles daños o pérdidas que pueden afectar a un conjunto de elementos debido a la ocurrencia de un fenómeno con cierta intensidad. Esta vulnerabilidad indica qué tan susceptible es un componente — como infraestructuras, viviendas, actividades económicas, organización social, sistemas de alerta y capacidades institucionales— a sufrir daños humanos y materiales. Se cuantifica mediante una probabilidad que varía entre 0 % y 100 %.. Y esta se presenta en los desastres cuando no se ha llegado a mejorar las condiciones de las obras ni se ha mejorado en la prevención y mitigación de los peligros.

Según CENEPRED (2014), define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, las infraestructuras y las actividades económicas y sociales a verse afectadas por un evento peligroso

2.2.11. Estimación o cálculo del riesgo

(CENEPRED, 2014), Una vez que se ha evaluado la magnitud del peligro (P) al que está expuesto el centro poblado y se ha realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a realizar un análisis conjunto para calcular el riesgo (R).

2.2.12. Sistema de información geográfica (SIG)

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha adquirido una importancia creciente, dado que cerca del 70 % de la información utilizada en diversas áreas del conocimiento posee una referencia espacial. Esto significa que los datos pueden vincularse con una ubicación específica en la superficie terrestre, incorporando así información complementaria sobre su posición geográfica (Olaya, 2012, p. 30).

De acuerdo con F. J. Moldes (Moldes, 1995), un SIG se define como un “conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten gestionar datos organizados en bases

de datos, que están referenciados espacialmente y pueden ser visualizados a través de mapas” (p. 15).

2.2.13. Slide 6.0

Software especializado en el análisis de estabilidad de taludes en 2D, desarrollado por la empresa canadiense Rocscience. Este programa es ampliamente utilizado en ingeniería geotécnica, especialmente en minería y obras civiles, para evaluar la seguridad de taludes en suelos y rocas.

Slide 6.0 se utiliza para analizar y diseñar la estabilidad de taludes en una variedad de contextos, como; terraplenes y presas de tierra, muros de contención, etc.

2.3.VARIABLES

2.3.1. Evaluación de riesgo

De acuerdo con CENEPRED (2015), la evaluación del riesgo consiste en un proceso técnico mediante el cual se identifica y analiza la interacción entre los peligros, la exposición de los elementos y su nivel de vulnerabilidad, con el fin de estimar la probabilidad de ocurrencia de daños y pérdidas.

2.3.2. Deslizamiento

Cruden y Varnes (1996) describen los deslizamientos como el desplazamiento de masas de suelo o roca pendiente abajo, el cual ocurre principalmente a lo largo de superficies de falla o zonas delgadas donde se concentra una deformación cortante significativa.

2.3.3. Talud

Un talud, también conocido como ladera, se refiere a una porción de terreno inclinada, caracterizada por una pendiente o variaciones marcadas en su elevación. Estas formaciones suelen clasificarse en tres tipos principales: terraplenes, cortes realizados sobre laderas naturales y estructuras de contención. Se pueden presentar combinaciones los diversos tipos de taludes y laderas. (Suarez, J., 2009, p. 3)

2.4.HIPOTESIS

2.5.1. Hipótesis General

El nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco corresponde al nivel medio a alto.

2.5.2. Hipótesis Especificas

- El nivel de peligrosidad por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco ,es de un nivel medio a alto.
- Las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco se encuentran en un nivel medio a alto.
- Las condiciones geológicas en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco son susceptibles para facilitar los deslizamientos de talud en la zona de estudio.
- Las condiciones geotécnicas del suelo en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco son susceptibles a deslizamientos de talud en la zona de estudio.

- Las condiciones geomorfológicas en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco son susceptibles a deslizamientos de talud en la zona de estudio.
- La identificación adecuada de los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica permitirá proponer medidas estructurales y no estructurales técnicamente viables, que contribuyan significativamente a la prevención y/o reducción del riesgo de deslizamiento de taludes en la zona de estudio.

2.5.METODO DE INVESTIGACION

2.6.1. ENFOQUE

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill, la presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo porque busca medir fenómenos, establecer relaciones causales, utilizar instrumentos estadísticos y establece relaciones entre variables físicas y geotécnicas que inciden en la ocurrencia de deslizamientos de taludes en la zona de estudio.

Este enfoque permite trabajar con datos objetivos obtenidos mediante observación directa, mediciones de campo, análisis de laboratorio y herramientas de modelamiento geotécnico.

2.6.2. TIPO DE INVESTIGACION:

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill

El tipo de investigación es descriptiva y explicativa. Es descriptiva porque se detallan , características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas y rasgos importantes de un fenómeno(deslizamiento), la geometría de los taludes, las condiciones climáticas y la infraestructura existente. A su vez, es explicativa porque se busca comprender las causas que generan la inestabilidad y los mecanismos de falla presentes, estableciendo relaciones entre las condiciones geológicas, las precipitaciones y los procesos de deslizamiento.

2.6.3. DISEÑO DE INVESTIGACION:

Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) señalan que el diseño no experimental y transversal permite observar fenómenos sin manipular variables, recogiendo datos en un solo momento, es así que esta tesis es no experimental porque no se manipulan las variables, sino que se observan tal como se presentan en el entorno natural y transversal porque la recolección de datos se realiza en un periodo específico de tiempo, permitiendo evaluar la situación del riesgo en dicho intervalo de tiempo.

2.6.4. INFRAESTRUCTURA

La infraestructura en evaluación consta de los 3 kilómetros de vía férrea comprendidos entre el km 78+000 y el km 81+000.

2.6.5. MUESTRA

La muestra está conformada por los taludes más representativos o críticos identificados adyacentes a la plataforma ferroviaria, expuestos a fenómenos de inestabilidad.

Criterios de selección de la muestra:

- Taludes con evidencias de deslizamientos previos.
- Sectores con pendientes pronunciadas o materiales no consolidados.
- Zonas donde se cruzan quebradas o existen cortes artificiales.
- Áreas con alta exposición al tránsito ferroviario o actividades humanas.

2.6.6. TECNICAS E INSTRUMENTOS

TECNICAS

Inspección y reconocimiento de campo

- Identificación visual de signos de inestabilidad.
- Mapeo geológico, geomorfológico y geotécnico.
- Fotografía georreferenciada.

Levantamiento topográfico

- Uso de estación total para obtener modelos digitales del terreno (MDT).
- cálculo de pendientes.

Caracterización geotécnica del terreno

- Ensayos de campo (como prueba de penetración estándar - SPT).
- Toma de muestras para laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural).

Análisis de estabilidad de taludes

- Aplicación de métodos de equilibrio límite (software Slide).
- Estimación del Factor de seguridad

Evaluación de peligros y riesgos

- Uso de matrices de riesgo (combinando peligro, vulnerabilidad y riesgo).
- Georreferenciación y SIG

2.6.7. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Tabla 14 *Instrumentos utilizados en la investigación*

Instrumento / Herramienta	Función principal
GPS de precisión	Georreferenciación de puntos críticos y ubicación de taludes
Estación total / nivel topográfico	Medición de alturas, pendientes y geometría del talud
Martillo geológico	Muestreo manual y caracterización litológica
Clinómetro / brújula geológica	Medición de buzamiento y orientación de estratos
Equipos de perforación	Extracción de muestras de suelo
Software geotécnico (Slide 6.0)	Simulación de estabilidad de taludes
Software GIS (ArcGIS, QGIS)	Análisis espacial y elaboración de mapas temáticos
Cámara fotográfica / móvil	Registro visual de condiciones del talud
Matriz de riesgo	Evaluación cualitativa del riesgo

2.6.8. RECOLECCION DE DATOS

ETAPA DE PRE CAMPO

- Se llevó a cabo un análisis preliminar para identificar los distintos tipos de peligros entre los kilómetros 78+000 y 81+000.", del distrito de Ollantaytambo, provincia Urubamba y departamento del Cusco.
- La recolección de datos se realizó mediante la consulta de fuentes bibliográficas, cartográficas y digitales relacionadas con los distintos tipos de amenazas identificadas. Revisión de estudios anteriores (geológicos, geotécnicos, hidrológicos).
- Obtención de cartografía base (topografía, geología regional, mapas de pendientes).
- Análisis de imágenes satelitales y ortofotos (Google Earth).
- Planificación de rutas de acceso y puntos de inspección con herramientas GIS.
- Identificación preliminar de taludes potencialmente inestables.

ETAPA DE CAMPO

- Reconocimiento del terreno
- Mapeo geodinámico. geológico y geomorfológico.
- Muestreo de suelos y densidad natural mediante cono de arena y horno.
- Levantamiento de taludes: Geometría, altura, pendiente, orientación, tipo de corte (natural/artificial).
- Observación de signos de inestabilidad: Grietas, hundimientos, deslizamientos activos o pasivos.
- Registro fotográfico y georreferenciación: Con GPS y cámara digital.

ETAPA DE POST CAMPO

- Organización y procesamiento de los datos obtenidos durante el trabajo de campo.
- Generación de mapas especializados, incluyendo aquellos de localización, características geomorfológicas, geológicas, pendientes, aspectos geotécnicos, así como de peligro, susceptibilidad y niveles de riesgo.
- Simulación geotécnica mediante herramientas especializadas como Slide, con el objetivo de determinar el Factor de Seguridad (F_s) de los taludes.
- Análisis mediante SIG (Sistemas de Información Geográfica), para el procesamiento de mapas de pendiente, uso de suelo, geología y zonas de riesgo.
- Aplicación de una matriz de riesgo geológico con la metodología SAATY, integrando la probabilidad de ocurrencia y el nivel de afectación a la infraestructura.
- Ensayos que se realizaron para la zonificación geotectónica fueron de corte directo, agresividad química del suelo, límite de consistencia, peso específico, humedad natural, densidad, granulometría.
- Elaboración de fichas técnicas por talud.
- Elaboración del trabajo final

CAPITULO III: CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

3.1.1 Terraza aluvial

Plataforma sedimentaria, formada por aluviones antiguos (sedimentos) depositados por el curso de agua en un período determinado.

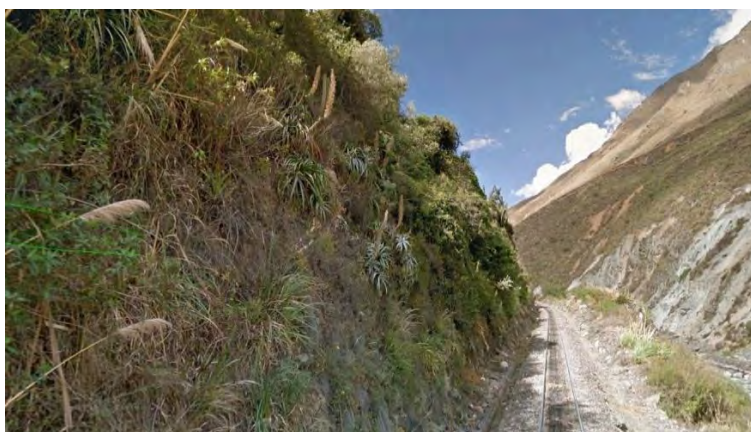
Fotografía 4:Terraza aluvial



3.1.2 Talud aluvial

Superficie que está inclinada con respecto a la horizontal, el cual para el área evaluada tiene una estructura relacionada a depósitos cuaternarios, específicamente a depósitos aluviales.

Fotografía 5:Talud aluvial contiguo a la vía férrea.



3.1.3 Cárcava de socavación fluvial

Unidad resultada de la actividad dinámica de erosión fluvial en el tiempo que ha generado incisiones en las terrazas aluviales antiguas.

3.1.4 Cauce de río

El cauce fluvial, también denominado lecho, corresponde a la zona del valle por donde fluye el agua, es decir, la depresión natural del terreno que canaliza el curso del río.

Se distingue un lecho menor, que mantiene flujo hídrico incluso durante temporadas secas, y un lecho mayor o llanura de inundación, que lo rodea y solo es cubierto durante eventos de creciente, especialmente en épocas de lluvias intensas.

Fotografía 6: Cauce del río Vilcanota



3.1.5 Terraplén

Estructura que se construye con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de desplante del subalasto para dar soporte a un tramo de vía. (Carbajal, 2022).

Fotografía 7: Terraplen de la vía férrea



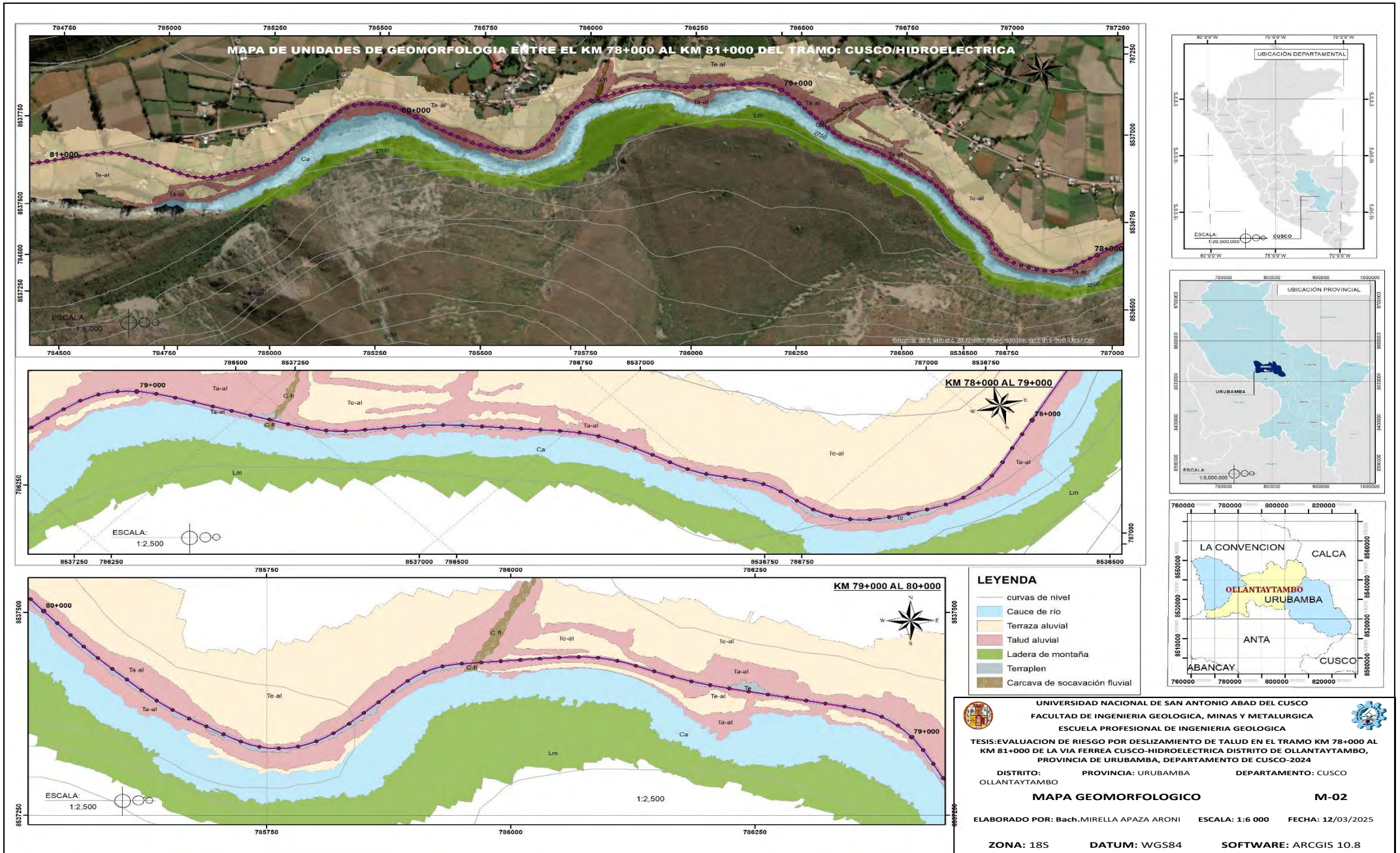
3.1.6 Ladera de montaña

Acumulaciones de depósitos cuaternarios, producidas por fenómenos de remoción en masa, como deslizamientos y desprendimientos rocosos, así como por la acumulación de sedimentos finos y materiales detríticos transportados o arrastrados por el flujo superficial del agua.

Fotografía 8: Ladera de montaña



Mapa 2: Mapa geomorfológico



Nota: Adaptado de GEOCATMIN (2023)

3.2.UNIDADES GEOLÓGICAS

El análisis geológico de la zona de interés se desarrolló utilizando como referencia principal los estudios e informes proporcionados por INGEMMET, lo que permitió llevar a cabo un mapeo geológico detallado en el área evaluada.

La zona de influencia se distingue por la presencia predominante de afloramientos de depósitos cuaternarios, como son depósitos aluviales, fluviales (bloques y boloneras) que generalmente fueron formados por eventos de precipitaciones máximas. Así también se tiene el afloramiento del complejo metamórfico Ollantaytambo, conformado en su mayoría por esquistos.

3.2.1 Complejo metamórfico Ollantaytambo (CAOi-o-esq,cct)

Esta unidad, está representado por tres tipos de litología donde podemos encontrar esquisto, mica esquistos y cuarcitas. Las cuarcitas son de carácter masivos de color verdoso en la base, seguidos de una intercalación de pizarras y cuarcitas hacia la parte central y hacia el tope cuarcitas de color gris verdoso.

Fotografía 9: Complejo metamórfico Ollantaytambo



3.2.2 Depósitos aluviales antiguos (Qh-al1)

Estos depósitos generalmente corresponden a una mezcla heterogénea de clastos/cantos sub redondeados en una matriz limo arcillosa, observándose estratos diferenciados que evidencian los procesos fluviales que evolucionan a lo largo del tiempo. Desde el punto de vista geomorfológico, estas zonas están vinculadas a terrazas intermedias o planicies aluviales, las cuales presentan susceptibilidad a procesos de erosión fluvial, como el socavamiento de terrazas, y también pueden experimentar fenómenos como derrumbes o incluso deslizamientos.

Fotografía 10:Depósitos aluviales antiguos



3.2.3 Depósitos aluviales recientes (**Qh-al2**)

Estos materiales suelen estar compuestos por una combinación diversa de clastos y cantos con formas subredondeadas o subangulosas, acompañados de arena, limos y arcillas. Su origen se asocia a procesos erosivos fluviales prolongados en el tiempo, los cuales han provocado el socavamiento de antiguas terrazas aluviales.

Fotografía 11:Depósitos aluviales recientes



3.2.4 Depósitos coluviales (**Qh-co**)

Los depósitos coluviales se originan como resultado de procesos gravitacionales y se acumulan principalmente en las laderas, motivo por el cual también se les conoce como depósitos de talud. Desde el punto de vista litológico, esta unidad está compuesta por fragmentos de roca con bordes subangulosos, acompañados de grava incrustada en una matriz limo-arcillosa.

Fotografía 12:Depositos coluviales



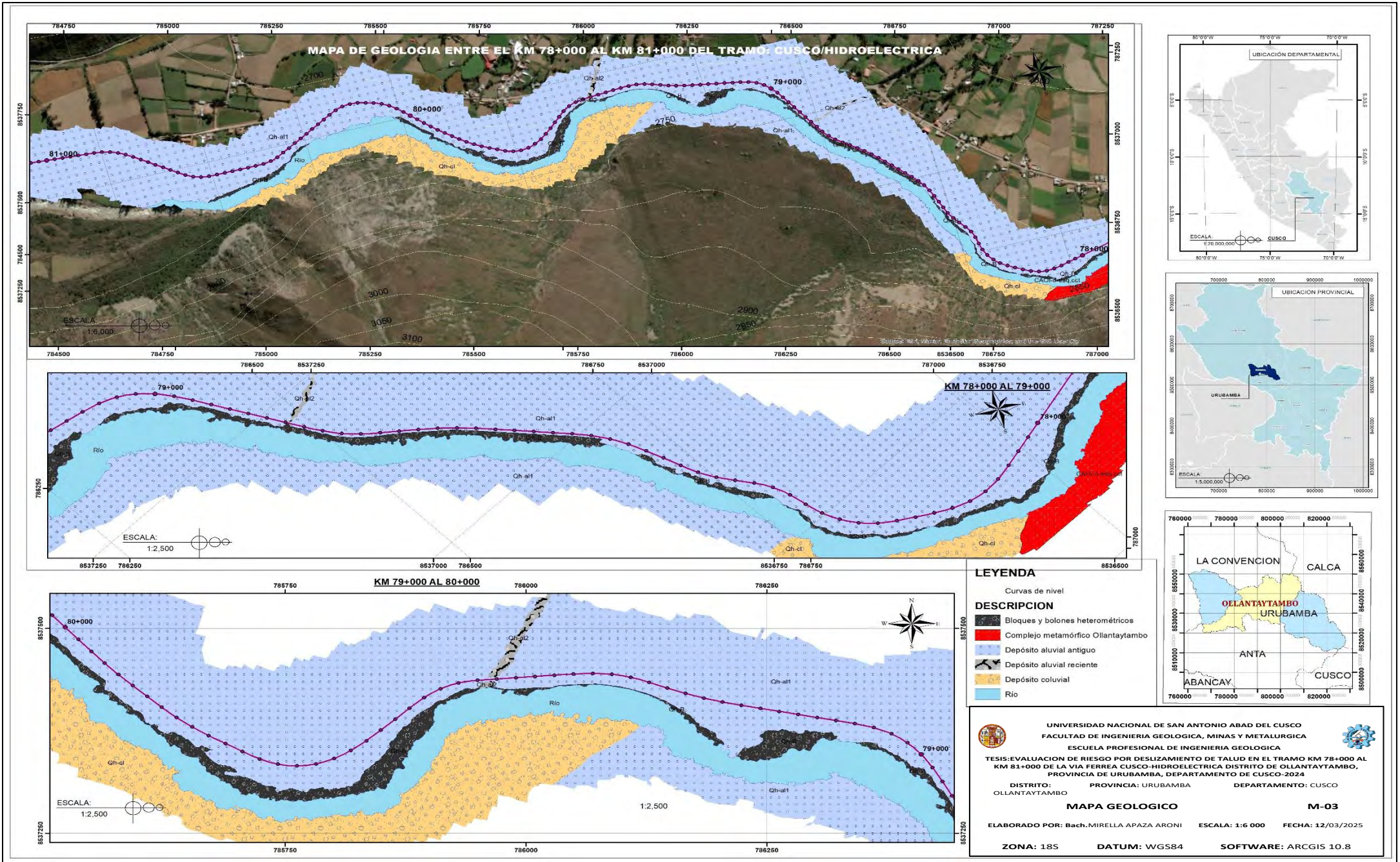
3.2.5 Depósitos fluviales y boloneria (**Qh-fl**)

Son depósitos recientes, se encuentran en las llanuras del cauce del río Vilcanota. Están relacionados a la intensa fuerza que presenta el cauce que transporta grandes bloques de rocas y en ocasiones orillan estos bloques. Litológicamente están constituidos por bloques heterométricos subredondeados.

Fotografía 13: Depósitos fluviales y bolonería



Mapa 3: Mapa geológico



3.3.ZONIFICACION GEOTÉCNICA

La caracterización geotécnica se llevó a cabo mediante calicatas, a través de las cuales se identificaron suelos de tipo gravoso y arenoso, clasificados dentro de los grupos GP-GM, GP y SW-SM según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

En la zona de influencia predominan los materiales gruesos, como gravas y arenas, los cuales conforman la mayor parte del perfil del suelo.

3.3.1 Grava y bloques angulosos en matriz arenosa(GP)

Caracterizado por fragmentos grandes y angulares (bloques y grava) inmersos en una matriz fina de arena, indicando una baja compactación y origen aluvial o de derrubios, lo que sugiere inestabilidad potencial y necesidad de estudios geotécnicos para cimentaciones.

Fotografía 14: Grava y bloques angulosos en matriz arenosa



3.3.2 Grava malgradada limoarenosa (**GP-GM**)

Son suelos que se encuentran en las márgenes de los ríos producto de la depositación de dicho río, generalmente están conformadas por arena, limos y gravas.

Fotografía 15: Grava malgradada limoarenosa



3.3.3 Grava y bloque subanguloso a subredondo en matriz limoarenosa. (**Pt/GP-GM**)

Suelo que se encuentran conformando en su mayor parte la terraza aluvial antigua, pero que, con la diferencia del anterior del suelo, este tiene un horizonte superficial de carácter turba, generalmente están conformadas por arena, limos y gravas.

3.3.4 Arena limosa bien gradada con presencia de gravas subangulosas (**Pt/SW-SM**)

Este suelo se encuentra en un sector del área evaluada y que hace alusión a un suelo arenoso, y por las características del drenaje del río en este tramo se dieron las condiciones para que haya la presencia de arenas a comparación de las otras unidades de suelo.

Fotografía 16: Arena limosa bien gradada con presencia de gravas subangulosas



3.3.5 Bloques subredondeados heterometricos y gravas(B)

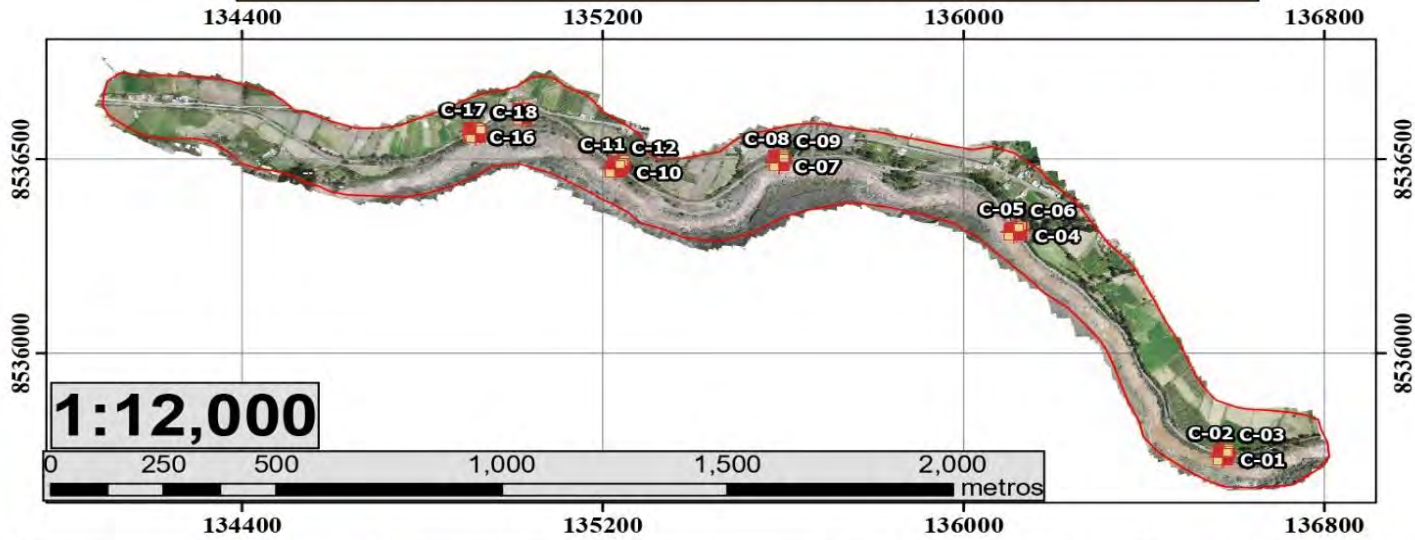
Se encuentran en las llanuras del cauce del rio Vilcanota. Están relacionados a la intensa fuerza que presenta el cauce que transporta grandes bloques de rocas y en ocasiones orillan estos bloques.

Fotografía 17: Bloques subredondeados heterometricos y gravas



Mapa 4: Mapa de ubicación de calicatas

MAPA DE UBICACION DE LOS PUNTOS DE EXPLORACION



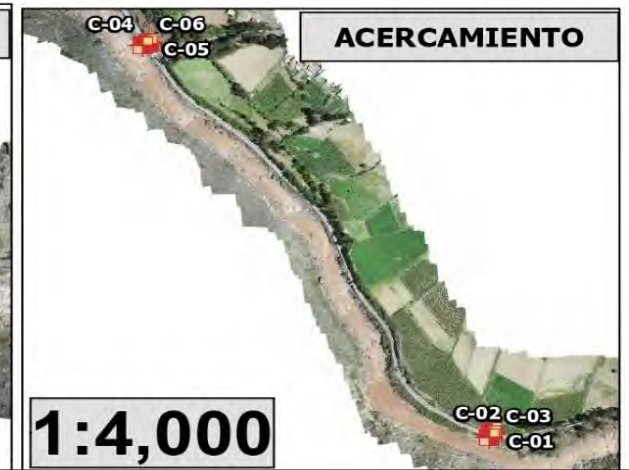
UBICACION DEPARTAMENTAL



UBICACION PROVINCIAL



UBICACION DISTRITAL



LEYENDA

- AREA DE ESTUDIO
- CALICATAS

N° DE LINEA	PK REFERENCIA		CALICATA	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	
	PLANO	CAMPO			X	Y
L-01	0+120	PK 78+120	C-01	CORONA	786017.846	8536060.88
			C-02	VIA FERREA	786018.242	8536065.88
			C-03	PIE DE TALUD	786018.878	8536061.20
			C-04	CORONA	786174.921	8537245.25
L-02	0+880	PK 78+880	C-05	VIA FERREA	786172.201	8537243.50
			C-06	PIE DE TALUD	786463.926	8537240.15
L-03	1+480	PK 79+480	C-07	CORONA	785949.287	8537443.01
			C-08	VIA FERREA	785949.867	8537437.21
L-04	1+900	PK 79+900	C-09	PIE DE TALUD	785949.922	8537440.88
			C-10	CORONA	785949.268	8537435.34
			C-11	VIA FERREA	785502.100	8537430.67
L-05	3+160	PK 80+160	C-12	PIE DE TALUD	785285.74	8537423.37
			C-13	CORONA	785384.682	8537378.46
			C-14	VIA FERREA	785384.752	8537574.02
			C-15	PIE DE TALUD	785384.964	8537564.37
			C-16	CORONA	785274.522	8537529.76
L-06	2+380	PK 80+380	C-17	VIA FERREA	785275.368	8537527.73
			C-18	PIE DE TALUD	785278.857	8537521.54



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



TESIS: EVALUACION DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VIA FERREA CUSCO-HIDROELECTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

DISTRITO: OLLANTAYTAMBO PROVINCIA: URUBAMBA DEPARTAMENTO: CUSCO

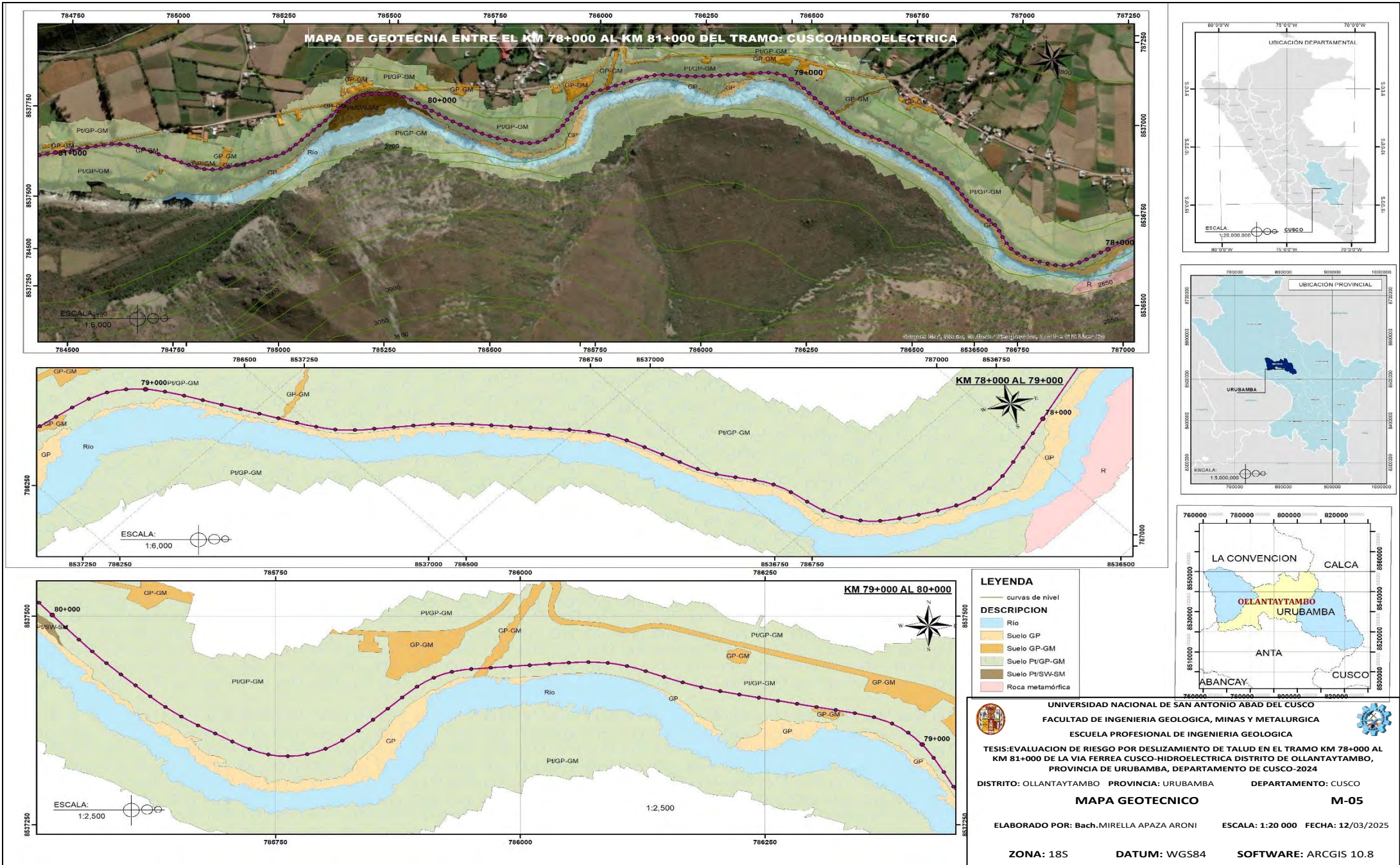
MAPA CALICATAS

M-04

ELABORADO POR: Bach. MIRELLA APAZA ARONI ESCALA: 1:12 000 FECHA: 12/03/2025

ZONA: 18S DATUM: WGS84 SOFTWARE: ARCGIS 10.8

Mapa 5: Mapa geotécnico



Nota: Adaptado de GEOCATMIN (2023)

3.4.PENDIENTES

Con el fin de calcular la pendiente del terreno, se elaboraron los perfiles correspondientes utilizando datos obtenidos a partir de un levantamiento topográfico realizado con estación total., así como de un DRON. Se procesaron las pendientes y se reclasificaron. Se tomaron en consideración 5 rangos de pendientes, los cuales fueron relacionados a distintas variaciones de relaciones de talud, los cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 15 *Rango de pendientes*

Rangos	Descripción
$<11.3^\circ$	Pendiente muy baja
$11.3^\circ - 26.6^\circ$	Pendiente baja
$26.6^\circ - 45^\circ$	Pendiente suave
$45^\circ - 63.4^\circ$	Pendiente moderada
$> 63.4^\circ$	Pendiente empinada

La pendiente del terreno en el área de estudio juega un papel fundamental en la dinámica de los deslizamientos. En zonas con pendientes suaves o terrenos planos, la probabilidad de deslizamientos es menor, pero si ocurrieran, el material deslizado puede desplazarse sobre grandes superficies sin encontrar barreras naturales, lo que puede aumentar el área afectada. Por otro lado, en áreas con pendientes pronunciadas, aunque el material tiene mayor facilidad para moverse cuesta abajo, la inclinación también puede actuar como un factor que limita el volumen de material estable, generando condiciones específicas para el inicio y propagación del deslizamiento. Para la evaluación, se han considerado diferentes rangos de pendiente que permiten analizar el comportamiento potencial de los movimientos en masa.

Mientras que para el caso de un análisis de movimiento en masa relacionado a la estabilidad de un talud las pendientes también juegan un rol importante en ese análisis, ya que una mayor pendiente significará una mayor susceptibilidad a un deslizamiento, mientras que una pendiente menor la susceptibilidad a un deslizamiento será menor

3.4.1. Pendiente suave (**menor a 11.3 °**)

En el área evaluada está relacionada a las terrazas aluviales antigua, así como los cauces del río Vilcanota, así mismo dentro de esta unidad de pendiente comprende el terraplén de la vía férrea.

3.4.2. Pendiente moderada (**11.3 ° a 26.6°**)

En el área evaluada está relacionada a las terrazas aluviales los cuales presentan una pendiente más considerable, así como algunos sectores de los cauces del río Vilcanota.

3.4.3. Pendiente fuerte (**26.6° a 45°**)

En el área evaluada está relacionada a los taludes los cuales presentan una pendiente considerable.

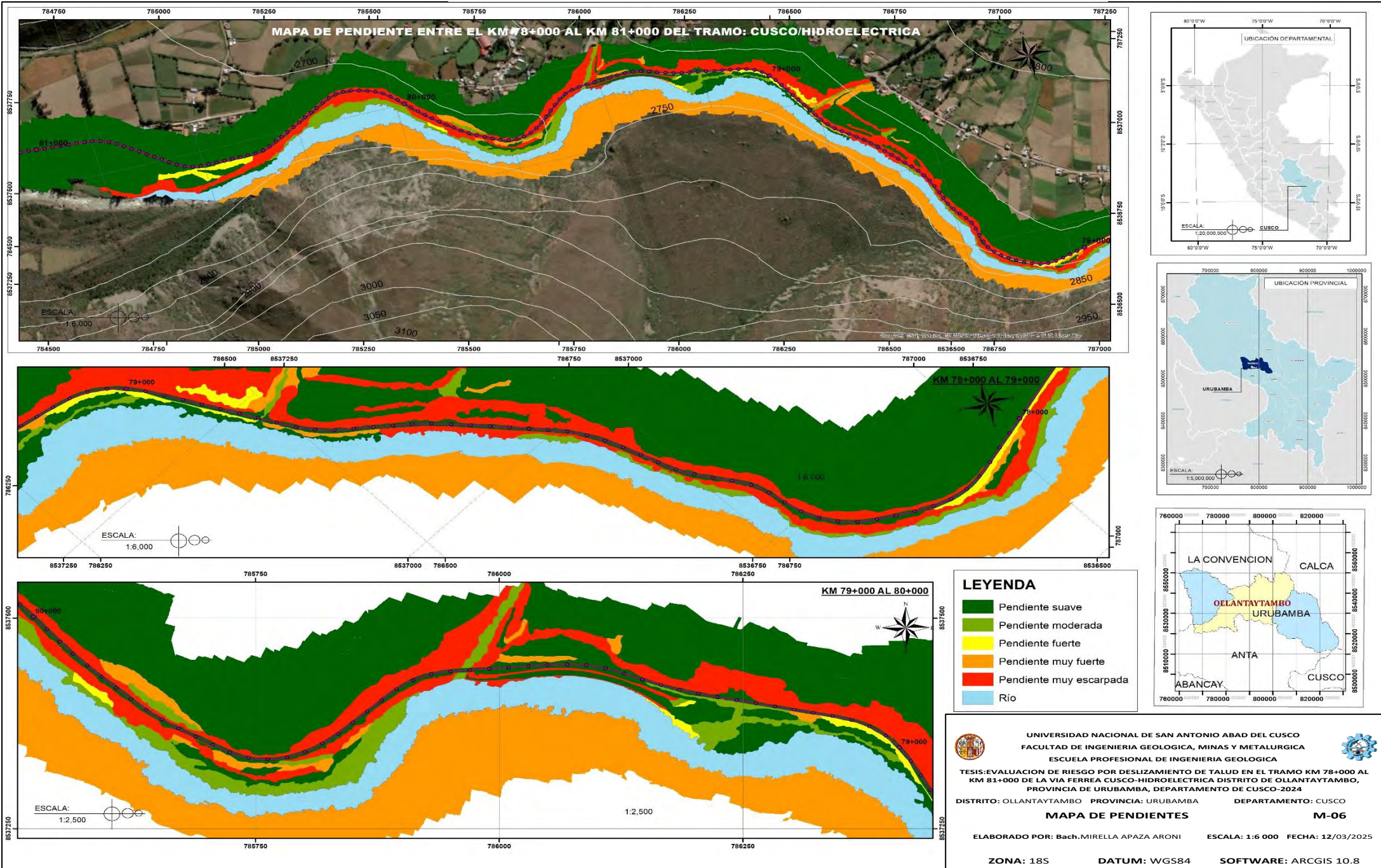
3.4.4. Pendiente muy fuerte (**45° a 63.4°**)

Su distribución está restringida a los taludes los cuales presentan una pendiente muy fuerte con más de 45° de inclinación.

3.4.5. Pendiente muy escarpada (**mayor a 63.4°**)

Distribuidas principalmente a los taludes los cuales presentan una pendiente vertical, con una inclinación mayor a 63.4 °

Mapa 6: Mapa de pendientes



Nota: Adaptado de GEOCATMIN (2023)

CAPITULO IV: ASPECTOS GEOTECNICOS

2.1.GENERALIDADES

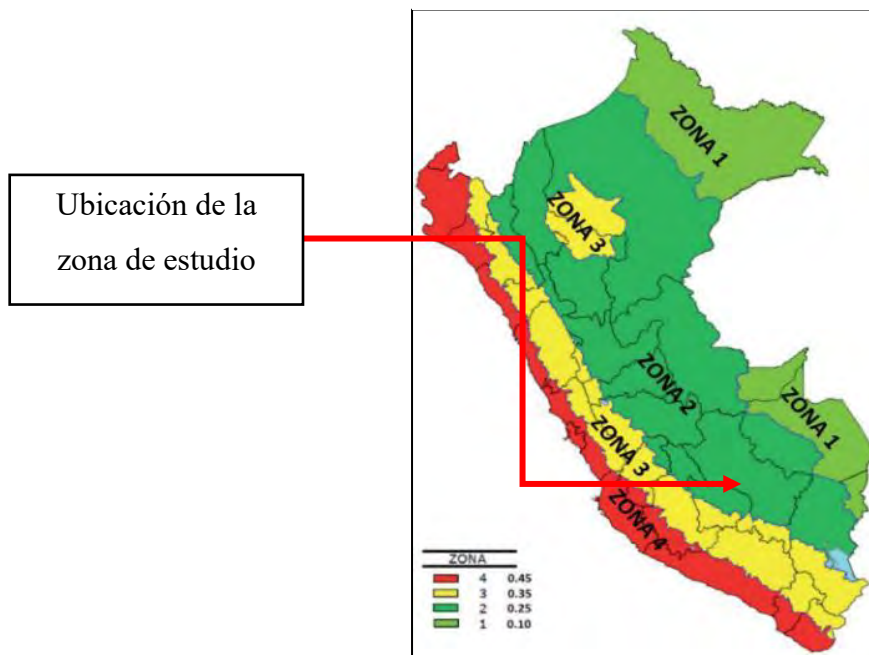
4.1.1. MARCO NORMATIVO.

Se tomaron como referencia las disposiciones mencionadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente las normativas E-050 sobre Suelos y Cimentaciones, E-030 de Diseño Sismo-Resistente, y E-020 referente a Cargas.

4.1.2. SISMICIDAD Y SISMICA

El territorio del país se divide en cuatro zonas, tal como se observa en la figura correspondiente. Dicha zonificación se determina a partir de la distribución espacial de la actividad sísmica registrada, las propiedades generales de los sismos y la forma en que su intensidad disminuye conforme aumenta la distancia al epicentro.

Figura 10:Zonificacion sísmica

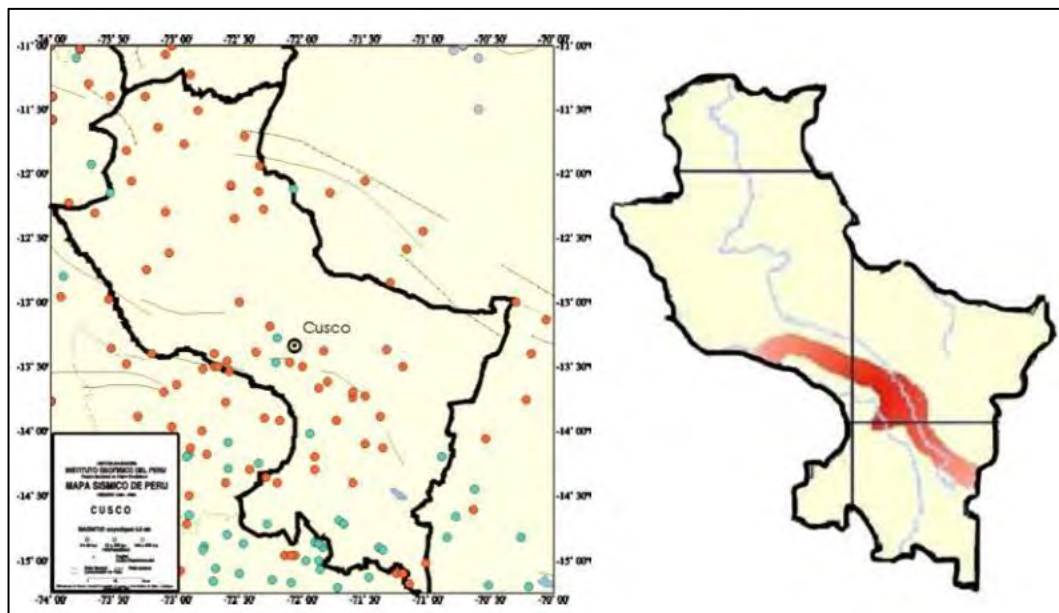


FUENTE: Senamhi

A cada una de las zonas sísmicas se le otorga un valor denominado factor Z, el cual indica la aceleración horizontal máxima probable en un terreno rígido. Este valor corresponde a una fracción de la aceleración gravitatoria y se basa en una probabilidad del 10 % de que dicha aceleración sea superada en un intervalo de 50 años.

La sismicidad se refiere a la actividad sísmica característica de un área, cuantificada por la cantidad de terremotos en una determinada unidad de espacio y tiempo, así como por la forma en que ocurren y sus impactos en la superficie terrestre. Las fallas tectónicas presentes en la zona de estudio están principalmente orientadas en dirección NW-SE, incluyendo fallas tensionales con rumbo NE-SO, las cuales generan estructuras anticlinales y sinclinales.

Figura 11: Imagen 1: Izquierda: Mapa sísmico del Perú donde se aprecia el departamento del Cusco con las zonas que son más propensas a sufrir los embates sísmicos. Fuente IGP. Derecha: Mapa de Zonas de Mayor Concentración de Sismos Superficiales (color rojo)

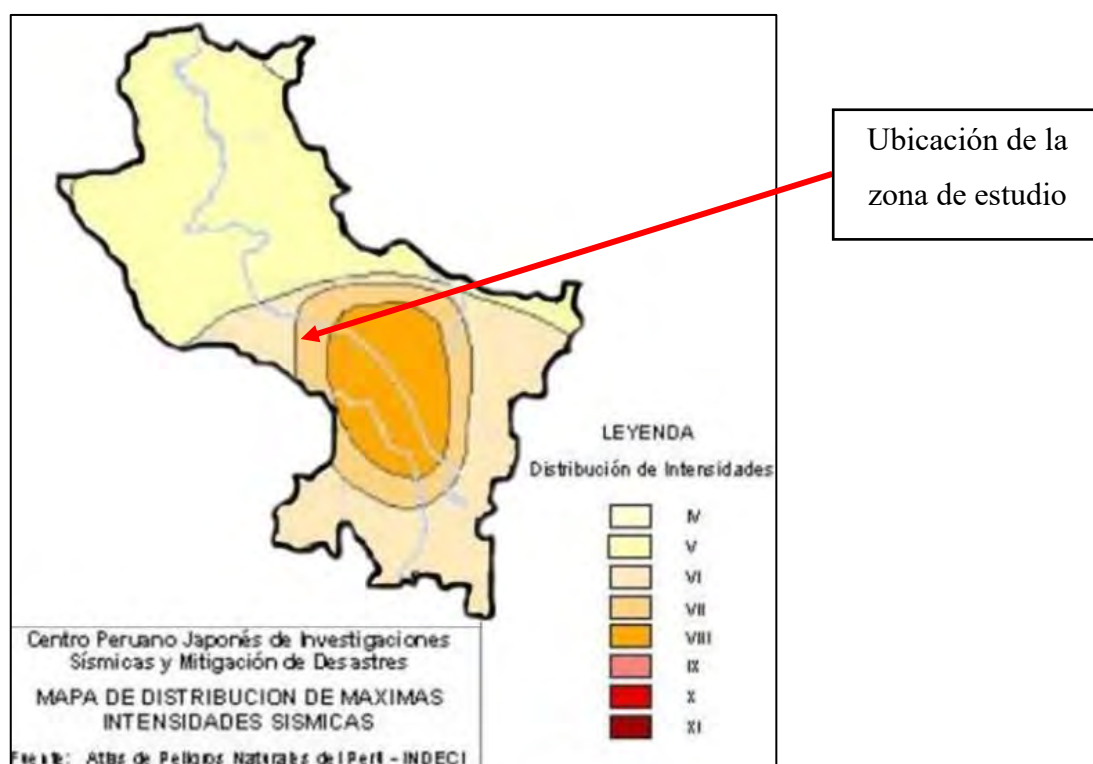


FUENTE: IGP-INDECI

La provincia del Cusco se sitúa en el límite noreste de una zona con alta concentración de sismos de profundidad intermedia, su límite oriental atraviesa las cercanías de la ribera norte del lago Titicaca y continúa por la línea divisoria entre Cusco y Apurímac, hasta el punto donde confluyen con el departamento de Ayacucho.

Asimismo, Cusco se ubica en el límite oriental de la zona norte, iniciando en la frontera Cusco–Apurímac–Ayacucho, extendiéndose hacia el límite compartido entre Cusco, Junín y Ucayali, pasando por la localidad de Bolognesi a orillas del río Ucayali, y avanzando casi en línea recta hacia el norte hasta alcanzar la frontera con Brasil.

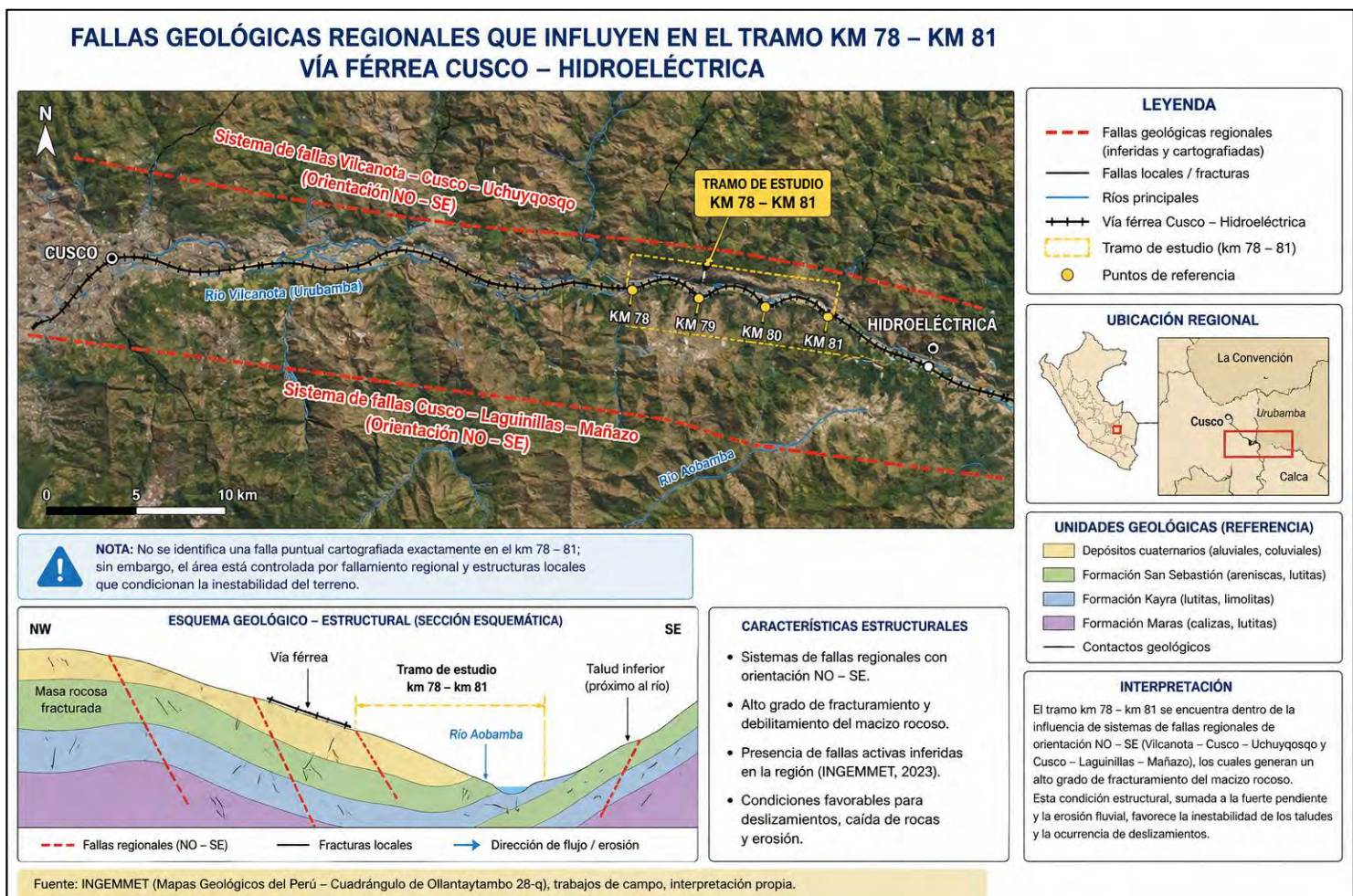
Figura 12: Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas en el Dpto. de Cusco



FUENTE: INDECI

Según el mapa de intensidades sísmicas máximo desarrollado por CISMID como parte del proyecto SISRACERESIS —el cual emplea isosistas basadas en la escala de Mercalli modificada e incorpora sismos relevantes ocurridos en el Perú hasta el 31 de diciembre de 2001—, la provincia del Cusco presenta intensidades sísmicas que oscilan entre los niveles VII y VIII. Esto sugiere que la zona presenta condiciones de inestabilidad, lo cual se ve reforzado por su geología accidentada, caracterizada por montañas de gran pendiente, propensas a deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos, afectando tanto a quebradas como a áreas pobladas en distritos y comunidades. Geográficamente, Cusco se ubica en una región de sismicidad moderada. En el caso particular del distrito de Ollantaytambo, el Reglamento Nacional de Construcciones establece parámetros sísmicos específicos que deben ser considerados para fines de diseño estructural.

Figura 13: Fallas geológicas que influyen en el tramo del km 78+000 al km 81+000



4.1.3. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS SISMICOS SEGÚN NORMA E030.

De acuerdo con nueva Norma Técnica E-30 y el predominio del suelo bajo el lugar de estudio, se recomienda adoptar Diseños Sismo-Resistentes, tomando en consideración los siguientes parámetros:

- Factor de zona (Zona 2) : Z = 0.25**
- Factor de suelo (S2 Suelo intermedios) : S = 1.20**
- Período que define la Plataforma del espectro : Ts = 0.60**
- Período que define la Plataforma del espectro : Tl = 2.00**

Los anteriores parámetros, se determinó de acuerdo a los mapa proporcionados por la normativa E030, en versión más reciente 2018.

A) FACTOR DE ZONA

Tabla 16 Determinación del factor zona

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota. Datos obtenidos de la norma E030

El área de estudio se ubica en una zona sísmica 2 ($Z = 0.25$) según la Norma E.030, lo que indica una peligrosidad sísmica moderada. Si bien el factor sísmico no es el principal condicionante de inestabilidad, se considera en el análisis pseudoestático del talud mediante un coeficiente sísmico horizontal, evaluando su influencia en la reducción del factor de seguridad.

B) PERFIL DEL SUELO

Para la determinación del perfil del suelo se consideró la clasificación del suelo obtenido y la resistencia al corte en condiciones no drenadas del ensayo de corte directo.

Tabla 17 Clasificación típica de suelos según el perfil (basado en la Norma E.030)

Tipo de suelo	Descripción	Velocidad V_{S30} (m/s)	Z o Fa (factor sísmico típico)
S1	Suelos muy blandos (arcillas orgánicas, turbas, etc.)	$V_{S30} < 180$	Muy alto
S2 (Tipo E)	Rellenos sueltos, arcillas blandas	$180 \leq V_{S30} < 360$	Alto
S3 (Tipo D)	Suelos intermedios (arena, grava densa, arcilla rígida)	$360 \leq V_{S30} < 760$	Moderado
S4 (Tipo C)	Suelos densos o roca blanda	$760 \leq V_{S30} < 1500$	Bajo
S5 (Tipo B)	Roca dura	$V_{S30} \geq 1500$	Muy bajo

C) FACTOR DEL SUELO

Tabla 18 Valores típicos del Factor "S" según tipo de suelo y zona sísmica.

Tipo de Suelo	Descripción del Suelo	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
S1	Roca o suelo muy denso	1.00	1.00	1.00	1.00
S2	Suelo medianamente denso o compacto	1.10	1.10	1.20	1.20
S3	Suelo blando (arenas sueltas, arcillas blandas, suelos poco consolidados)	1.20	1.20	1.30	1.30
S4	Suelo muy blando o de alta compresibilidad (rellenos flojos, turbas)	1.30	1.40	1.60	1.60

Nota. Datos obtenidos de la norma E030

D) PERIODOS “Tp” y “TL”

TP (Periodo de transición): Marca el cambio de pendiente en el espectro de aceleraciones, donde se pasa del tramo de aceleración constante a la fase de velocidad constante.

TL (Periodo largo): Es el periodo a partir del cual la aceleración espectral comienza a decrecer con el tiempo. Es fundamental para estructuras con periodos largos (puentes, edificios altos, etc.).

Tabla 19 *Períodos característicos TP y TL según zona sísmica*

Zona Sísmica	TP (segundos)	TL (segundos)
Zona 1	0.10	1.00
Zona 2	0.10	1.00
Zona 3	0.10	1.40
Zona 4	0.10	1.60

Nota. Datos obtenidos de la norma *E030*

4.1.4. ACELERACIONES SÍSMICAS NORMALIZADAS

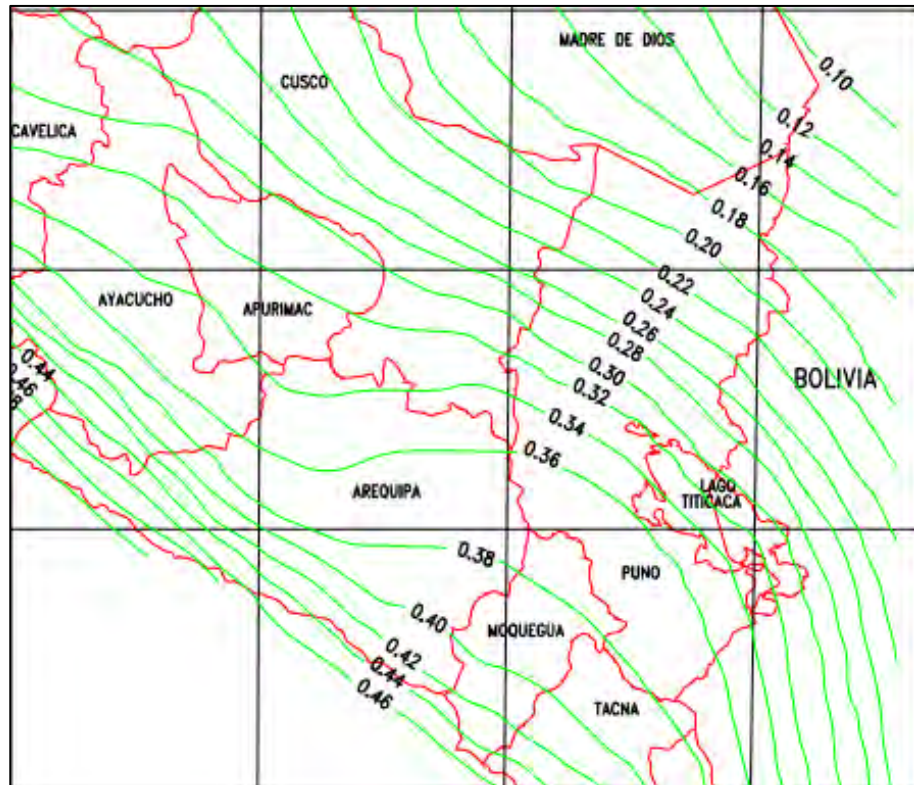
Según el mapa de aceleraciones máximas normalizadas elaborado por la Pontificia Universidad Católica del Perú, el cual se incluye en este informe, se determina que la zona del proyecto presenta una aceleración pico del orden de **0.26 g**.

La información más reciente relacionada con la peligrosidad sísmica de esta zona se encuentra en la ponencia **“Peligrosidad Sísmica en el Sur del Perú”** elaborada por D. López y J. Olarte (CISMID - UNI, 2001), en la cual se examina la distribución espacial de la actividad sísmica, considerando tanto los eventos superficiales como los que ocurren en profundidad. Asimismo, el estudio incorpora un tratamiento estadístico que permite generar curvas y fórmulas de períodos de retorno, útiles para

la estimación de eventos sísmicos futuros. Para el área estudiada, dicha evaluación establece:

Sismos de foco superficial (Profundidad hasta 60 Km): Total: 408 sismos

Figura 14: Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años



Fuente: CISMID & UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (1993)

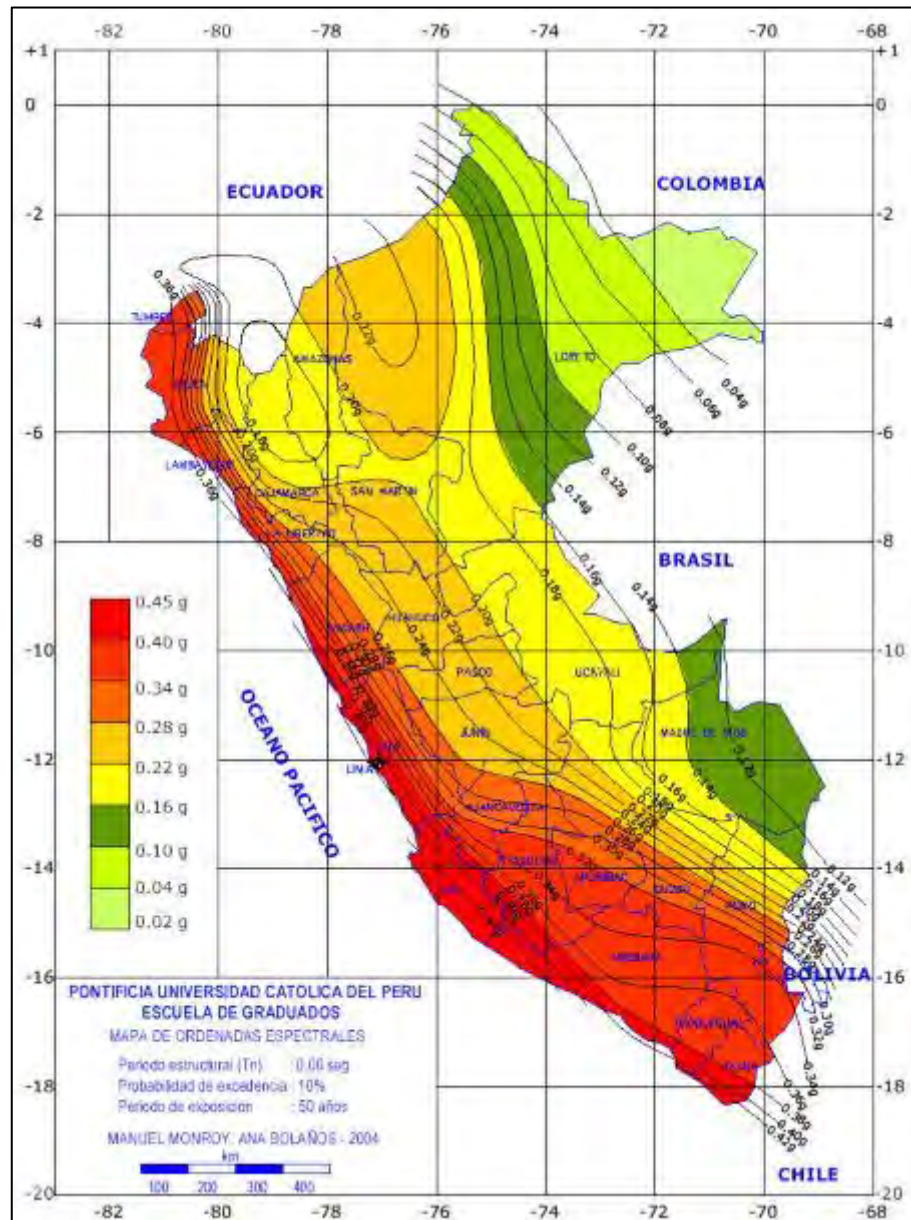
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

La probabilidad de ocurrencia de un sismo de $m_b \geq 6.5$ dentro de un período de 100 años llega a ser del 80%.

CURVAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS

Distribución de ordenadas espectrales para el Perú correspondientes a un periodo estructural normal y periodo de retorno de 475 años.

Figura 15: Mapa de ordenadas espectrales



FUENTE: E030

Según los datos disponibles, al área le corresponde una ordenada espectral de 0.30, asociada a un período de retorno de 475 años, lo cual implica una probabilidad del 10% de que dicha aceleración sea superada durante un intervalo de 50 años.

2.2.MECANICA DE SUELOS

Calicatas: Se realizaron 18 calicatas de 1.50 m de profundidad en el tramo de estudio. Estas exploraciones directas no pudieron ser excavadas a mayor profundidad debido a la presencia de bloques de roca. Sin embargo, se complementó la exploración geotécnica con exploraciones indirectas geofísicas de tipo eléctrico “Tomografía de refracción eléctrica”, alcanzándose profundidades de hasta 70.00 m.

Muestreo: Debido al tipo de suelo encontrado (Mixto gravas con finos), se tomaron muestras alteradas (Mab) por estrato identificado. (01 Estratos identificado con bolonerías).

Tabla 20 Normas aplicadas en campo

TECNICAS AUXILIARES	NORMAS APLICABLES
POZOS O CALICATAS Y TRINCHERAS	ASTM D 420, UNE 7-371:1975
TECNICAS DE MUESTREO	ASTM D 420
DESCRIPCION VISUAL DE SUELOS Y ROCAS	ASTM D 2487 – ISRM 2018

2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio realizados para el análisis de suelos en el área del proyecto se ejecutaron conforme a normativas técnicas nacionales e internacionales, asegurando la validez y confiabilidad de los resultados. A continuación, se detalla cada ensayo con la norma correspondiente aplicada.

Tabla 21 *Ensayo estándar y especiales*

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMAS
PREPARACION DE MUESTRAS	Se llevó a cabo siguiendo las especificaciones establecidas en las normas ASTM D 420-69 y UNE 103-100-95.
PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS	Este ensayo se realizó conforme a la norma ASTM D 854.
CONTENIDO DE HUMEDAD	Se aplicaron las metodologías indicadas en ASTM D 4643 y UNE 103-300-93.
GRANULOMETRIA Y CLASIFICACION	Se utilizaron las normas ASTM D 422 y ASTM D 2487/00 para determinar la distribución de tamaños de partículas y clasificar los suelos.
LIMITES DE CONSISTENCIA	Este procedimiento fue realizado bajo la normativa ASTM D 4318.
CORTE DIRECTO CU	Se ejecutó según los lineamientos de la norma ASTM D 3080.

2.4.DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA

Basándose en los datos recolectados tanto en el campo como en el laboratorio, se elaboró el perfil estratigráfico representativo del área estudiada:


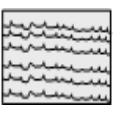
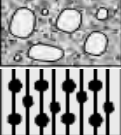
UBICACIÓN DE LAS CALICATAS

Tabla 22 *Coordenadas de las calicatas*


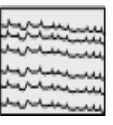
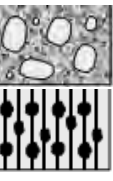
N°	LINEA	ESTE	NORTE
C-01	1	786835	8536720
C-02	1	786827	8536712
C-03	1	786821	8536695
C-04	2	786497	8537252
C-05	2	786478	8537226
C-06	2	786475	8537235
C-07	3	786001	8537471
C-08	3	785995	8537445
C-09	3	785986	8537437
C-10	4	785605	8537435
C-11	4	785599	8537434
C-12	4	785597	8537432
C-13	5	786469	8537300
C-14	5	785405	8537562
C-15	5	785400	8537564
C-16	6	785274	8537536
C-17	6	785324	8537464
C-18	6	785241	8537519

LINEA – 1

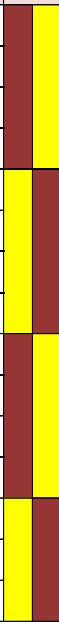

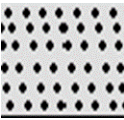
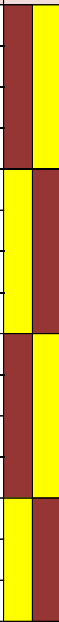

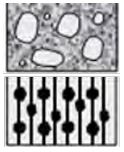
CALICATA 1

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices, clastos de roca	
0.20 m							
0.30 m							
0.40 m							
0.50 m	█	GP-GM				Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas a subredondeadas de baja consistencia en matriz limosa de baja plasticidad color marron oscuro
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m							
1.00 m							
1.10 m							
1.20 m							
1.30 m							
1.40 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

CALICATA 2

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico arenoso con presencia de raices, clastos y bolones	
0.20 m							
0.30 m							
0.40 m							
0.50 m	█	GP-GM				Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas de tamaño de mediana consistencia en matriz limosa de baja plasticidad color marron ligeramente amarillento
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m							
1.00 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

CALICATA 3

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		SP			Arenosa Mal Gradada	Suelo arenoso mal gradado con presencia de plantas y raices con clastos subredondeados de color marron oscuro
0.20 m						
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
1.10 m		GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas en matriz limosa de baja consistencia , color marron oscuro
1.20 m						
1.30 m						
1.40 m						
1.50 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

LINEA - 2

CALICATA -4

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones		
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices, clastos de roca subangulosos		
0.20 m								
0.30 m				GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas , bloques en matriz fina de limo de color marron oscuro
0.40 m								
0.50 m								
0.60 m								
0.70 m								
0.80 m								
0.90 m								
1.00 m								
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION								

CALICATA - 5

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices, clastos de roca subangulosos
0.20 m				GP-GM		
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA - 6

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		GP			Grava Mal Gradada	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina arenosa de color marron oscuro
0.20 m						
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

LINEA – 3


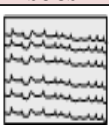
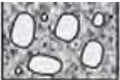
CALICATA - 7

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina arenosa de color marron oscuro
0.20 m						
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA – 8

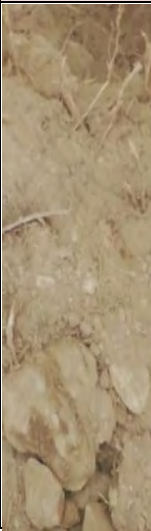
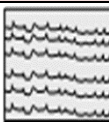
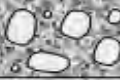
Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices y gravas subangulosas	
0.20 m							
0.30 m		GP-GM				Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina limoarenosa de color marron claro
0.40 m							
0.50 m							
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m							
1.00 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

CALICATA – 9

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m	■	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices y gravas subangulosas	
0.20 m							
0.30 m	■	GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina limoarenosa de color marron claro	
0.40 m							
0.50 m				■			
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m	■						
1.00 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

LINEA – 4

CALICATA - 10

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m	■	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices	
0.20 m							
0.30 m	■	GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina arenosa de color marron claro	
0.40 m							
0.50 m				■			
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m	■						
1.00 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

CALICATA – 11


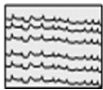

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices
0.20 m		GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos en matriz fina limosa de color marron claro
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA – 12


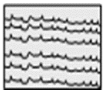

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices
0.20 m		GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos en matriz fina limosa de color marron claro
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

LINEA – 5


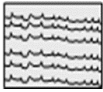
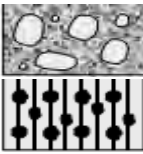
CALICATA - 13

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices
0.20 m				█	SW-SM	
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m	█					

CALICATA - 14


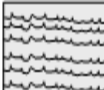
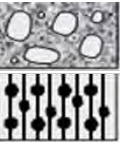
Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices
0.20 m				█	GP-GM	
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m	█					
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA - 15

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices
0.20 m					Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas mal gradadas en matriz limoarenosa de color marron oscuro de baja plasticidad,presencia de bloques en la parte inferior
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m	█					
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

LINEA – 6

CALICATA – 16

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m	█	Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de raices y gravas subangulosas
0.20 m					Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas y bloques subangulosos a subredondeados en matriz fina limoarenosa de color marron claro
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m	█					
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA - 17

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones
0.10 m		GP-GM			Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas mal gradadas en matriz limoarenosa de color marron oscuro de baja plasticidad, presencia de bloques en la parte superior, presencia de plantas y raices
0.20 m						
0.30 m						
0.40 m						
0.50 m						
0.60 m						
0.70 m						
0.80 m						
0.90 m						
1.00 m						
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION						

CALICATA - 18

Profundidad	ESC	SUCS	FOTOGRAFIA	Simbologia SUCS	Descripcion SUCS	Observaciones	
0.10 m		Pt			Turba y Suelos Altamente Organicos	Suelo organico con presencia de plantas y raices	
0.20 m		GP-GM				Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	Gravas subangulosas mal gradadas en matriz limosa de color marron oscuro de baja plasticidad
0.30 m							
0.40 m							
0.50 m							
0.60 m							
0.70 m							
0.80 m							
0.90 m							
1.00 m							
NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A LA PROFUNDIDAD DE INVESTIGACION							

En los sectores que no se pudo realizar excavaciones, se realizó un muestreo superficial considerando la secuencia estratigráfica del talud.

2.5.EVALUACION DE LA ESTABILIDAD DE TALUD

La evaluación de la estabilidad del talud se llevó a cabo tomando en cuenta las siguientes condiciones:

Tabla 23 *Detalles del análisis*

ANÁLISIS BIDIMENSIONAL	SECCIÓN CRÍTICA.
CRITERIO DE FALLA	MOHR – COULOMB
SUPERFICIE DE FALLA	CIRCULAR (CONDICION MAS CRITICA)
PROP. MEC. DEL SUELO	CORTE DIRECTO CU
MÉTODO DE ANALISIS	BISHOP
CONSIDERACIÓN DE FALLA	ESTÁTICA Y DINAMICA.

4.5.1. ETAPAS EN EL PROCESO DE FALLA.

Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por Varnes (1978), Hutchinson (1988), etc., deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos. En este contexto, es necesario distinguir cuatro etapas diferentes para clasificar los movimientos:

- a. **Fase de degradación o precolapso**, en la que el terreno aún conserva su estructura principal sin alteraciones significativas.
- b. **Fase de colapso**, caracterizada por la aparición de una superficie de fractura o por el desplazamiento considerable de una porción del terreno.
- c. **Fase posterior al colapso**, que incluye los desplazamientos de la masa afectada desde el inicio del fallo hasta que esta cesa por completo.
- d. **Fase de posible reactivación**, durante la cual pueden generarse nuevos

desplazamientos que constituyen una nueva falla, repitiéndose las fases previamente descritas.

Método de BISHOP (1955)

Bishop propuso una manera para analizar la estabilidad de un talud dividiéndolo en varias secciones llamadas dovelas (como pequeños bloques). Luego, estudió cómo actúan las fuerzas entre esos bloques para entender mejor si el talud puede mantenerse firme o si puede deslizarse. Este método es más completo porque no ignora ninguna fuerza importante que influye en la estabilidad, y fue uno de los primeros en mostrar que los métodos antiguos podían dejar pasar cosas importantes.

$$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0, \text{ Criterio de rotura.}$$

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

F y **X** cumplen con la ecuación proporcionada constituyen una solución precisa al problema. Como estimación inicial, suele asumirse que la **suma de fuerzas horizontales (ΣX) es igual a cero**, para luego determinar el factor de seguridad. Este enfoque es conocido como el **método ordinario de Bishop**, y presenta un margen de error cercano al 1 % en comparación con el método completo.

El **método simplificado de Bishop** se ha posicionado como la más usada para la estimación de factores de seguridad en análisis de taludes. A pesar de que este método únicamente considera el equilibrio de momentos, los resultados que proporciona son bastante precisos y se aproximan mucho a los obtenidos mediante el método ordinario.

Existen técnicas más precisas que el método de Bishop, pero las diferencias en los factores de seguridad que proporcionan suelen ser mínimas. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares (Jaime Suarez, 2002).

4.5.2. CONSIDERACIONES SISMICAS

La siguiente tabla presenta los factores asignados a cada área, determinados en función de la aceleración máxima del suelo (PGA, *peak ground acceleration*) correspondiente a un período de retorno de 1000 años.

Tabla 24 Factor de zona Peru E30-2018

Zona	4	3	2	1
PGA	0,45	0,35	0,25	0,10

Según lo establecido en la normativa, la categorización de los suelos se fundamenta en factores como sus propiedades mecánicas, el grosor del estrato, el período natural de vibración y la velocidad a la que se propagan las ondas de corte. A partir de estos criterios, se identifican cuatro categorías principales de perfiles de suelo:

Tabla 25 Clasificación de suelos de acuerdo a la norma E030 -2018.

	S0: Roca Dura	S1: Roca o suelos muy rígidos	S2: Suelos Intermedios	S3: Suelos Blandos
Zona 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Zona 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Zona 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Zona 1	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota. Obtenido de la norma E030

Tabla 26 Factor de zona Perú E030 -2018.

	S0: <i>Roca Dura</i>	S1: <i>Roca o suelos muy rígidos</i>	S2: <i>Suelos Intermedios</i>	S3: <i>Suelos Blandos</i>
<i>T_p (s)</i>	0.30	0.40	0.60	1.00

Nota. Obtenido de la norma E030

La aceleración máxima horizontal de diseño (A_{max-d}) se calcula de la siguiente manera:

$$A_{max-d} = PGA \times S$$

Cuando se emplean métodos pseudo-estáticos para diseñar taludes, la recomendación de AASHTO sugiere reducir el valor calculado a la mitad.

Según el Mapa de Zonificación del Coeficiente Sísmico en Perú, se ha adoptado un coeficiente de aceleración sísmica severa ($a_c = 0.30$) en ambas direcciones bajo estas condiciones sísmicas.

La zonificación sísmica ubica a la región de Cusco en la zona 2, se proyecta que la probabilidad de que ocurra un sismo en un lapso de 50 años aumente en un 10 %

Tabla 27 Datos sísmicos taludes a modelar.

DESCRIPCION	VALOR
Factor de zona (Z=2)	0.25
Factor de suelo (S2)	1.20
T_p (s)	0.60
Sa = Z * U * C * S * g * (1/R)	0.25

Nota: El valor del factor **Sa** fue obtenido a partir de las tablas establecidas en la **normativa E030 vigente**, tomando en cuenta las condiciones específicas del estudio.

$$S_a = 0.25g$$

$$\text{Coef. sísmico vertical (KV)} = 2/3KH = 0.17g$$

Tabla 28 Datos Sísmicos de la zona de estudio

DESCRIPCION	VALOR
C. Horizontal (KH)	0.25
C. Vertical (KV)	0.17

4.5.3. SECCIONES CRITICAS A ANALIZAR

Para el presente caso se analizaron 06 líneas en las condiciones más cricas. Para la selección de las secciones más críticas se consideraron los criterios de verticalidad y probabilidad de caída de roca.

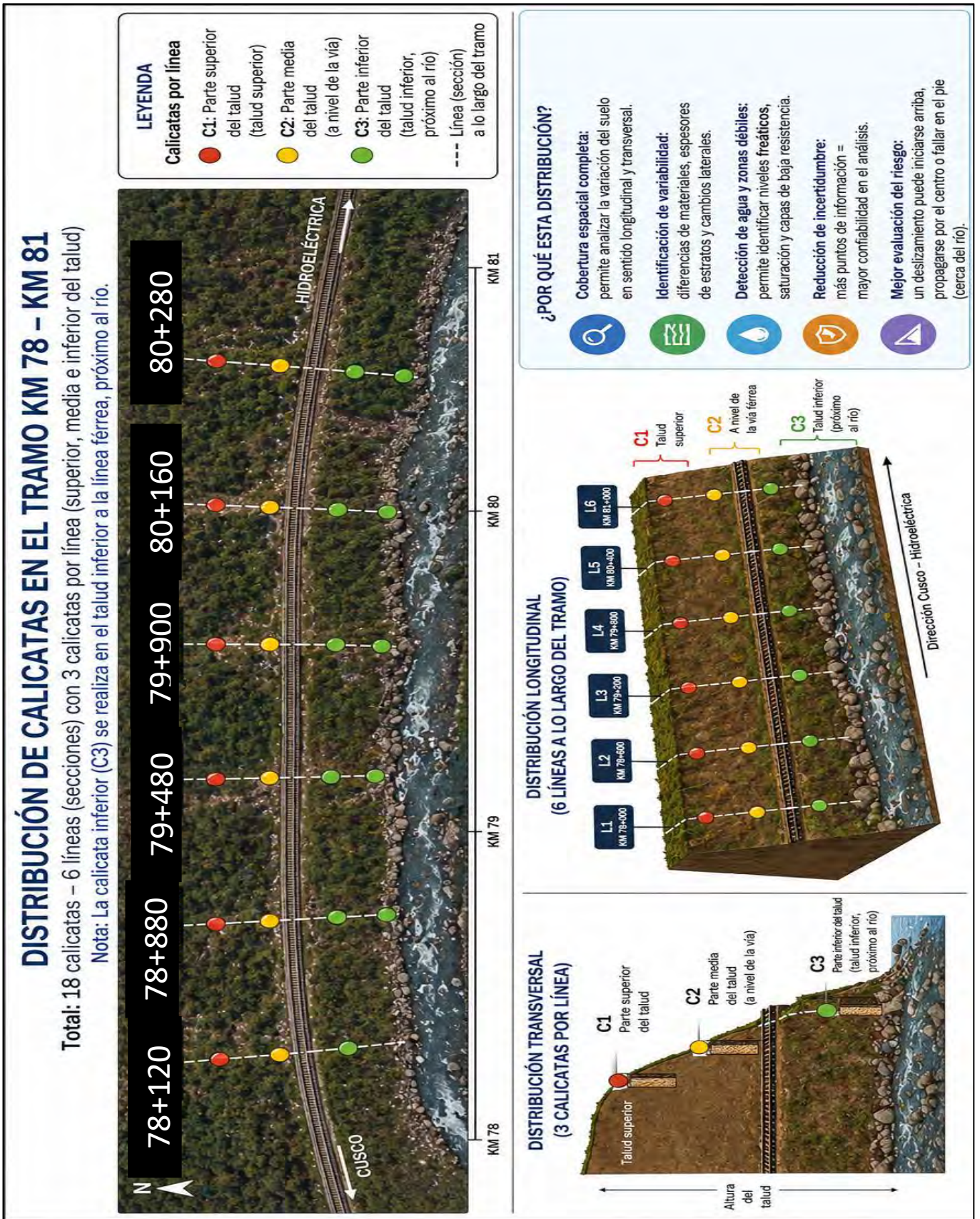
Se tienen analizados 06 líneas de investigación para la estabilidad de taludes:

Tabla 29 Líneas de investigación geotécnica de estabilidad de taludes

NRO DE LINEA	PK REFERENCIA
	CAMPO
L-01	PK 78+120
L-02	PK 78+880
L-03	PK 79+480
L-04	PK 79+900
L-05	PK 80+160
L-06	PK 80+280

Se empleó el programa SLIDE 6.0 para calcular el factor de seguridad, realizando simulaciones que representan las condiciones actuales del terreno tomando en cuenta la clasificación del suelo.

Figura 16: Distribución de calicatas



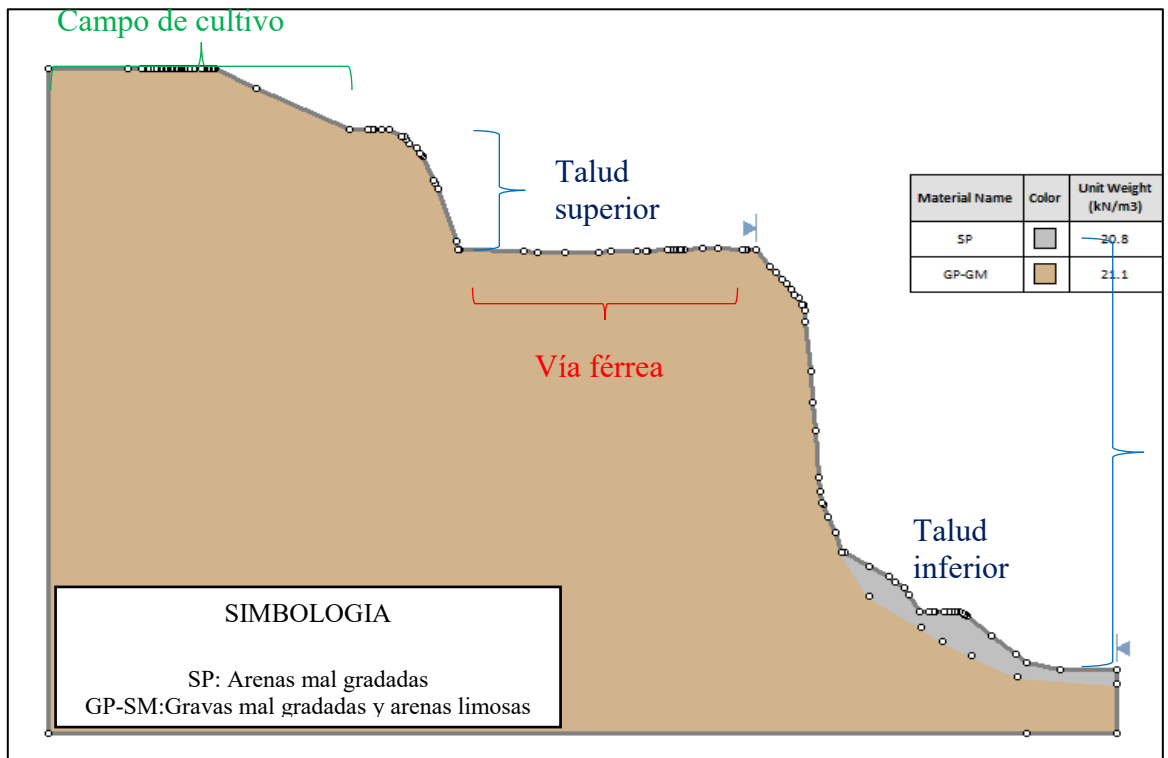


Figura 18: Línea a analizar 01

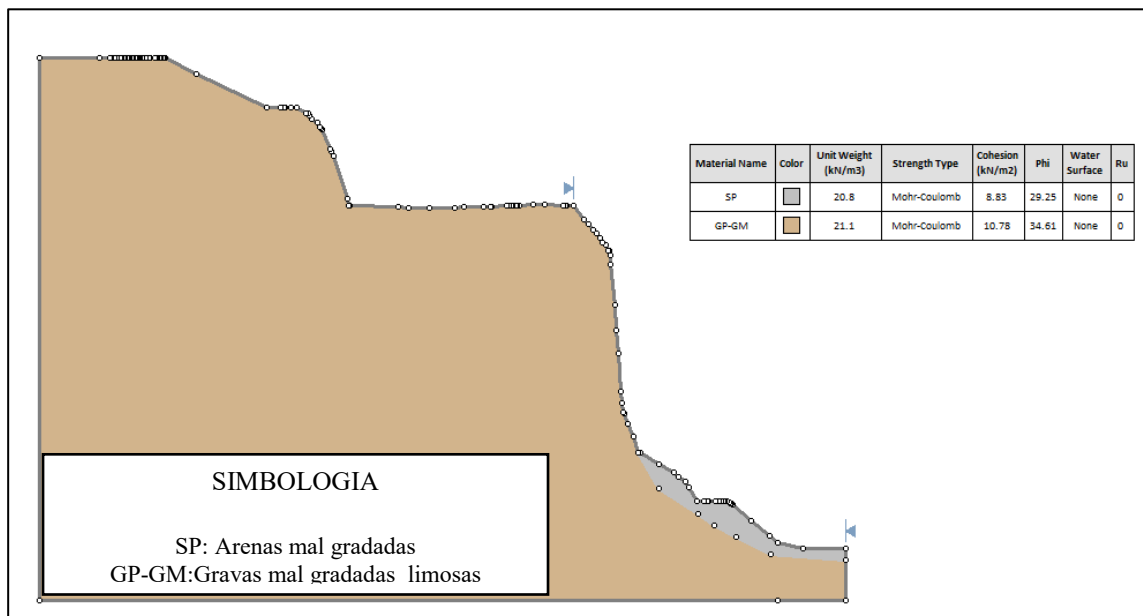


Figura 19:Linea a analizar 02

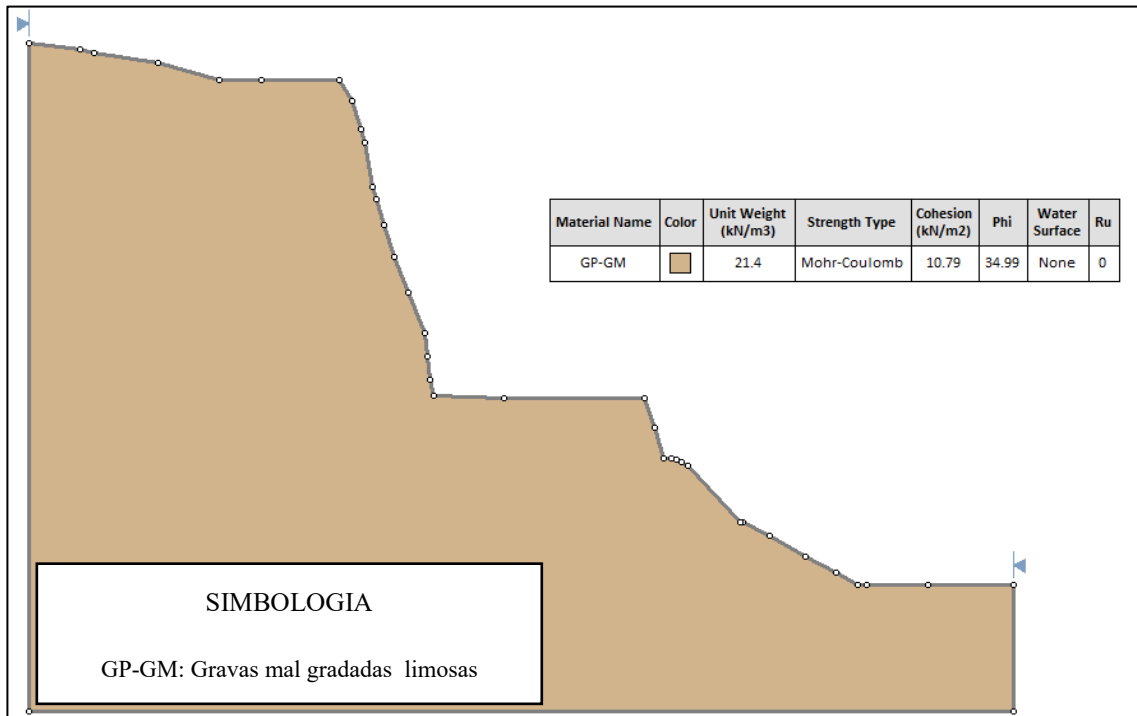


Figura 20:Linea a analizar 03

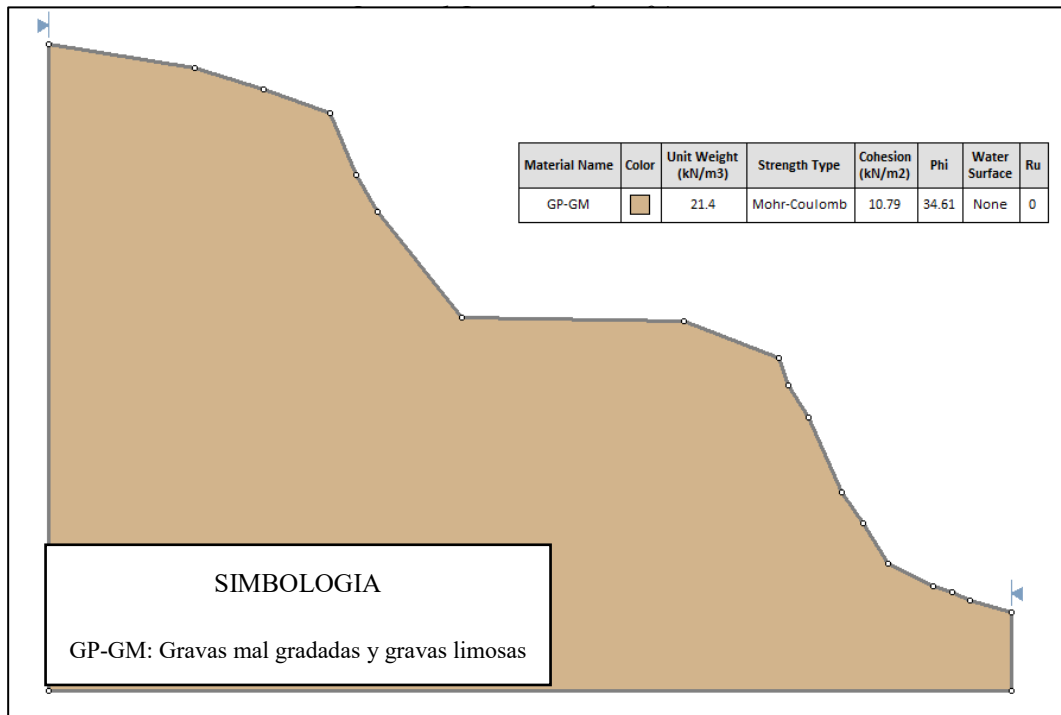


Figura 21:Linea a analizar 04

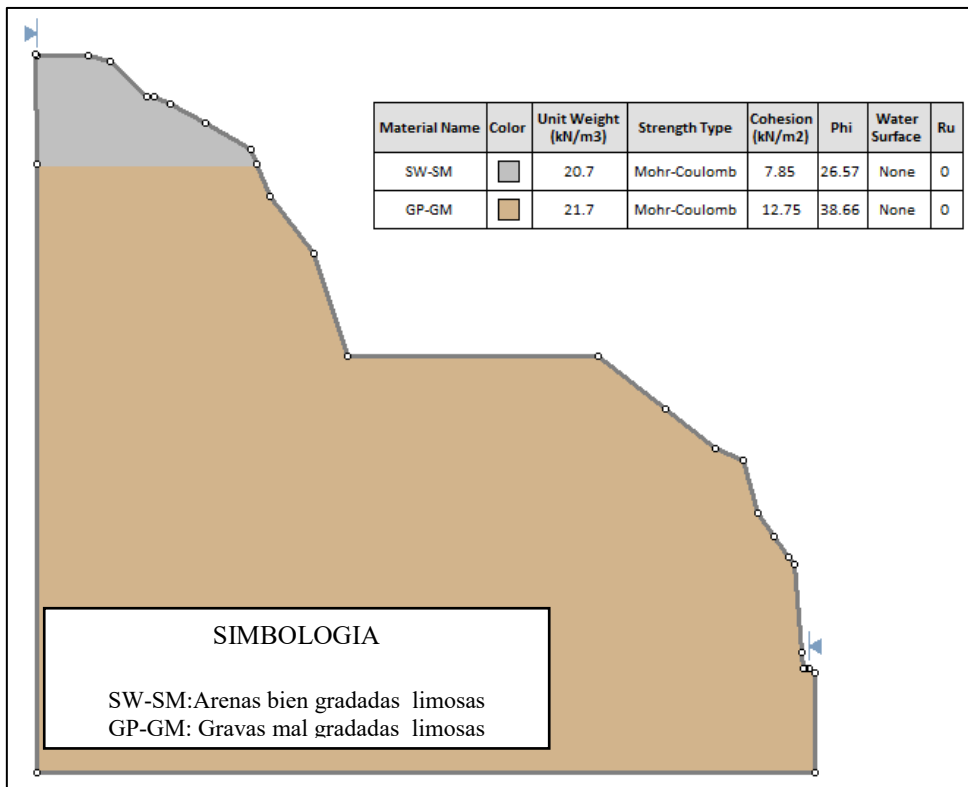


Figura 22:Linea a analizar 05

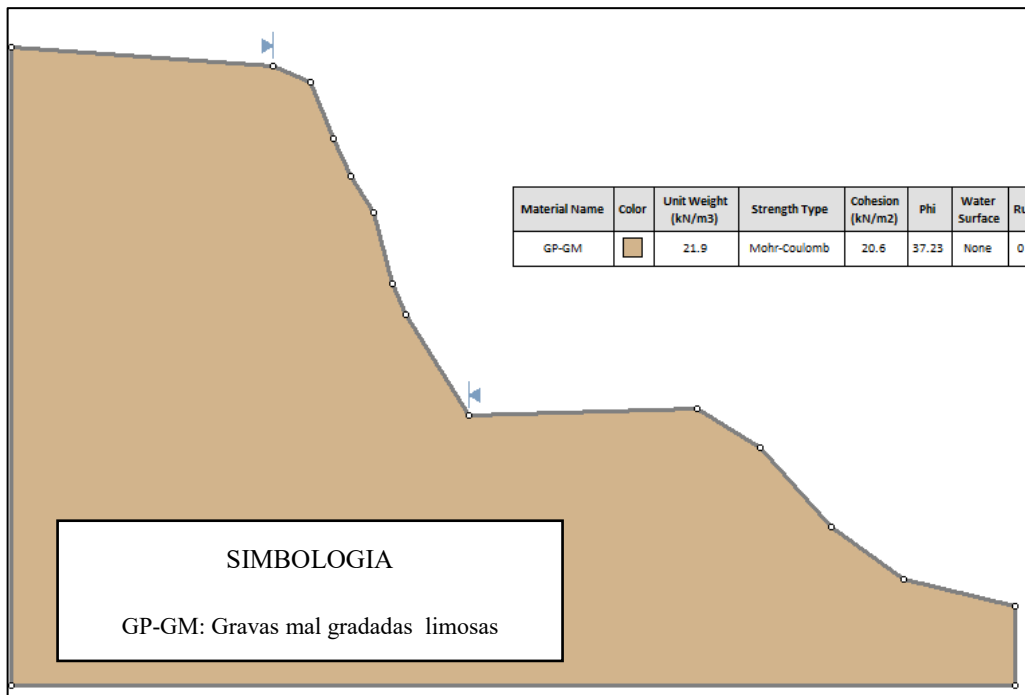
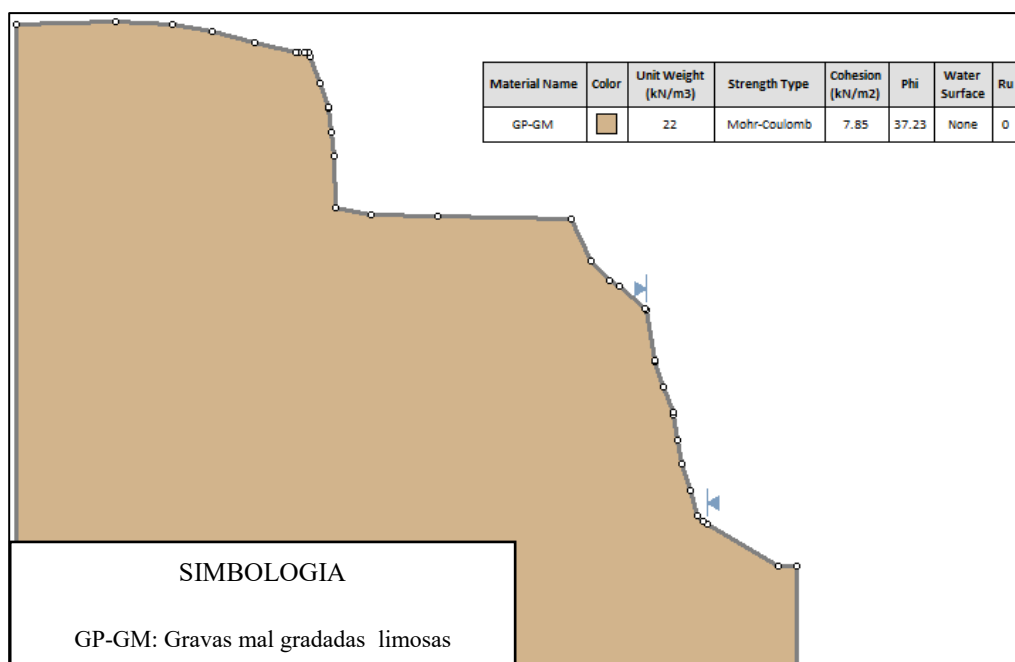


Figura 23:Linea a analizar 06



Como se observa, en las líneas 2,3,5,6 hay 1 solo estrato y en las líneas 1,4 dos horizontes estratigráficos.

Estrato 01, arena pobremente gradada

Estrato 02, grava mal gradada limosa

4.5.4. DESARROLLO DEL TRABAJO REALIZADO

Posterior a la identificación de los sectores más críticos se procederá a realizar la simulación en el software en condiciones estáticas y dinámicas “sísmicas” para verificar el factor de seguridad considerando los lineamientos en la normativa CE020(Suelos y Taludes).

La simulación del talud se realizó únicamente bajo **condiciones estáticas y dinámicas (sísmicas)** empleando los **métodos de Fellenius y Bishop**, debido a que estos métodos se ajustan de manera adecuada a los **lineamientos establecidos en la Norma CE.020 – Suelos y Taludes** del Reglamento Nacional de Edificaciones, así como a las **características geotécnicas y geométricas del talud evaluado**.

En primer lugar, el **tipo de falla esperado** en el tramo de estudio corresponde principalmente a **deslizamientos rotacionales superficiales y poco profundos**, típicos de taludes en suelos y macizos meteorizados. Para este tipo de superficie de falla aproximadamente **circular**, los métodos de Fellenius y Bishop son ampliamente aceptados y utilizados, ya que fueron desarrollados específicamente para analizar este tipo de mecanismos de falla.

El **método de Fellenius (o método ordinario de las dovelas)** considera el equilibrio de momentos, despreciando las fuerzas internas entre dovelas. Si bien es un método conservador, resulta útil como **evaluación preliminar del factor de seguridad**, especialmente en condiciones estáticas y cuando se requiere coherencia con la normativa nacional.

Por su parte, el **método de Bishop Simplificado** mejora la precisión del análisis al considerar parcialmente las fuerzas normales entre dovelas, manteniendo el equilibrio de momentos. Este método es reconocido por su **buena aproximación del equilibrio global**

y su estabilidad numérica, incluso bajo **condiciones sísmicas**, mediante la incorporación del **coeficiente sísmico horizontal**, tal como lo recomienda la Norma CE.020.

En cuanto a las **condiciones dinámicas**, la normativa nacional establece el uso del **método pseudoestático**, el cual introduce una **fuerza horizontal equivalente** que representa la acción sísmica. Tanto Fellenius como Bishop permiten incorporar esta fuerza de manera directa y coherente con los criterios normativos, sin requerir supuestos adicionales complejos.

Por otro lado, los métodos de **Morgenstern-Price** y **Spencer** requieren que se cumpla simultáneamente el equilibrio de **fuerzas horizontales, verticales y momentos**, lo que los hace más rigurosos desde el punto de vista teórico, además se aplica en taludes con **superficies de falla no circulares, taludes muy empinados, taludes en cuña** o en presencia de nivel freático y **no son exigidos explícitamente por la Norma CE.020** para estudios de estabilidad de taludes de este tipo.

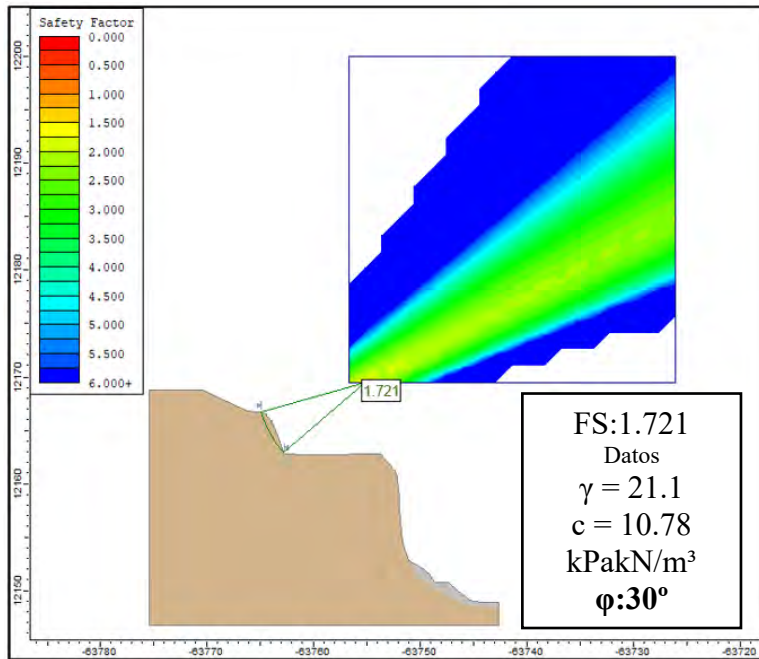
Dado que el objetivo del estudio es la **evaluación del riesgo por deslizamiento** y no el análisis avanzado del comportamiento tensodeformacional del talud, el uso de métodos más complejos no aportaría diferencias significativas en la toma de decisiones.

En conclusión, la selección de los métodos de **Fellenius** y **Bishop**, bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas, se encuentra **técnica y normativamente justificada**, siendo adecuados para el **tipo de superficie de falla**, las **condiciones de equilibrio consideradas**, y el **nivel de detalle requerido** en una evaluación de riesgo conforme a la Norma CE.020.

A) SIN SISMO

LINEA 01

Figura 24: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius (LINEA 01).



Fuente: SLIDE

De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

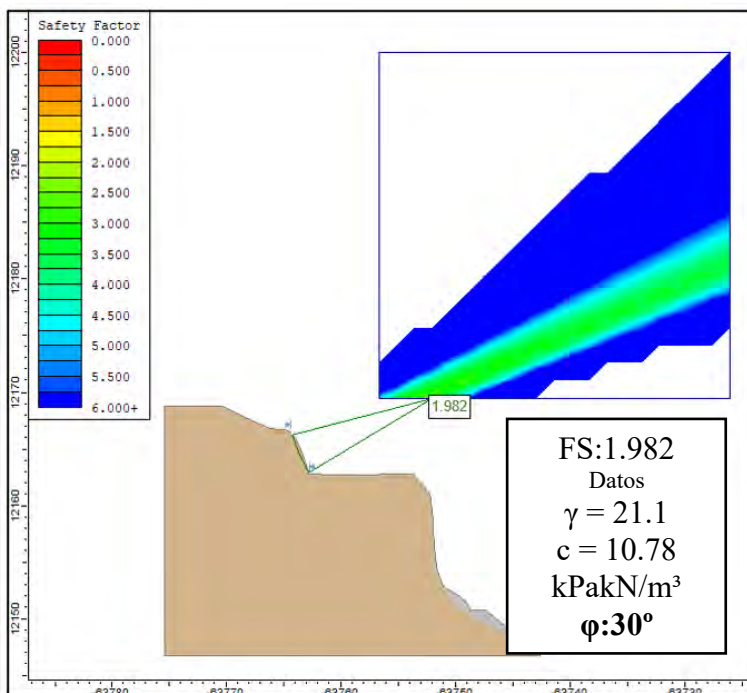
- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.721 > 1.50 → **el talud es estable en condición estática**

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Figura 25: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop (LINEA 01)



Fuente: SLIDE

De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.982 > 1.50 → **el talud es estable en condición estática**

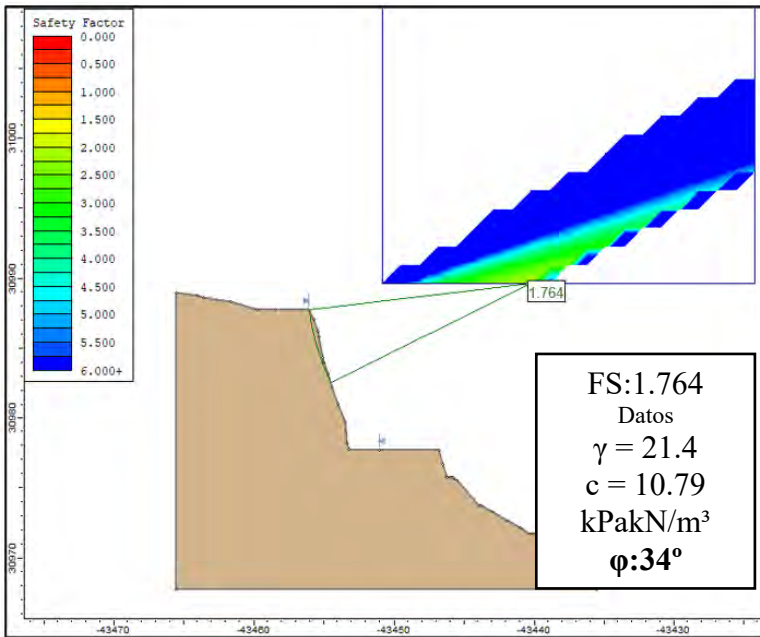
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

LINEA 02

Figura 26: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius



Fuente: SLIDE

De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

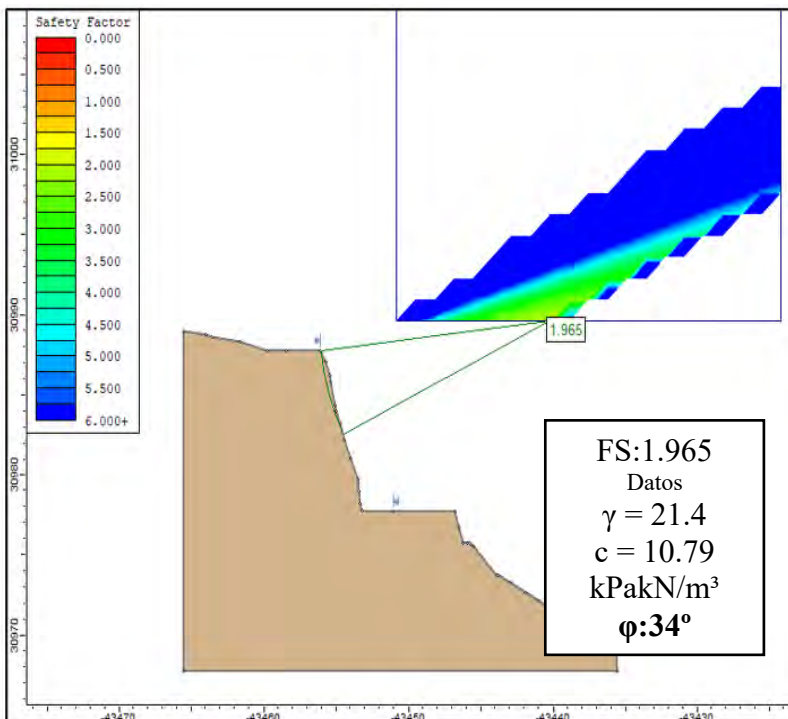
- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.764 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Figura 27: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop



Fuente: SLIDE

De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.965 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

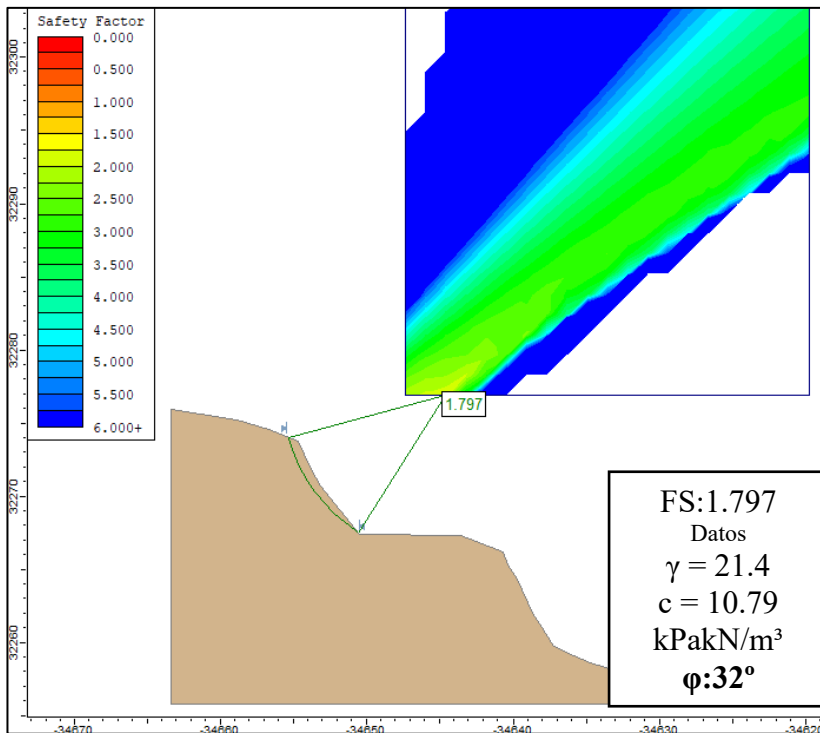
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

LINEA 03

Figura 28: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.797 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

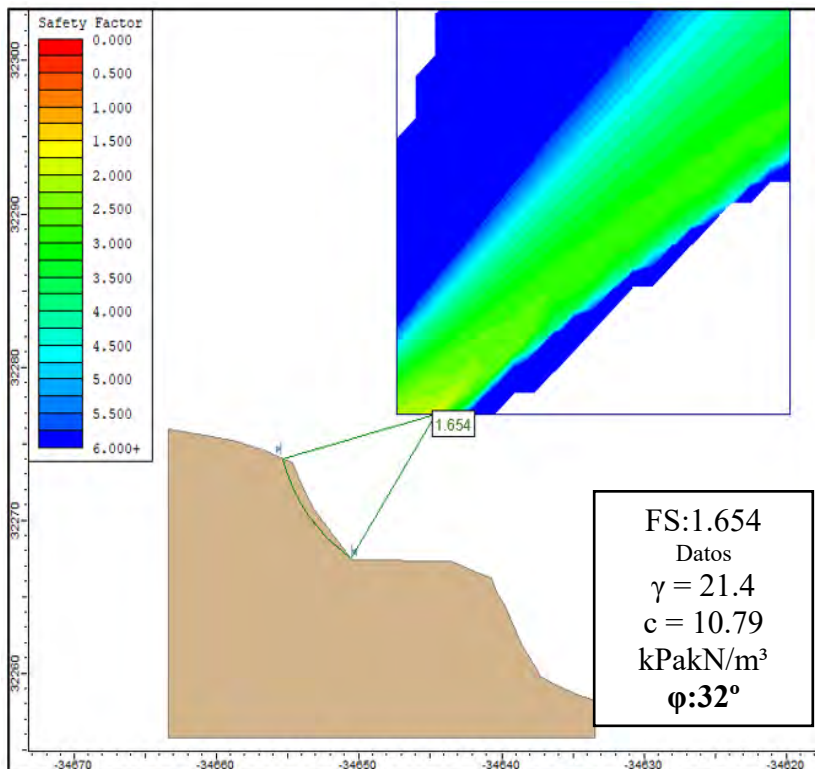
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

Figura 29: Imagen 18: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.654 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

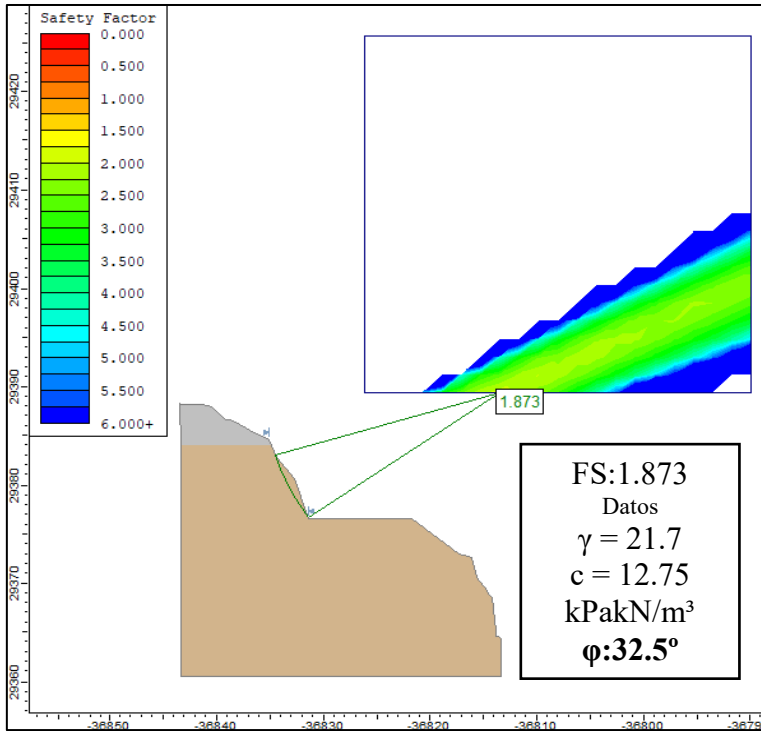
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

LINEA 04

Figura 30: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
 $FS \geq 1.50$
- Por lo tanto:
 $FS = 1.873 > 1.50 \rightarrow$ el talud es estable en condición estática

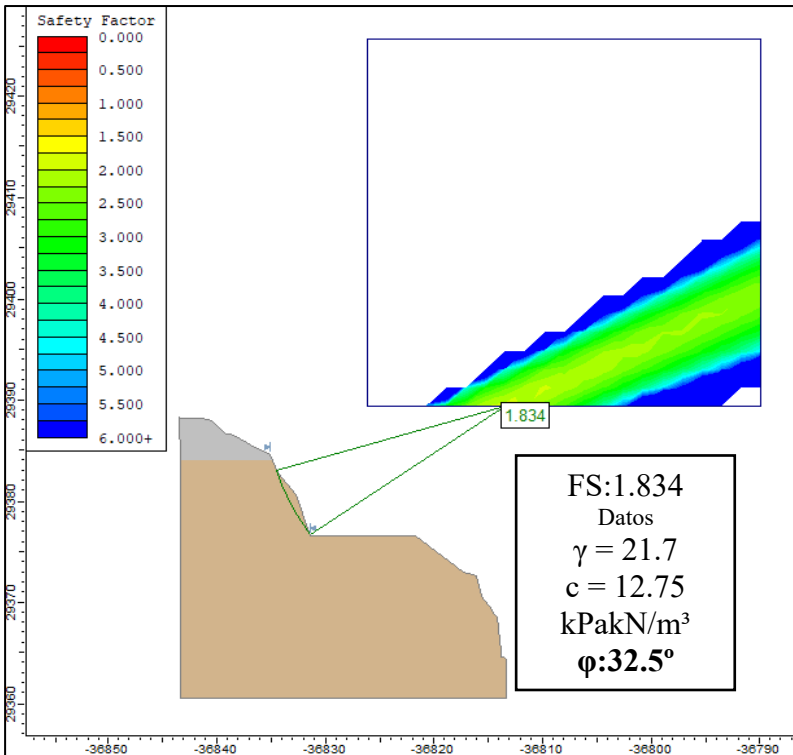
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

Figura 31: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
 $FS \geq 1.50$
- Por lo tanto:
 $FS = 1.834 > 1.50 \rightarrow$ el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

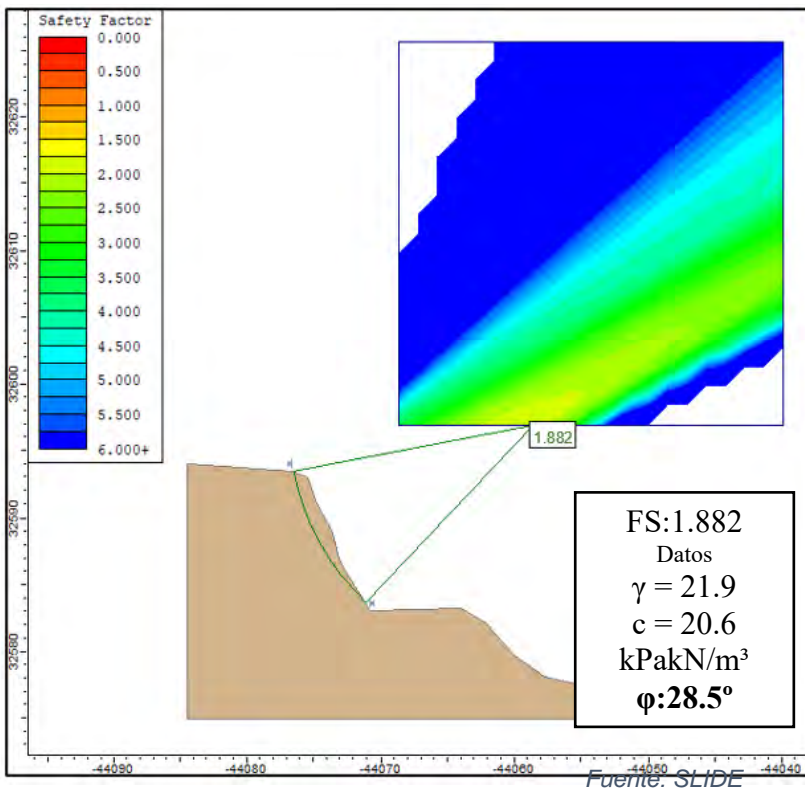
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

LINEA 05

Figura 32: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

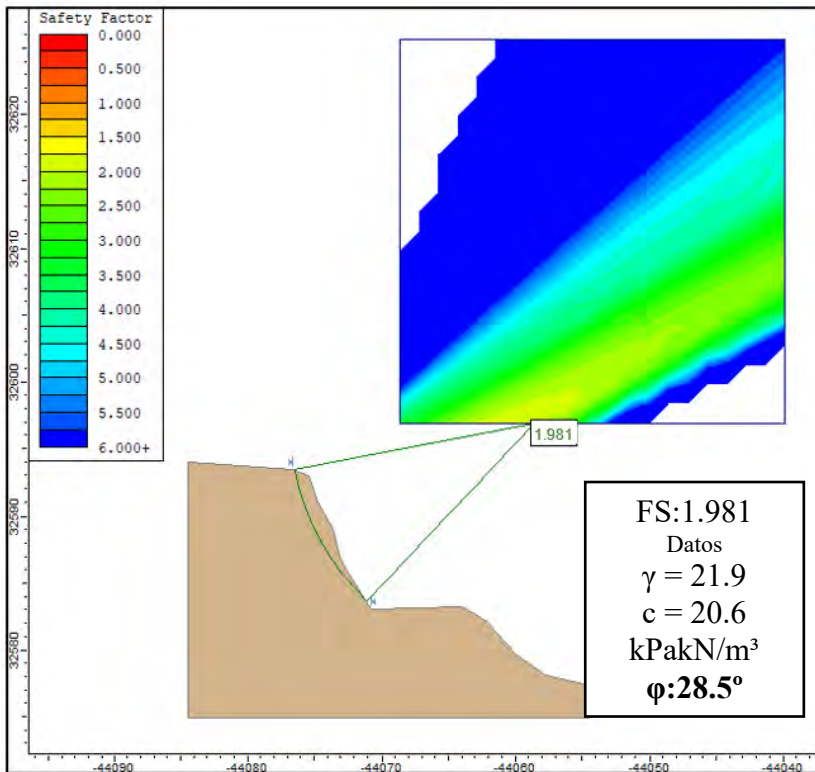
- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.882 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Figura 33: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.981 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

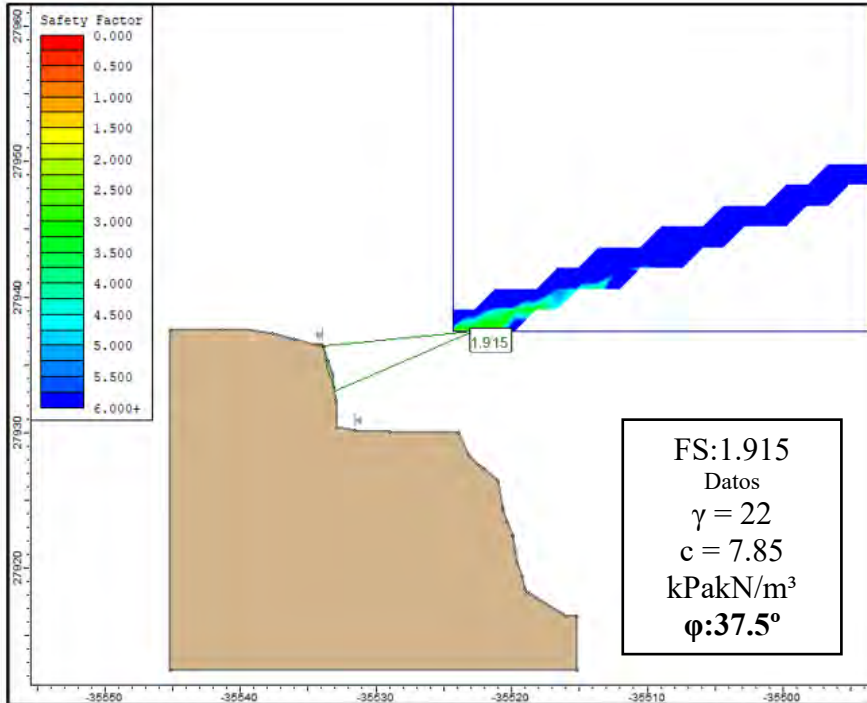
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

LINEA 06

Figura 34: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.915 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

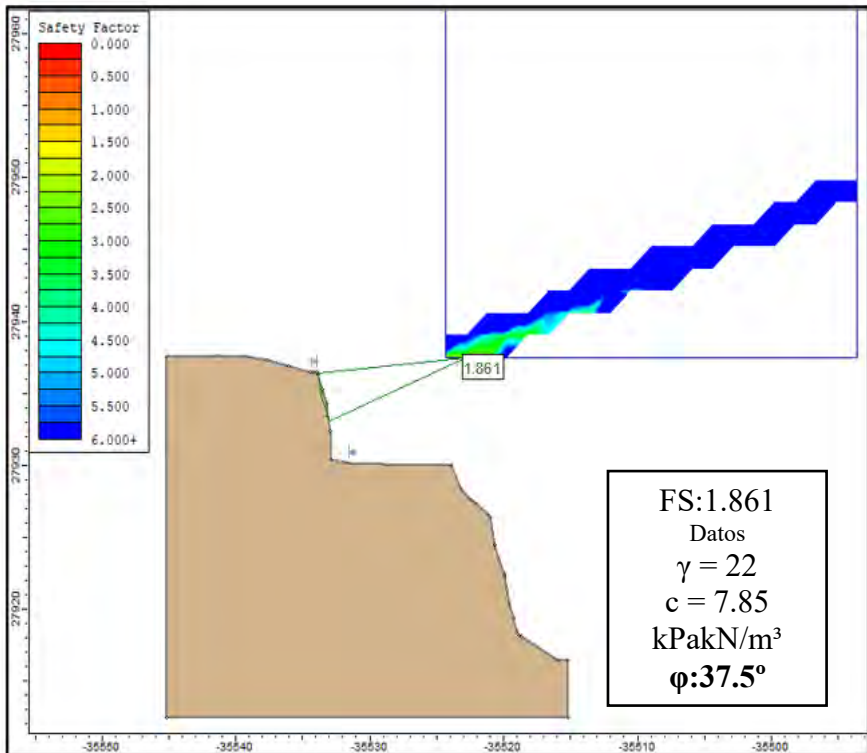
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

Figura 35: Determinación del FS del talud (Sin sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

- Para **condición estática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.50
- Por lo tanto:
FS = 1.861 > 1.50 → el talud es estable en condición estática

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

B) CON SISMO

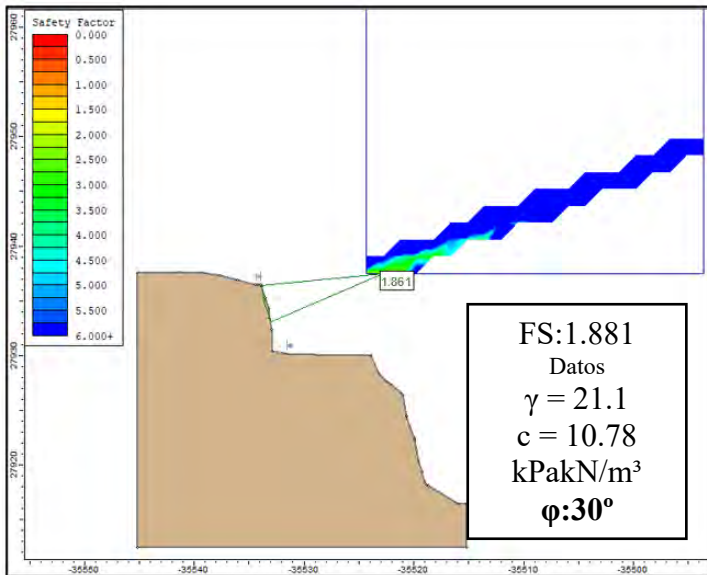
Para el análisis sísmico se consideró los coeficientes horizontal y vertical determinados en consideraciones Sísmicos

Tabla 30 Datos Sísmicos

DESCRIPCION	VALOR
C. Horizontal (KH)	0.25
C. Vertical (KV)	0.17

LINEA 01

Figura 36: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Fellenius



Fuente: SLIDE

De acuerdo con la Norma CE.020 –
Suelos y Taludes:

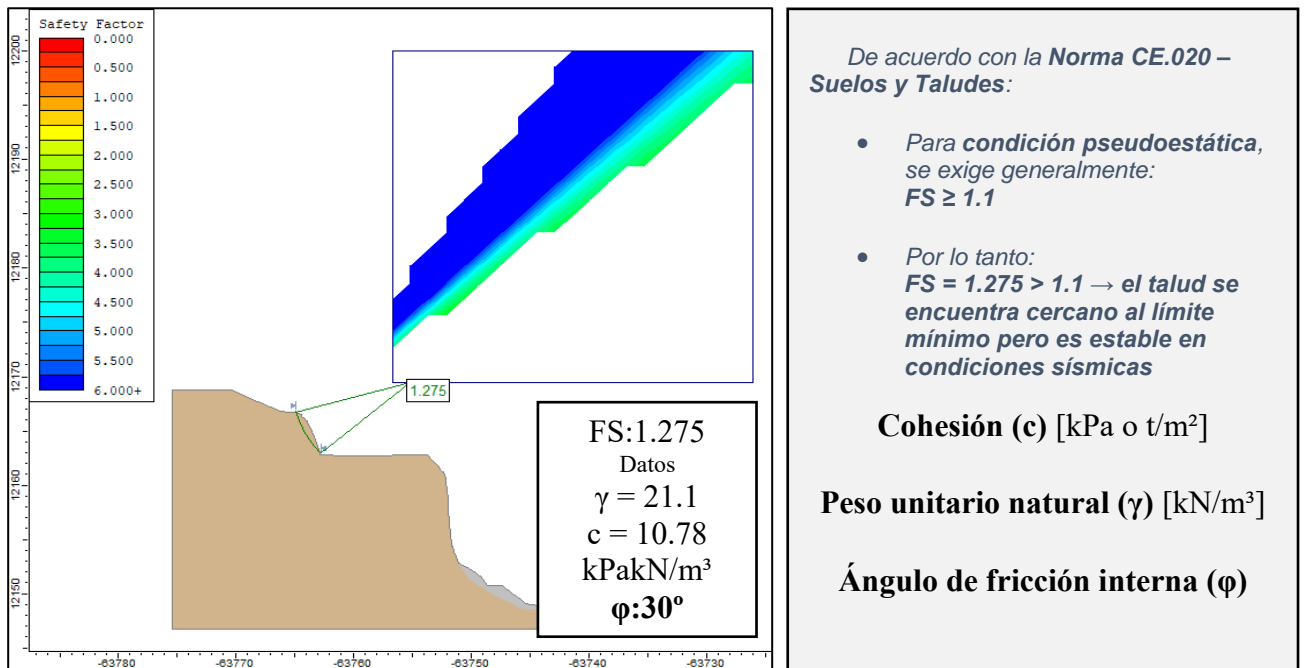
- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente:
FS ≥ 1.1
- Por lo tanto:
FS = 1.861 > 1.1 → el talud es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

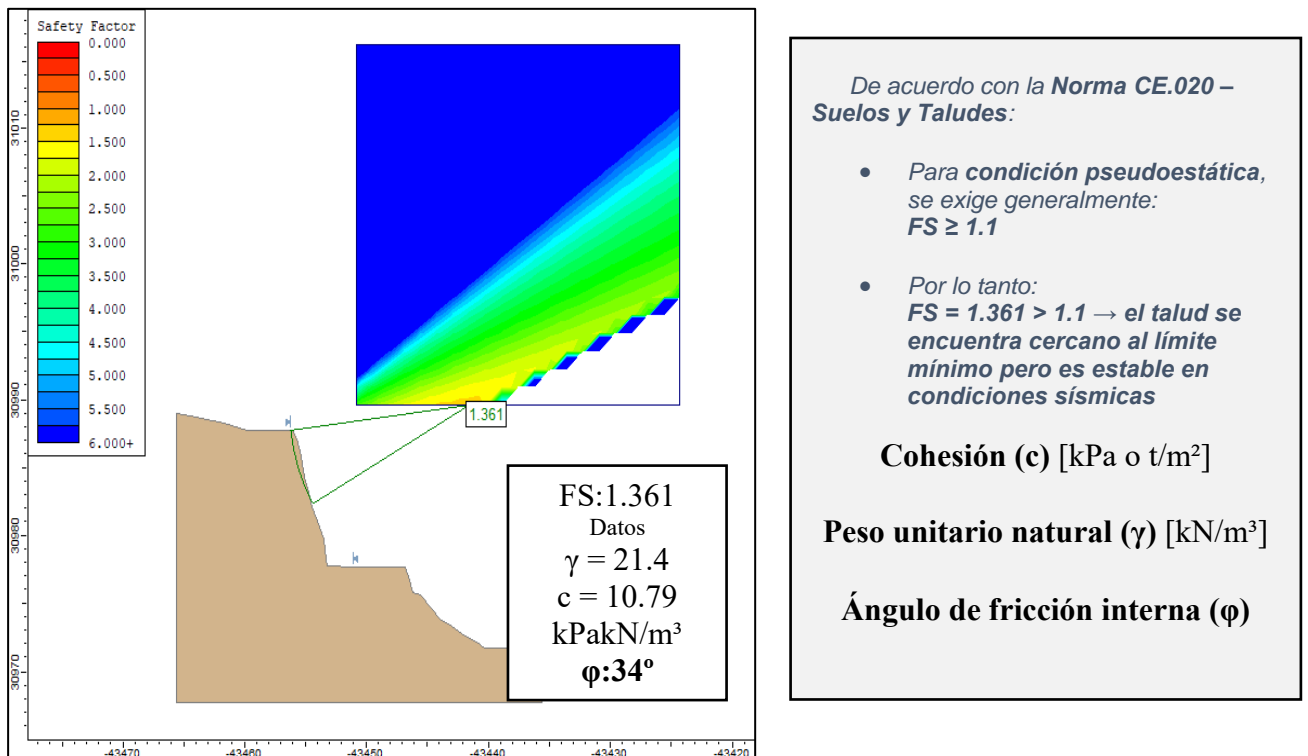
Figura 37: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop



Fuente: SLIDE

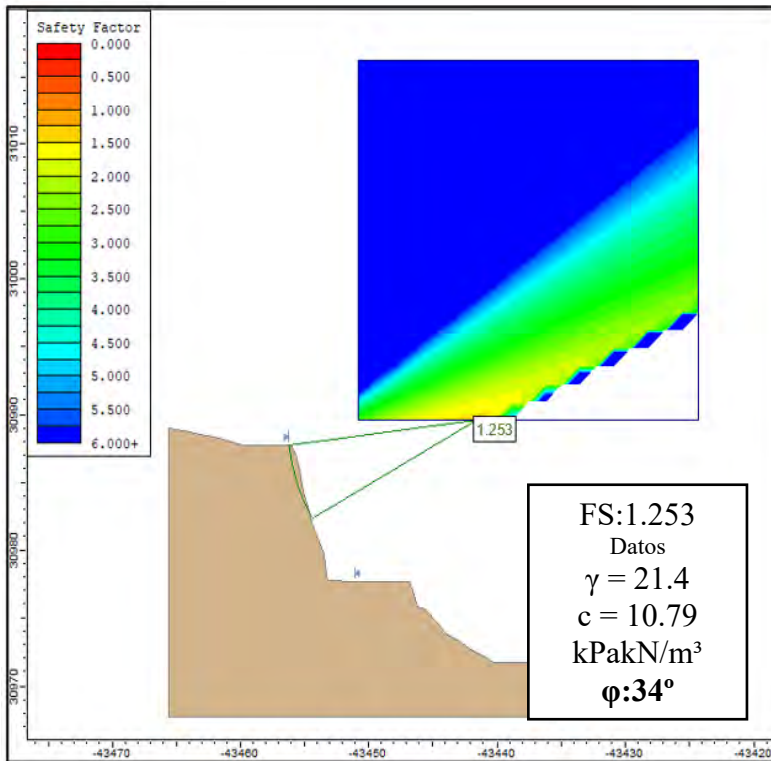
LINEA 02

Figura 38: Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius



Fuente: SLIDE

Figura 39: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.253 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

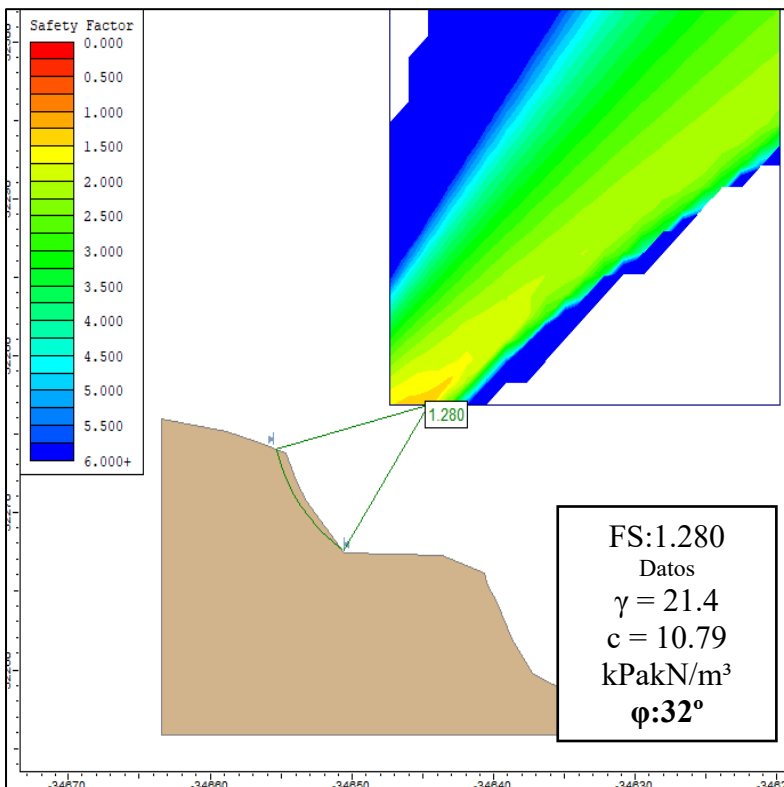
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

LINEA 03

Figura 40: Imagen 29: Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes:**

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.280 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

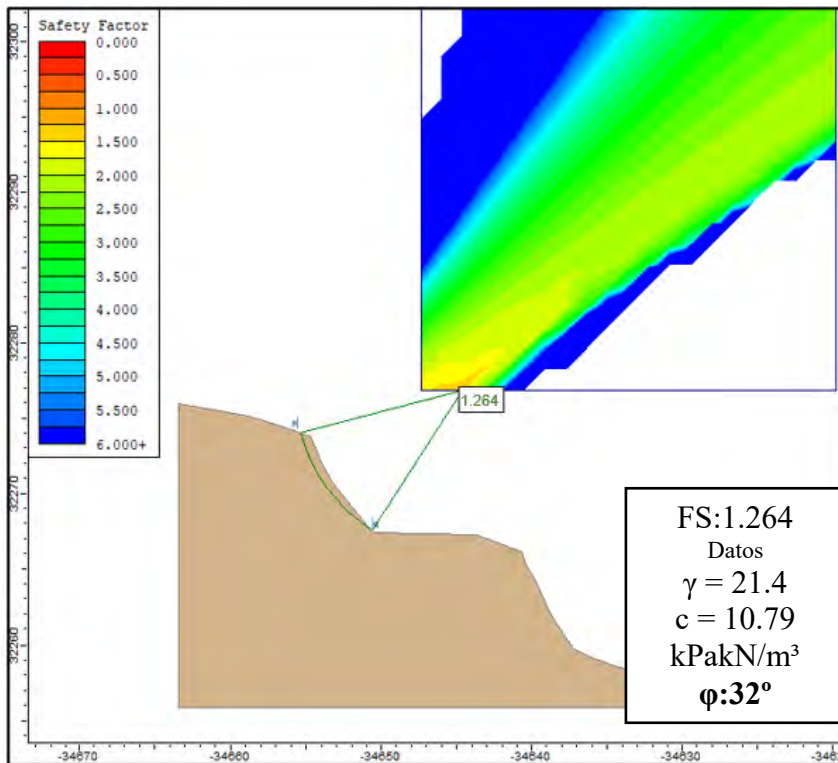
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

Figura 41: Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

- Para condición pseudoestática, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.264 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

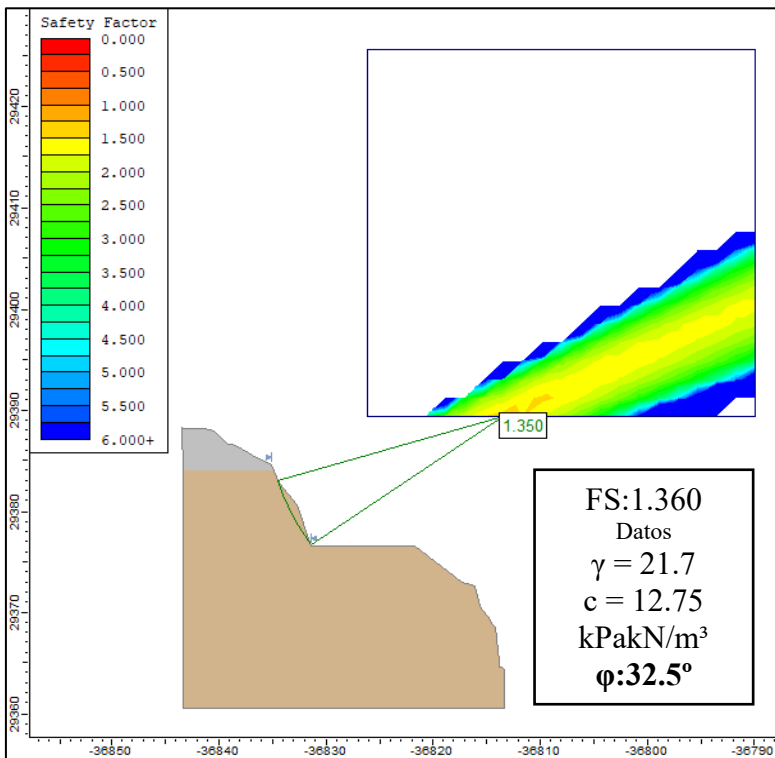
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Fuente: SLIDE

LINEA 04

Figura 42: Determinación del FS del talud (Con sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la Norma CE.020 – Suelos y Taludes:

- Para condición pseudoestática, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.360 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

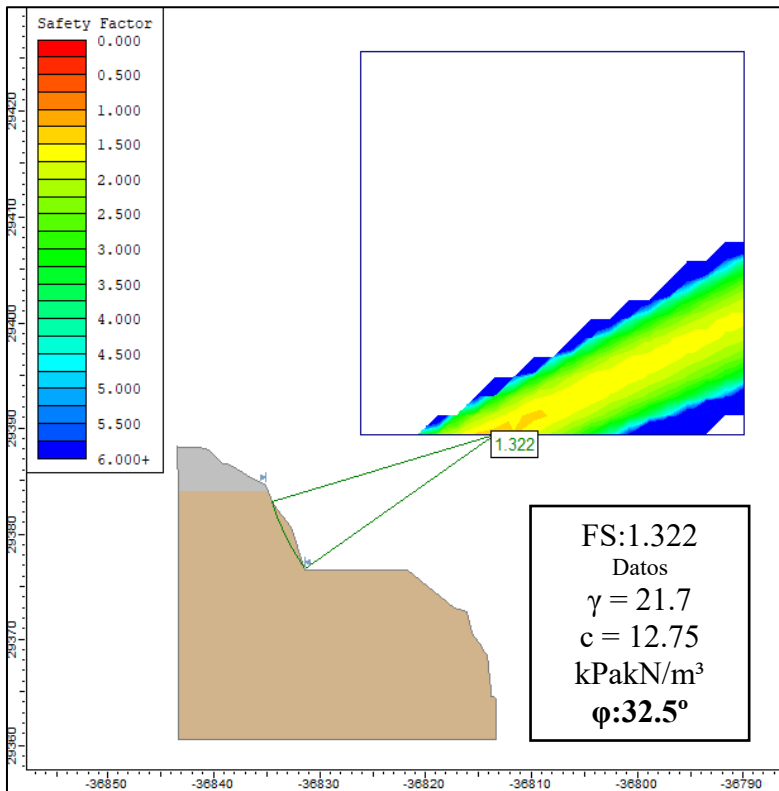
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Fuente: SLIDE

Figura 43: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes**:

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.322 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

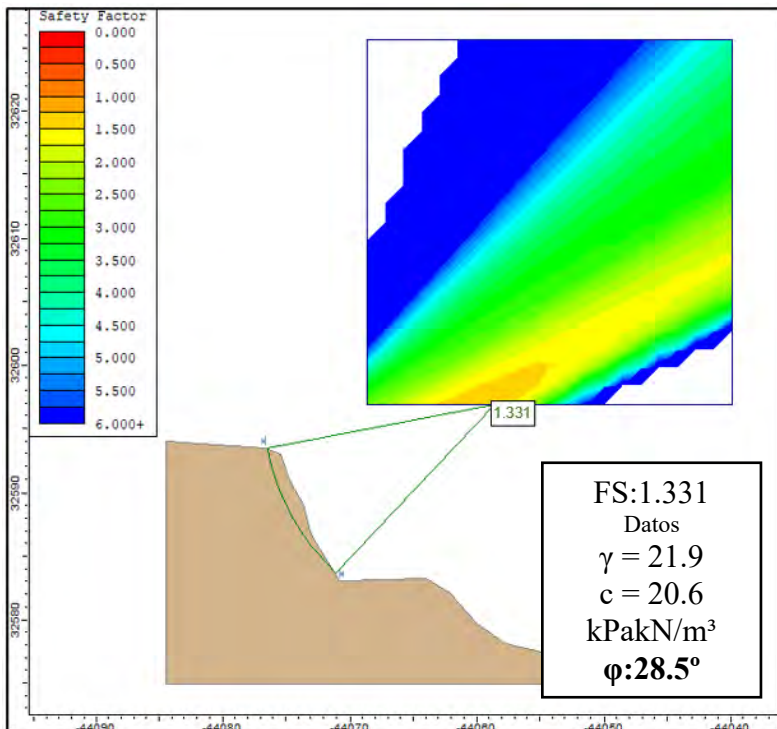
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Fuente: SLIDE

LINEA 05

Imagen 2: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes**:

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto: $FS = 1.331 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

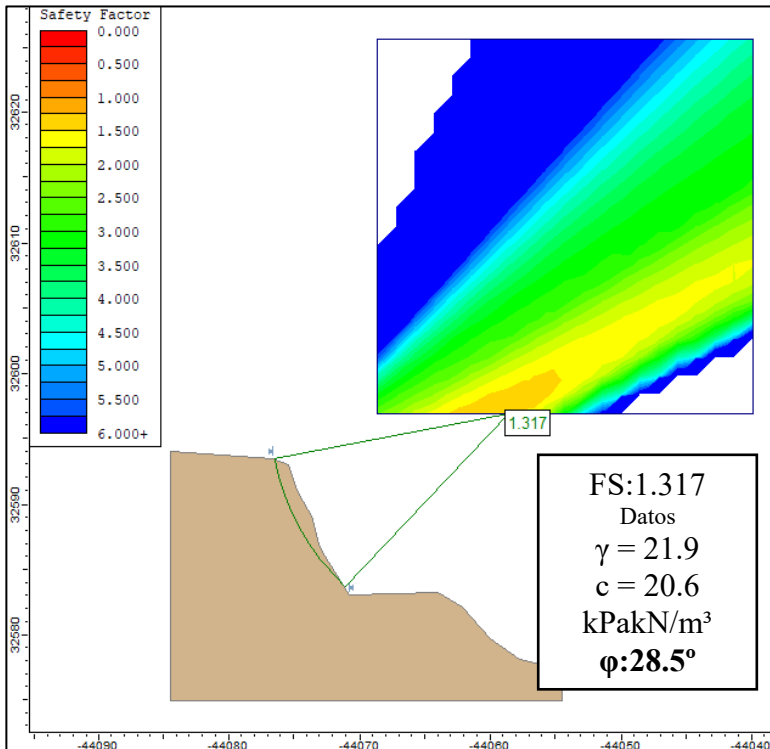
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Fuente: SLIDE

Imagen 3: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes**:

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: **FS ≥ 1.1**
- Por lo tanto: **FS = 1.317 > 1.1** → el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

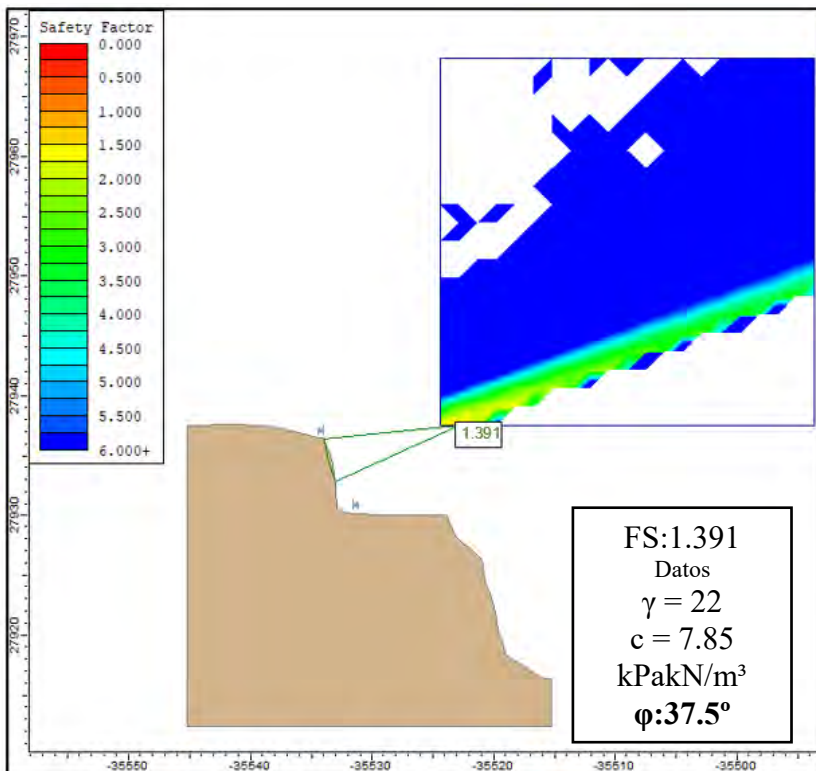
Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

LINEA 06

Figura 44: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Fellenius



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes**:

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente: **FS ≥ 1.1**
- Por lo tanto: **FS = 1.391 > 1.1** → el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

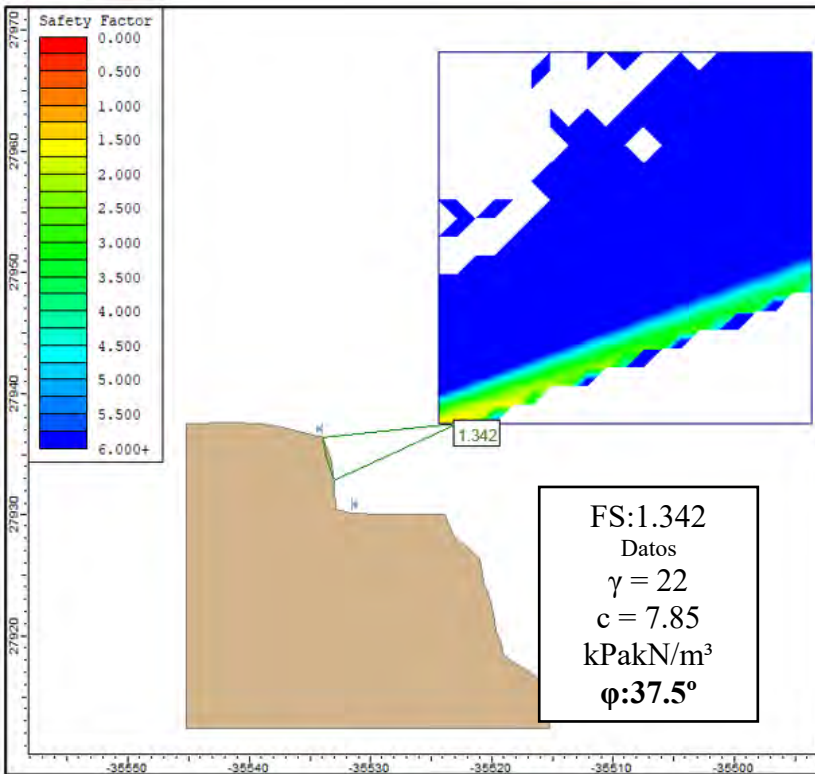
Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (φ)

Fuente: SLIDE

Figura 45: Determinación del FS del talud (con sismo), según el criterio de Bishop



De acuerdo con la **Norma CE.020 – Suelos y Taludes**:

- Para **condición pseudoestática**, se exige generalmente:
 $FS \geq 1.1$
- Por lo tanto:
 $FS = 1.342 > 1.1 \rightarrow$ el talud se encuentra cercano al límite mínimo pero es estable en condiciones sísmicas

Cohesión (c) [kPa o t/m²]

Peso unitario natural (γ) [kN/m³]

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Fuente: SLIDE

RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 31 Ubicación de las evaluaciones de estabilidad de taludes

N° DE LINEA	PK REFERENCIA	FACTOR DE SEGURIDAD CONDICION NATURAL	
		ESTATICO	DINAMICO
L-01	0+120	1.72	1.27
L-02	0+880	1.76	1.25
L-03	1+480	1.65	1.26
L-04	1+900	1.84	1.32
L-05	2+160	1.88	1.31
L-06	2+280	1.86	1.34

Posterior al análisis dinámico (Condición más crítica), se determinó que los factores de seguridad obtenidos, presentan valores por encima del mínimo requerido. Como señala la normativa CE020 (FS=1.1min). Sin embargo, lo obtenido está muy próximo al límite. Por ende, se deberá considerar medidas de prevención y/o protección.

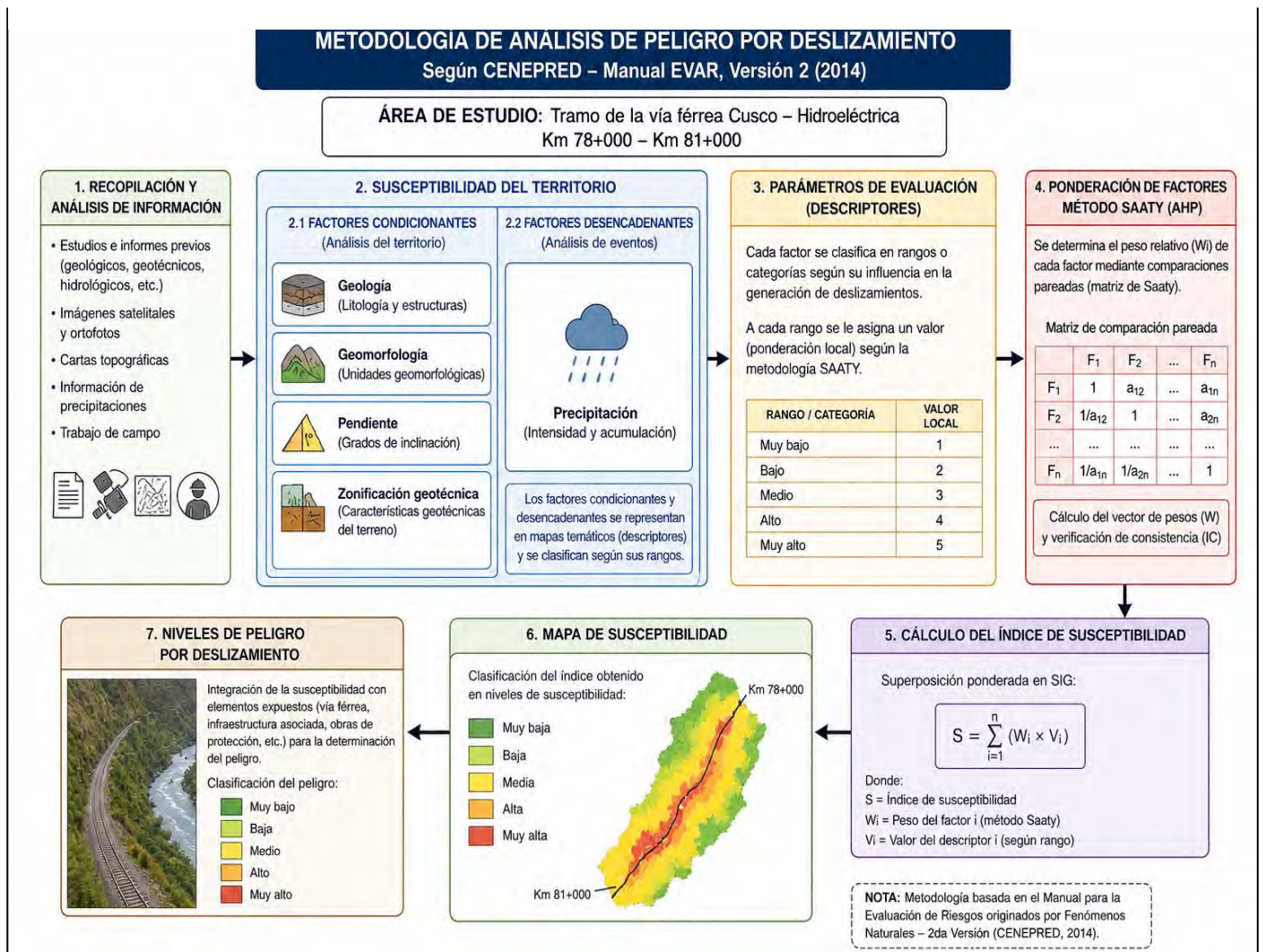
En tal sentido se propone: En el talud inferior (contiguo al cauce del rio), proteger con un sistema de gaviones. Y con respecto al talud superior (Contiguo a la vía férrea) se deberá realizar un monitoreo periódico y rutinario de desatado y/o desquinche de rocas sueltas o colgadas y en los sectores con mayores pendientes se deberá proteger los taludes con geomantas para mitigar la erosión superficial.

CAPITULO V: DETERMINACION DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD

2.1. Metodología para la determinación del peligro

Para determinar el nivel de peligro por deslizamiento en el tramo de la vía férrea entre el Km 78+000 al Km 81+000 del tramo Cusco – Hidroeléctrica, se utilizó la metodología propuesta por el CENEPRED en el manual EVAR del 2014 en su versión 2, para ello, se consideraron el parámetro de evaluación, la susceptibilidad en función de los factores condicionantes y desencadenantes y los elementos expuestos con sus correspondientes descriptores, ponderándolos mediante el método SAATY (CENEPRED, 2015).

Figura 46: Metodología de análisis de peligro por deslizamiento de talud



2.2. Recopilación y análisis de información

Se recopiló diversa información relevante proveniente de fuentes técnicas y científicas reconocidas, tales como INGEMMET, INEI, SENAMHI, ANA, entre otras. Esta información incluyó estudios históricos, análisis de peligros, cartografía, datos hidrológicos, climatológicos, geológicos y geomorfológicos correspondientes al área de influencia.

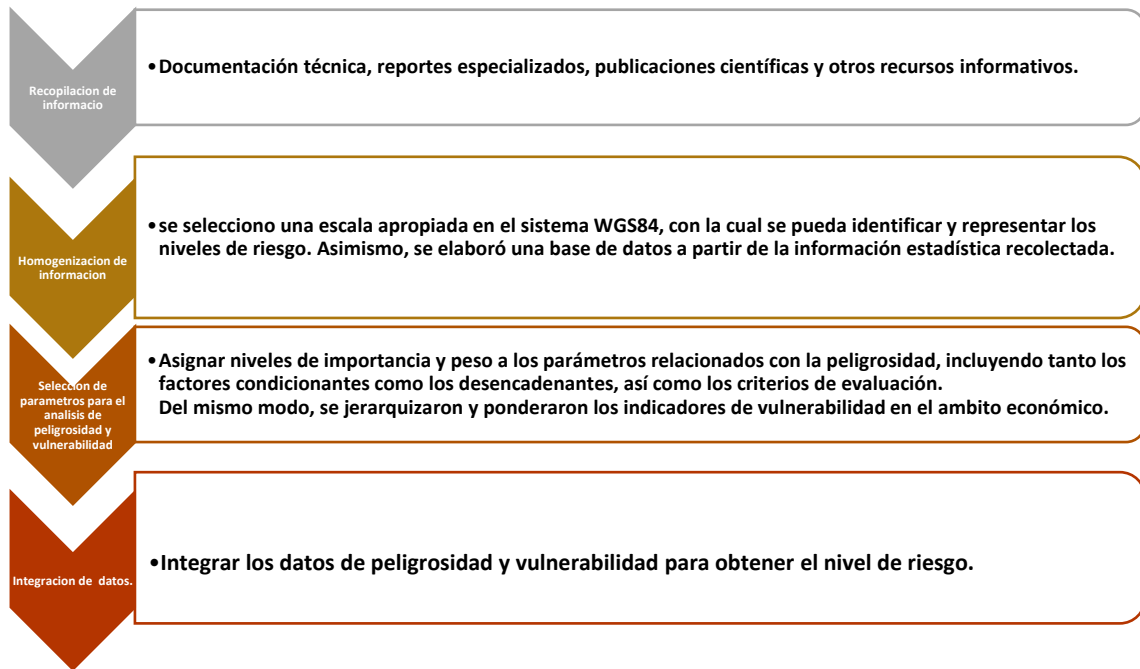
Asimismo, se examinó la información disponible en la plataforma SIGRID y otros aportes de instituciones especializadas. Cabe destacar que también se contó con datos obtenidos directamente en campo, lo que permitió afinar con mayor precisión las características analizadas.

Entre los insumos utilizados se encuentran:

- Registros históricos de precipitaciones máximas en 24 horas, proporcionados por el SENAMHI – Estación Urubamba, así como umbrales de precipitación.
- Mapa geológico del cuadrángulo Cusco (28-s) a escala 1:50,000, elaborado por INGEMMET (2010).
- Imágenes satelitales obtenidas a través de Google Earth, correspondientes a distintos años hasta la fecha actual.
- Topografía de detalle.
- Ortofoto del área evaluada
- Tomografía eléctrica de algunos sectores identificados en campo.

Para el presente estudio se ha realizado levantamiento topográfico, geotecnia de suelos, tomografía eléctrica y estimación de hidrología e hidráulica, de donde se obtuvieron parámetros de evaluación muy importantes para la determinación del peligro.

Figura 47:Flujograma general del análisis de información



2.3. Identificación del tipo de peligro

La identificación y caracterización del peligro se llevó a cabo utilizando la información obtenida durante las visitas de campo, así como a partir del reconocimiento de zonas con presencia de amenazas y la ubicación de puntos críticos con riesgo de deslizamiento en el tramo de la vía férrea entre el Km 78+000 al Km 81+000 del tramo Cusco – Hidroeléctrica, donde identificamos 6 puntos para realizar la evaluación, así como los antecedentes históricos de eventos relacionados a estos peligros.

2.4. Caracterización del peligro por deslizamiento

Para la evaluación de la susceptibilidad del área de influencia por deslizamiento, se consideraron los siguientes factores: Pendiente, Geomorfología, Geología y Geotecnia. La metodología a utilizar tanto para la evaluación del peligro, como para el análisis de la vulnerabilidad, es el procedimiento de Análisis Jerárquico mencionado en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, 2da versión. (CENEPRED, 2014).

2.5. Ponderación de los parámetros de evaluación

5.5.1. Parámetro: Factor de seguridad

El factor de seguridad representa una medida cuantitativa de la estabilidad del terreno frente a la amenaza evaluada, determinando la capacidad del suelo o talud para resistir el efecto del agente desencadenante, como puede ser un deslizamiento. Este factor refleja la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas movilizadas que actúan sobre el área de influencia.

Es fundamental que los parámetros utilizados para su cálculo sean unidades cartografiadas, previamente identificadas en el área de estudio, ya que permiten evaluar y caracterizar la estabilidad del terreno de manera espacial. Estos parámetros incluyen propiedades mecánicas del suelo, geometría del talud y evidencias físicas del fenómeno, tales como deformaciones, desplazamientos o velocidades observadas.

Tabla 32 Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación

FACTOR DE SEGURIDAD DINAMICO	1.28 – 1.30	1.28 – 1.30	1.30 – 1.35	1.35 – 1.40	>1.40
< 1.28	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
1.28 – 1.30	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
1.30 – 1.35	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
1.35 – 1.40	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
>1.40	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.32	25.00
1/ SUMA	0.56	0.21	0.1	0.06	0.04

Tabla 33 Matriz de normalización de pares del parámetro de evaluación

FACTOR DE SEGURIDAD DINAMICO	1.28 – 1.30	1.28 – 1.30	1.30 – 1.35	1.35 – 1.40	>1.40	Vector Priorizació n
< 1.28	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
1.28 – 1.30	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
1.30 – 1.35	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
1.35 – 1.40	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
>1.40	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

2.6.Susceptibilidad del territorio

5.6.1. Factores condicionantes

Para determinar los pesos relativos de los parámetros asociados a los factores condicionantes, se aplicó el método de análisis jerárquico. Los resultados derivados de este proceso son los siguientes:

a) Ponderación de descriptores del parámetro pendiente

Tabla 34 Matriz de comparación de pares de pendiente

Pendiente	> 63.4°	>45° - ≤ 63,4°	>26.6° - ≤ 45°	>11.3° - ≤ 26.6°	Menor igual a 11.3°
> 63.4°	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
>45° - ≤ 63,4°	0.50	1.00	2.00	3.00	6.00
>26.6° - ≤ 45°	0.25	0.50	1.00	3.00	6.00
>11.3° - ≤ 26.6°	0.16	0.33	0.33	1.00	3.00
Menor igual a 11.3°	0.13	0.17	0.17	0.33	1.00
SUMA	2.02	4	7.5	13.33	24.00
1/ SUMA	0.48	0.25	0.13	0.07	0.04

Tabla 35 Matriz de normalización de pares de pendiente

Pendiente	> 63.4°	>45° - ≤ 63,4°	>26.6° - ≤ 45°	>11.3° - ≤ 26.6°	Menor igual a 11.3°	Vector Priorización
> 63.4°	0.490	0.500	0.533	0.450	0.333	0.461
>45° - ≤ 63,4°	0.245	0.250	0.267	0.225	0.250	0.247
>26.6° - ≤ 45°	0.122	0.125	0.133	0.225	0.250	0.171
>11.3° - ≤ 26.6°	0.082	0.083	0.044	0.075	0.125	0.082
Menor igual a 11.3°	0.061	0.042	0.022	0.025	0.042	0.038

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.039
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.035

b) Ponderación de descriptores del parámetro de subunidades geomorfológicas

Tabla 36 Matriz de comparación de pares

Subunidades geomorfológicas	Talud aluvial/Terraplén	Terraza aluvial	Ladera de montaña	Cárcava de socavación fluvial	Cauce de río
Talud aluvial/Terraplén	1.00	2.00	4.00	7.00	9.00
Terraza aluvial	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Ladera de montaña	0.25	0.50	1.00	3.00	6.00
Cárcava de socavación fluvial	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
Cauce de río	0.11	0.17	0.17	0.33	1.00
SUMA	2.00	3.92	7.5	15.33	25.00
1/ SUMA	0.5	0.26	0.13	0.07	0.04

Tabla 37 Matriz de normalización de pares

Subunidades geomorfológicas	Talud aluvial/Terraplén	Terraza aluvial	Ladera de montaña	Cárcava de socavación fluvial	Cauce de río	VECTORIZACION
Talud aluvial/Terraplén	0.499	0.511	0.533	0.457	0.360	0.472
Terraza aluvial	0.250	0.255	0.267	0.261	0.240	0.254
Ladera de montaña	0.125	0.126	0.133	0.196	0.240	0.164
Cárcava de socavación fluvial	0.071	0.064	0.044	0.065	0.120	0.073
Cauce de río	0.055	0.043	0.022	0.022	0.040	0.036

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.035
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.031

c) Ponderación de descriptores del parámetro unidades geológicas

Tabla 38 Matriz de comparación de pares

Unidades geológicas	Bloques y bolones heterométricos	Aluvial reciente	Aluvial antigua	Coluvial	Esquisto
Bloques y bolones heterométricos	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00
Aluvial reciente	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Aluvial antigua	0.25	0.50	1.00	3.00	6.00
Coluvial	0.17	0.25	0.33	1.00	3.00
Esquisto	0.11	0.17	0.17	0.33	1.00
SUMA	2.03	3.92	7.50	14.33	25.00
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.04

Tabla 39 Matriz de normalización de pares

Unidades geológicas	Bloques y bolones heterométricos	Aluvial reciente	Aluvial antigua	Coluvial	Esquisto	Vector Priorización
Bloques y bolones heterométricos	0.493	0.511	0.533	0.419	0.360	0.463
Aluvial reciente	0.247	0.255	0.267	0.279	0.240	0.258
Aluvial antigua	0.123	0.128	0.133	0.209	0.240	0.167
Coluvial	0.082	0.064	0.044	0.070	0.120	0.076
Esquisto	0.055	0.043	0.022	0.023	0.040	0.037

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.035
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.031

d) Ponderación de descriptores del parámetro zonificación geotécnica

Tabla 40 Matriz de comparación de pares

Zonificación geotécnica	Suelo Pt/SW-SM	Suelo Pt/GP-GM	Suelo GP-GM -	Suelo GP	Roca metamórfica
Suelo Pt/SW-SM	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
Suelo Pt/GP-GM	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Suelo GP-GM	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
Suelo GP	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Roca metamórfica	0.14	0.17	0.17	0.33	1.00
SUMA	2.18	3.92	6.50	13.33	23.00
1/ SUMA	0.46	0.26	0.15	0.08	0.04

Tabla 41 Matriz de normalización de pares

Zonificación geotécnica	Suelo Pt/SW-SM	Suelo Pt/GP-GM	Suelo GP-GM	Suelo GP	Roca metamórfica	Factor
Suelo Pt/SW-SM	0.460	0.511	0.462	0.375	0.304	0.422
Suelo Pt/GP-GM	0.230	0.255	0.308	0.300	0.261	0.271
Suelo GP-GM	0.153	0.128	0.154	0.225	0.261	0.184
Suelo GP	0.092	0.064	0.051	0.075	0.130	0.082
Roca metamórfica	0.066	0.043	0.026	0.025	0.043	0.040

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.038
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.034

5.6.2. Factores desencadenantes

Para determinar los pesos relativos del parámetro correspondiente al factor desencadenante, se empleó el método de análisis jerárquico. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

a) Ponderación de descriptores de parámetro de precipitación

Tabla 42 Matriz de comparación de pares para precipitación

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS(mm)	Extremadament e lluvioso (P24>75p)	Muy lluvioso (70p<P24≤75p)	Lluvioso (65p<P24≤70p)	Moderadament e lluvioso (40p<P24≤65p)	Poco lluvioso (P24≤40p)
Extremadamente lluvioso (P24>75p)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Muy lluvioso (70p<P24≤75p)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Lluvioso (65p<P24≤70p)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Moderadamente lluvioso (40p<P24≤65p)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Poco lluvioso (P24≤40p)	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/ SUMA	0.56	0.21	0.1	0.06	0.04

INDICE DE CONSISTENCIA	0.061
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	0.054

2.7. Análisis de los elementos expuestos

El análisis de los elementos expuestos en el tramo comprendido entre el km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica permitió identificar los factores críticos que influyen en la inestabilidad de taludes y evaluar el nivel de riesgo asociado a posibles deslizamientos. Para ello, se emplearon herramientas especializadas como ArcGIS, para la caracterización espacial y cartográfica de la zona, y Slide, para el análisis de estabilidad de taludes mediante métodos de equilibrio límite.

Mediante ArcGIS, se elaboraron mapas temáticos de pendiente, geología, geomorfología, geotecnia y zonas de peligro, lo cual facilitó la delimitación de áreas críticas con alta susceptibilidad a deslizamiento.

Por su parte, el software Slide fue utilizado para modelar la estabilidad de los taludes en distintos puntos del tramo. A partir de la geometría levantada en campo y los parámetros geotécnicos obtenidos en laboratorio, se calcularon los factores de seguridad (F_s). Los resultados mostraron que algunos taludes presentan valores de F_s menores a 1.3, lo cual los clasifica como inestables o potencialmente inestables bajo condiciones naturales, y aún más críticos ante precipitaciones intensas o eventos sísmicos.

Los elementos expuestos identificados incluyen la infraestructura ferroviaria, personal operativo, pasajeros. Dado que la vía férrea se encuentra en cercanía directa con taludes de pendiente pronunciada y sin obras de protección adecuadas, se determina que existe una alta vulnerabilidad ante un eventual deslizamiento.

Dimensión Económica

- Análisis de la Vía férrea desde la progresiva 78+000 a la progresiva 81+000

2.8.Determinación de posibles situaciones de riesgo

Se tomó en cuenta una situación donde se tiene una precipitación máxima en 24 horas (P24) superior a 40 mm, correspondiente a un régimen moderadamente lluvioso ($40 \text{ mm} < P24 \leq 65 \text{ mm}$). En este contexto, predominan pendientes superiores a 63.4° , con una morfología asociada a taludes.

El análisis de estabilidad bajo condiciones dinámicas arroja un factor de seguridad inferior a 1.28, lo cual indica una alta probabilidad de inestabilidad del terreno y la ocurrencia de deslizamientos en el tramo comprendido entre el Km 78+000 y el Km 81+000 de la vía férrea Cusco – Hidroeléctrica. Esta situación implicaría afectación directa sobre los elementos expuestos, particularmente en términos de impacto económico.

2.9.Calculo de rangos de la susceptibilidad

En las siguientes tablas, se detallan los pasos del análisis jerárquico que permiten establecer los niveles de peligro y sus respectivos rangos.

Tabla 43 Determinación de intervalos para el parámetro evaluado

FACTOR DE SEGURIDAD		VALOR	PESO
VALOR	PESO		
0.503	1	0.503	0.60
0.260	1	0.260	0.60
0.134	1	0.134	0.60
0.068	1	0.068	0.60
0.035	1	0.035	0.60

Tabla 44 *Calculo de intervalos del factor desencadenante*

FACTOR DESENCADENANTE (FD)		
PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS, mm		PESO
Ppar (1)	Pdesc	
1.00	0.503	0.60
1.00	0.260	0.60
1.00	0.134	0.60
1.00	0.068	0.60
1.00	0.035	0.60

Tabla 45 *Calculo de intervalos del factor condicionante*

FACTORES CONDICIONANTES(FC)									
PENDIENTE		GEOMORFOLOGIA		GEOLOGIA		GEOTECNIA		VALOR	PESO
Ppar (1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc	Ppar (1)	Pdesc		
0,263	0,461	0,558	0,472	0,057	0,463	0,12	0,422	0,463	0,40
0,263	0,247	0,558	0,254	0,057	0,258	0,12	0,271	0,255	0,40
0,263	0,171	0,558	0,164	0,057	0,167	0,12	0,184	0,169	0,40
0,263	0,082	0,558	0,073	0,057	0,076	0,12	0,082	0,077	0,40
0,263	0,038	0,558	0,036	0,057	0,037	0,12	0,040	0,037	0,40

Tabla 46 *Calculo de rangos de la susceptibilidad*

FACTORES CONDICIONANTES (FC)		FACTOR DESENCADENANTE (FD)		SUSCEPTIBILIDAD (S)	
VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR	PESO
0,463	0,40	0.503	0.60	0,487	0.40
0,255	0,40	0.260	0.60	0,258	0.40
0,169	0,40	0.134	0.60	0,148	0.40
0,077	0,40	0.068	0.60	0,071	0.40
0,037	0,40	0.035	0.60	0,036	0.40

Tabla 47 *Calculo de rangos de los niveles de peligro*

SUSCEPTIBILIDAD (S)		PARAMETRO DE EVALUACION		VALOR DE PELIGRO
VALOR	PESO	VALOR	PESO	
0.487	0.40	0.503	0.60	0,496
0.257	0.40	0.260	0.60	0,259
0.148	0.40	0.134	0.60	0,141
0.072	0.40	0.068	0.60	0,069
0.036	0.40	0.035	0.60	0,035

2.10. Nivel de peligrosidad

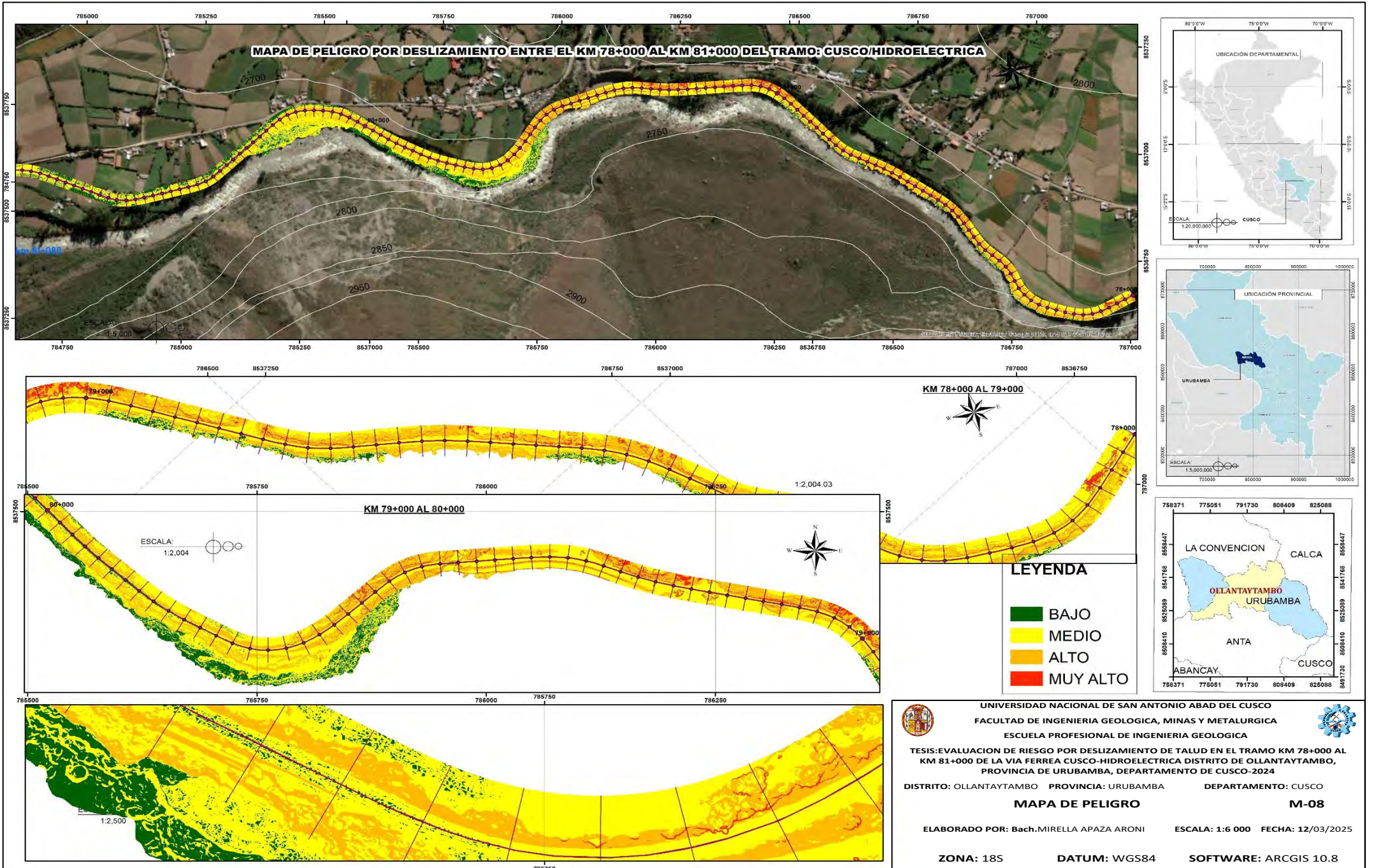
Tabla 48 *Niveles de peligro*

NIVEL		RANGO	
MUY ALTO	0,259	$\leq R \leq$	0,496
ALTO	0,141	$\leq R <$	0,259
MEDIO	0,069	$\leq R <$	0,141
BAJO	0,035	$\leq R <$	0,069

2.11. Estratificación del nivel de peligrosidad

NIVEL DE PELIGRO	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTO	<p>En este rango, el talud presenta condiciones críticas de estabilidad. Existen altas probabilidades de ocurrencia de deslizamientos, especialmente bajo condiciones de lluvia intensa, sismos o cargas adicionales. Se observan signos visibles de inestabilidad como grietas, movimientos previos, o desprendimientos.</p> <p>Recomendación: Intervención inmediata, monitoreo constante y medidas correctivas de ingeniería (anclajes, muros de contención, drenaje, etc.).</p>	$0,259 \leq R \leq 0,496$
ALTO	<p>El talud muestra condiciones de estabilidad aceptables, pero con riesgo latente. Puede fallar bajo condiciones desfavorables como saturación del terreno o actividades humanas mal planificadas. Podrían existir algunas señales iniciales de inestabilidad, como pequeñas grietas o desplazamientos lentos.</p> <p>Recomendación: Supervisión periódica, control de escorrentías, y evitar sobrecargas en la parte superior del talud.</p>	$0,141 \leq R < 0,259$
MEDIO	<p>El talud se considera relativamente estable. El riesgo de deslizamiento es bajo en condiciones normales. No se observan signos relevantes de inestabilidad, aunque sigue siendo susceptible a cambios drásticos en el entorno.</p> <p>Recomendación: Mantenimiento preventivo, protección del talud frente a erosión superficial y revisión ocasional.</p>	$0,069 \leq R < 0,141$
BAJO	<p>Taludes en este rango se consideran estables. Las condiciones geotécnicas son favorables y no hay indicios visibles de inestabilidad. El riesgo de deslizamiento es muy reducido, incluso bajo ciertas perturbaciones externas.</p> <p>Recomendación: No se requieren acciones específicas más allá del monitoreo estándar y buena gestión del terreno.</p>	$0,035 \leq R < 0,069$

Mapa 7: Mapa de nivel de peligro



CAPITULO VI: ANALISIS DE VULNERABILIDAD

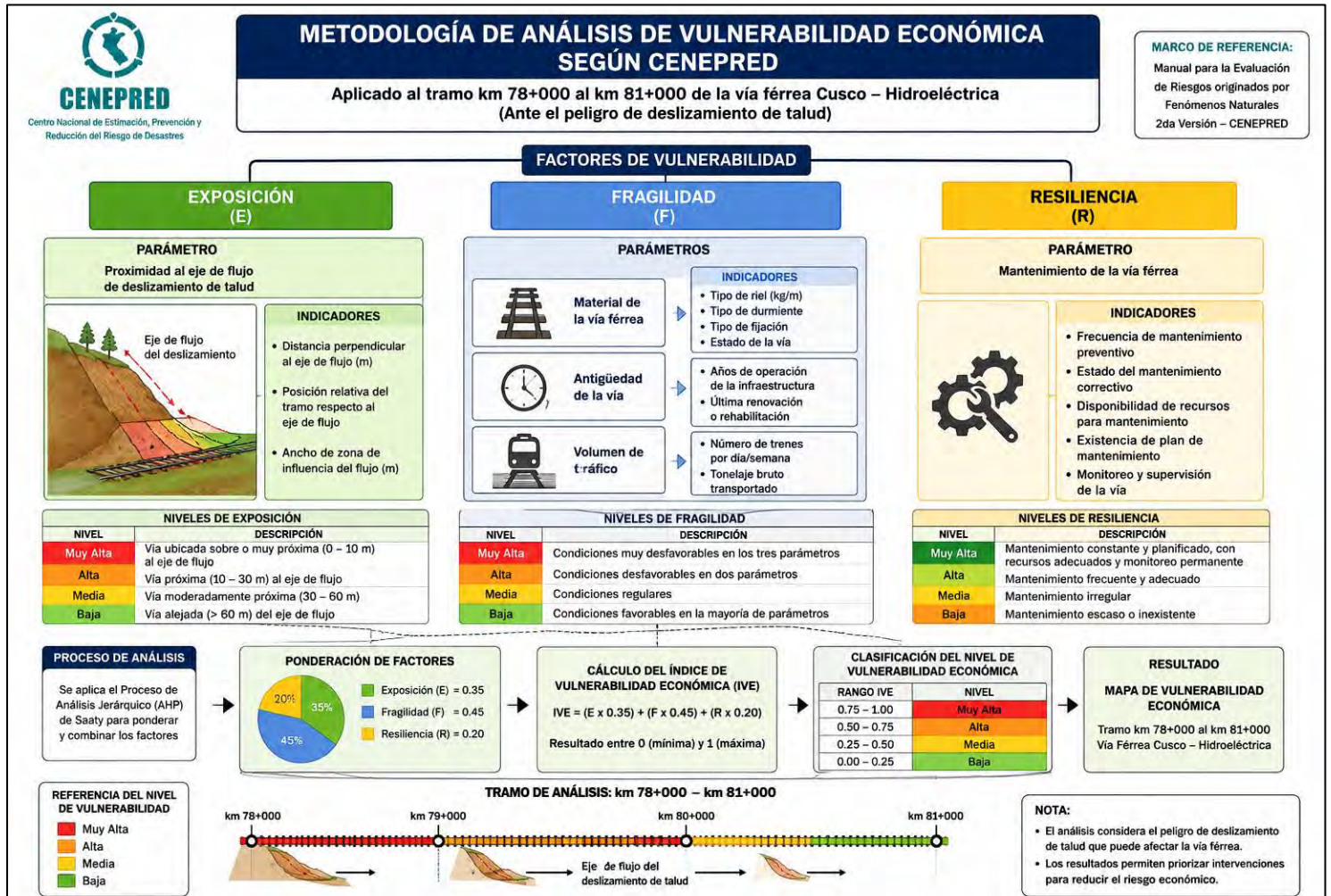
6.1. Metodología para el análisis de la vulnerabilidad

Para la evaluación de las zonas vulnerables asociados a la vía, se consideró principalmente el componente económico. Adicionalmente, se hizo uso de cartografía digital georreferenciada como soporte para el análisis espacial.

Tabla 49 Síntesis del análisis de vulnerabilidad

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	
DIMENSION ECONOMICA	EXPOSICION FRAGILIDAD RESILIENCIA

Figura 48: Metodología para determinar vulnerabilidad



Con el objetivo de asignar los pesos relativos a los parámetros vinculados al factor de exposición dentro de la dimensión económica, se empleó el método de análisis jerárquico (AHP). A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de este procedimiento.

a) Parámetro: proximidad al eje del flujo

Tabla 50 Matriz de comparación de pares dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5
MENOS DE 20 m	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
20 m - 50 m	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
50 m - 80 m	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
80 m - 100 m	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
MAS DE 100 m	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.78	4.67	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.57	0.20	0.10	0.061	0.040

Tabla 51 Matriz de normalización de dimensión económica

DESCRIPTOR	D1	D2	D3	D4	D5	Vector Priorización
MENOS DE 20 m	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
20 m - 50 m	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
50 m - 80 m	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
80 m - 100 m	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
MAS DE 100 m	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.061
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.054

6.2.1.2. Análisis de la fragilidad en la dimensión económica

a) Parámetro: Material conformante de la vía férrea

Tabla 52 Matriz de comparación de pares dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5
Terraplén	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Subrasante	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Durmiente	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Riel	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Puente	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.061	0.040

Tabla 53 Matriz de normalización de la dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5	Vector Priorización
Terraplén	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
Subrasante	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
Durmiente	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
Riel	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
Puente	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.061
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.054

b) Parámetro: Antigüedad

Tabla 54 Matriz de comparación de pares dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5
> 15 años	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
10 - 15 años	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
5 - 10 años	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
1 - 5 años	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
< 1 año	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.061	0.040

Tabla 55 Matriz de normalización de la dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5	Vector Priorización
> 15 años	0,560	0,634	0,524	0,429	0,391	0.508
10 - 15 años	0,187	0,211	0,315	0,306	0,217	0.247
5 - 10 años	0,112	0,070	0,105	0,184	0,217	0.138
1 - 5 años	0,080	0,042	0,035	0,061	0,130	0.07
< 1 año	0,062	0,042	0,021	0,020	0,043	0.038
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.069
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.062

c) Parámetro: Volumen de tráfico

Tabla 56 Matriz de comparación de pares dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5
NUNCA	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
POCAS VECES	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
POCO	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
PERIODICAMENTE	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
MUY SEGUIDO	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.061	0.040

Tabla 57 Matriz de normalización de la dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5	Vector Priorización
NUNCA	0,521	0,646	0,409	0,382	0,310	0.460
POCAS VECES	0,175	0,215	0,409	0,273	0,310	0.275
POCO	0,175	0,072	0,136	0,273	0,241	0.189
PERIODICAMENTE	0,074	0,043	0,027	0,055	0,103	0.064
MUY SEGUIDO	0,058	0,024	0,019	0,018	0,034	0.032
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.081
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.073

6.2.1.3. Análisis de la resiliencia en la dimensión económica

a) Parámetro: Mantenimiento de la vía férrea

Tabla 58 Matriz de comparación de pares dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5
NUNCA	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
POCAS VECES	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
POCO	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
PERIODICAMENTE	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
PROGRAMADO	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.061	0.040

Tabla 59 Matriz de normalización de la dimensión económica

DESCRIPTORES	D1	D2	D3	D4	D5	Vector Priorización
NUNCA	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
POCAS VECES	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
POCO	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
PERIODICAMENTE	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
PROGRAMADO	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

INDICE DE CONSISTENCIA	IC	0.061
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1	RC	0.054

Estimación y asignación de pesos relativos a cada uno de los descriptores que conforman la dimensión de vulnerabilidad económica.

Tabla 60 *Calculo y ponderación de pesos de los descriptores de vulnerabilidad*

DIMENSION ECONOMICA																
EXPOSICION				FRAGILIDAD								RESILIENCIA				VALOR
P par	P desc	valor	peso	P par	P desc	P par	P desc	P par	P desc	valor	peso	P par	P desc	valor	peso	
1	0,503	0,503	0.5	0.72	0,503	0.19	0.508	0.08	0.460	0.5	0.3	1	0,503	0,503	0.2	0.502
1	0,260	0,260	0.5	0.72	0,260	0.19	0.247	0.08	0.275	0.259	0.3	1	0,260	0,260	0.2	0.259
1	0,134	0,134	0.5	0.72	0,134	0.19	0.138	0.08	0.189	0.14	0.3	1	0,134	0,134	0.2	0.135
1	0,068	0,068	0.5	0.72	0,068	0.19	0.07	0.08	0.064	0.068	0.3	1	0,068	0,068	0.2	0.068
1	0,035	0,035	0.5	0.72	0,035	0.19	0.038	0.08	0.032	0.035	0.3	1	0,035	0,035	0.2	0.035

6.2.2. Jerarquía de la dimensión económica

El siguiente cuadro presenta la jerarquización de los niveles de vulnerabilidad, junto a sus rangos de clasificación.

Tabla 61 *Niveles de vulnerabilidad*

NIVEL		RANGO	
MUY ALTO	0,259	$\leq R \leq$	0,502
ALTO	0,135	$\leq R <$	0,259
MEDIO	0,068	$\leq R <$	0,135
BAJO	0,035	$\leq R <$	0,068

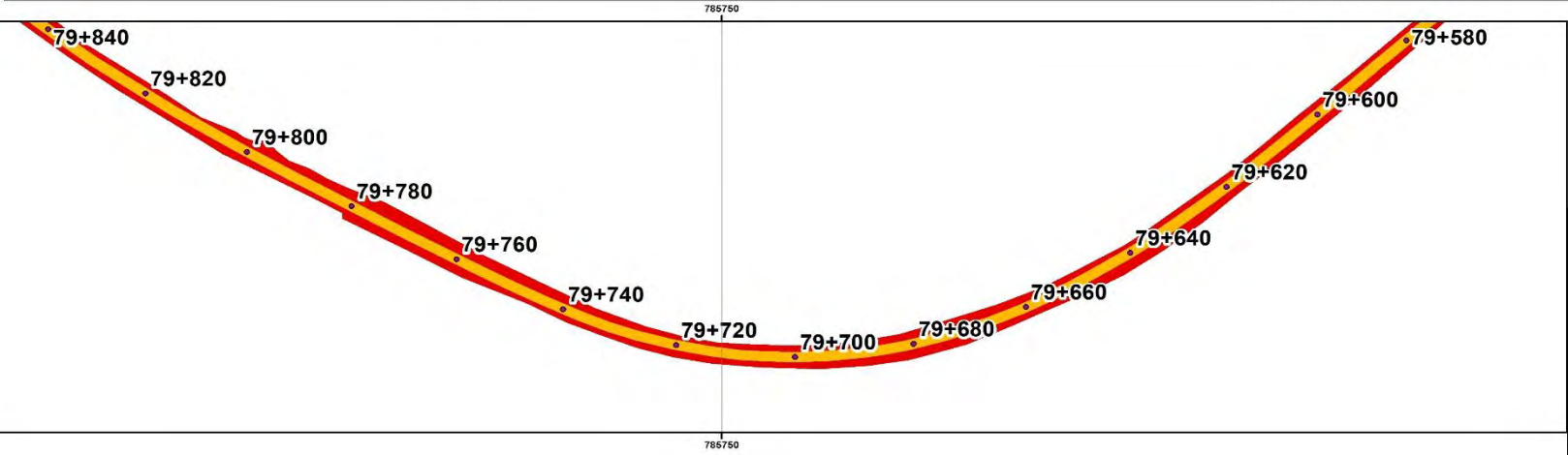
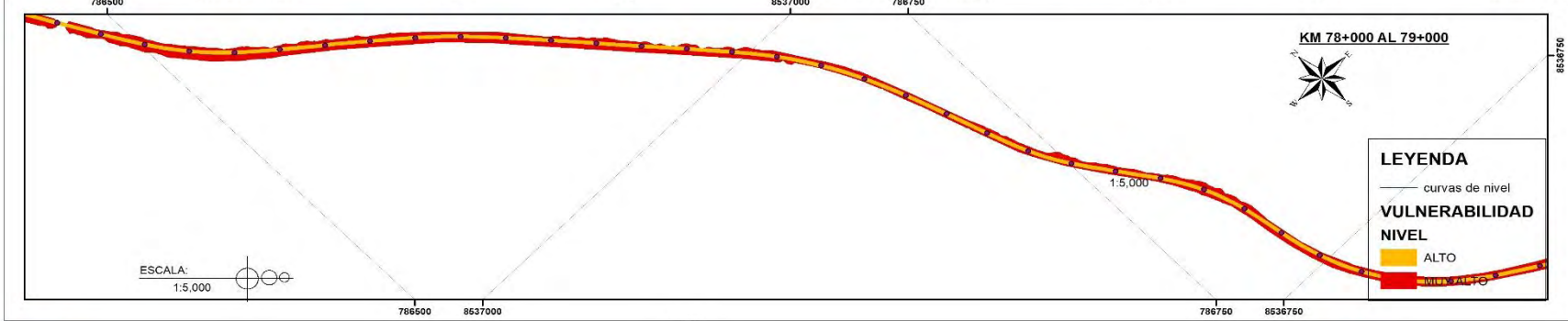
6.2.3. Estratificación de los niveles de vulnerabilidad

Fueron por cuatro rangos

Tabla 62 *Estratificación de los niveles de vulnerabilidad*

NIVEL DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTO	Alta probabilidad de afectación directa por eventos como desbordamientos o deslizamientos. Alta susceptibilidad a degradación y falla. Obsolescencia de diseño y materiales. Mayor desgaste y carga estructural. Incapacidad de recuperación tras eventos; alto costo de recuperación.	$0,260 \leq R \leq 0,503$
ALTO	Posible afectación en eventos extremos. Requiere monitoreo. Resistencia media, con riesgo si hay falta de mantenimiento. Posible desgaste, requiere intervención periódica. Carga operativa media. Se atienden fallas cuando ocurren, pero no se previenen.	$0,134 \leq R < 0,260$
MEDIO	Menor probabilidad de impacto directo. Afectación ocasional. Hay mantenimiento, pero puede ser insuficiente ante eventos mayores.	$0,068 \leq R < 0,134$
BAJO	Prácticamente sin exposición directa a amenazas hídricas o geodinámicas. Alta resistencia estructural y durabilidad. Infraestructura moderna y en mejor estado. Menor exigencia estructural. Alta capacidad de respuesta y rápida recuperación tras fallas.	$0,035 \leq R < 0,068$

Mapa 8: Mapa de vulnerabilidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: EVALUACION DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VIA FERREA CUSCO-HIDROELECTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

DISTRITO: OLLANTAYTAMBO PROVINCIA: URUBAMBA DEPARTAMENTO: CUSCO

MAPA DE VULNERABILIDAD M-09

ELABORADO POR: Bach. MIRELLA APAZA ARONI ESCALA: 1:6 000 FECHA: 12/03/2025

ZONA: 18S DATUM: WGS84 SOFTWARE: ARCGIS 10.8

CAPITULO VII: CALCULO DEL RIESGO

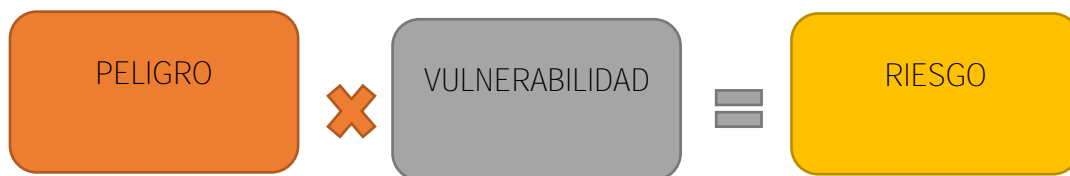
7.1. Metodología para el cálculo de riesgo

Una vez identificados y evaluados los peligros que afectan al área geográfica en estudio —mediante el análisis de su frecuencia (expresada en años) y el nivel de susceptibilidad frente a eventos como inundaciones fluviales y deslizamientos o inestabilidad de taludes— se procede al análisis de los componentes de vulnerabilidad, los cuales incluyen exposición, fragilidad y resiliencia.

Este proceso implica identificar los elementos expuestos potencialmente vulnerables, así como estimar el tipo y magnitud de los posibles daños. Con esta información, se realiza la integración de variables para calcular el nivel de riesgo presente en la zona evaluada.

La estratificación del riesgo se lleva a cabo utilizando una matriz de doble entrada, que combina el grado de peligro con el nivel de vulnerabilidad. Para aplicar esta metodología, es necesario haber determinado previamente los niveles específicos tanto del peligro como de la vulnerabilidad correspondiente.

7.2. Cálculo del riesgo



7.3. Niveles de riesgo

El cuadro presenta los niveles de riesgo obtenidos y los rangos de clasificación, derivados de la aplicación del proceso de análisis jerárquico.

Tabla 63 *Cálculo de los niveles de riesgo*

VALOR DE PELIGRO (P)	VALOR DE LA VULNERABILIDAD (V)	RIESGO (P*V=R)
0,503	0.502	0,252
0,260	0.259	0,068
0,134	0.135	0,018
0,068	0.068	0,005
0,035	0.035	0,001

Tabla 64 *Niveles de riesgo*

NIVEL	RANGO
MUY ALTO	$0.068 \leq R \leq 0.252$
ALTO	$0.020 \leq R < 0.067$
MEDIO	$0.004 \leq R < 0.018$
BAJO	$0.01 R < 0.004$

7.4. Estratificación del nivel de riesgo

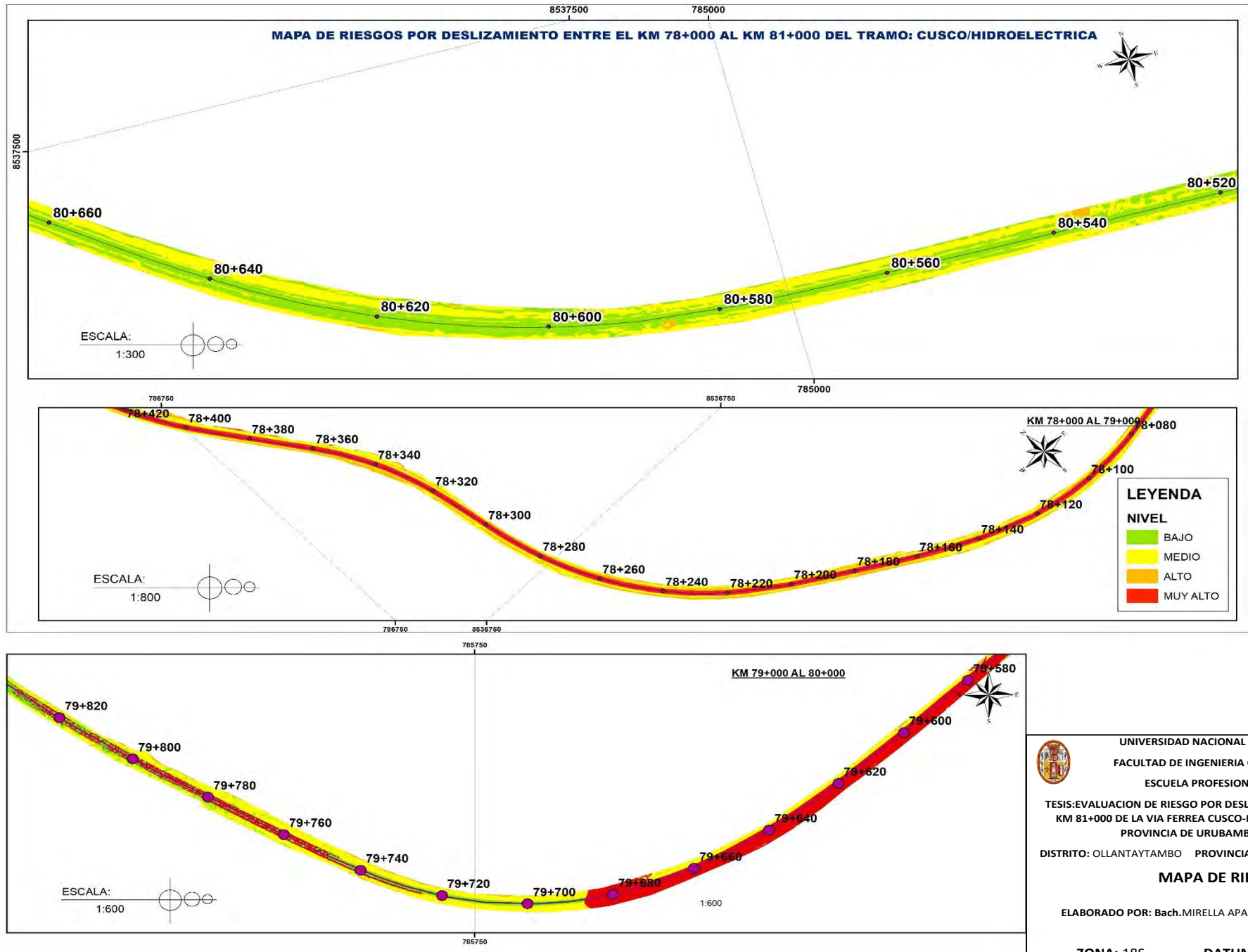
7.4.1. Estratificación del nivel de riesgo por deslizamiento

Se ha realizado la clasificación del riesgo de deslizamiento de taludes en el tramo mencionado, en base al Índice de Riesgo (R), considerando factores geomorfológicos, geotécnicos y condiciones de estabilidad de los taludes. A continuación, se detallan los niveles de riesgo identificados:

Tabla 65 Estratificación de los niveles de riesgo

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTO	<p>Este rango indica zonas con alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, representando un peligro significativo para la estabilidad del talud y la operación ferroviaria.</p> <p>Implicancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta susceptibilidad ante eventos detonantes (lluvias intensas, sismos, saturación del suelo). Posible interrupción del servicio ferroviario. Requiere medidas de intervención inmediata: estabilización de taludes, drenajes, y monitoreo permanente. 	$0.068 \leq R \leq 0.249$
ALTO	<p>Corresponde a zonas con condiciones de inestabilidad moderada. Aunque el riesgo es menor que en el nivel alto, aún puede presentar deslizamientos esporádicos.</p> <p>Implicancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> Necesidad de acciones de mitigación a mediano plazo. Implementación de sistemas de alerta temprana o vigilancia técnica. Posible mantenimiento preventivo regular del talud. 	$0.020 \leq R < 0.068$
MEDIO	<p>Indica áreas con baja probabilidad de deslizamientos. Las condiciones geotécnicas del talud se consideran relativamente estables bajo condiciones normales.</p> <p>Implicancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisión técnica periódica. Acciones preventivas simples (limpieza de cunetas, control de vegetación). Vigilancia básica en épocas de lluvia. 	$0.005 \leq R < 0.020$
BAJO	<p>Zonas estables con mínima probabilidad de deslizamientos. Estas áreas no representan un peligro significativo para la vía férrea.</p> <p>Implicancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se requieren intervenciones inmediatas. Sólo mantenimiento rutinario y seguimiento ocasional. 	$0.01 \leq R < 0.005$

Mapa 9: Mapa de riesgo por deslizamiento



LEYENDA

NIVEL

BAJO	(Color Verde)
MEDIO	(Color Amarillo)
ALTO	(Color Naranja)
MUY ALTO	(Color Rojo)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: EVALUACION DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VIA FERREA CUSCO-HIDROELECTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

DISTRITO: OLLANTAYTAMBO PROVINCIA: URUBAMBA DEPARTAMENTO: CUSCO

MAPA DE RIESGO M-10

ELABORADO POR: Bach. MIRELLA APAZA ARONI ESCALA: 1:3 00 FECHA: 12/03/2025

ZONA: 18S DATUM: WGS84 SOFTWARE: ARCGIS 10.8

CAPITULO VIII: CONTROL DEL RIESGO

8.1. Aceptabilidad y tolerancia del riesgo

Tipo de Peligro: Deslizamiento de talud

Tipo de Fenómeno: Geodinámica Externa

Elementos Expuestos: Tramo km 78 000 al km 81 000 - vía férrea

Cusco – Hidroeléctrica

➤ **Valoración de las consecuencias.**

Los fenómenos asociados a movimientos en masa generan daños significativos sobre la infraestructura, comprometiendo la integridad de los elementos estructurales.

8.1.1. Valoración de consecuencias

Tabla 66 *Valoración de consecuencias*

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	El impacto del fenómeno natural ocasiona consecuencias de carácter catastrófico, superando ampliamente la capacidad de respuesta local.
3	<i>Alta</i>	<i>Las consecuencias del evento natural son significativas y requieren apoyo externo para su manejo efectivo.</i>
2	<i>Medio</i>	<i>Los efectos generados por el fenómeno pueden ser atendidos utilizando los recursos disponibles a nivel local, aunque con cierto nivel de exigencia.</i>
1	Baja	Las consecuencias del evento natural son mínimas y pueden ser gestionadas con facilidad, sin comprometer la capacidad operativa de la zona afectada.

8.1.2. Valoración de frecuencias

Tabla 67 Valoración de frecuencia

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	La ocurrencia es probable en gran parte de las situaciones o condiciones.
3	<i>Alta</i>	<i>Puede presentarse en intervalos de tiempo moderadamente prolongados, dependiendo de las condiciones.</i>
2	<i>Medio</i>	<i>La probabilidad de ocurrencia se da en períodos extensos bajo ciertas circunstancias.</i>
1	Baja	Es poco probable y solo se presenta en situaciones excepcionales.

8.1.3. Nivel de consecuencias y daños

Tabla 68 Nivel de consecuencia y daños

Consecuencias	Nivel	Zona de consecuencia y daños			
Muy alta	4	Alta	Alta	Muy alta	Muy Alta
Alta	3	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Media	2	Media	Media	Alta	Alta
Baja	1	Baja	Media	Media	Alta
Nivel	1		2	3	4
Frecuencia	Baja		Media	Alta	Muy Alta

8.1.4. Aceptabilidad y/o tolerancia

Tabla 69 Aceptabilidad y tolerancia

Valor	Nivel	Descripción
4	Inadmisible	Es necesario implementar de forma inmediata medidas de control físico, y en la medida de lo posible, gestionar el riesgo de manera urgente.
3	<i>Inaceptable</i>	<i>Requiere la ejecución de acciones inmediatas y prioritarias para la mitigación del riesgo.</i>
2	<i>Tolerable</i>	<i>Se deben planificar y llevar a cabo actividades orientadas al manejo y reducción del riesgo.</i>
1	Aceptable	El riesgo evaluado no representa una amenaza significativa para la seguridad o integridad del área.

8.1.5. Prioridad de intervención

Tabla 70 Nivel de prioridad de intervención

Valor	Nivel	Nivel de priorización
4	Inadmisible	I
3	<i>Inaceptable</i>	<i>II</i>
2	<i>Tolerable</i>	<i>III</i>
1	Aceptable	IV

Del análisis del cuadro previo, se determina que el nivel de priorización corresponde al nivel III relacionado con el riesgo por deslizamientos. Este resultado sirve como base técnica para jerarquizar las actividades, medidas y proyectos de inversión enfocados en la prevención y/o mitigación de desastres. Como siguiente paso del análisis realizado, se procedió a identificar las zonas con mayor prioridad para la intervención.

8.2.Riesgo por deslizamiento

Nivel de priorización II:

km 78 + 150 al km 78+250

km 78 + 400 al km 78+600

km 78 + 900 al km 78+950

km 79 + 250 al km 79+300

km 79 + 500 al km 79+750

km79 + 950 al km 80+050.

Nivel de priorización III:

km 78 + 000 al km 78+100

km 78 +300 al km 78+350

km 79+000 al km 79+200

km 79+850 al 79+900

km 80+100 al km 80+200

Así mismo cabe señalar que se debería prestar prioridad al correcto manejo de los excedentes del proceso de irrigación por gravedad, ya que este es uno de los principales factores desencadenantes de una inestabilidad de talud.

CAPITULO IX: RESULTADOS

9.1. Resumen del análisis realizado

Según el análisis de datos tenemos como resultado que en el tramo del kilómetro 78+000 al 79+580, presentan un riesgo de sufrir inestabilidad de taludes generando deslizamientos.

Estos datos se obtuvieron a partir de las ponderaciones en el análisis de peligro y de acuerdo a los resultados de la evaluación del factor de seguridad para el conocer el estado de estabilidad de los taludes en el tramo de estudio.

El análisis se realizó considerando 3 tramos, el primero del km 78+000 al km 79+000, el segundo del km 79+000 al 80+000 y el ultimo del km 80+000 al km 81+000.

9.2. Análisis realizado en etapa de campo

Vía Ferrea entre el km 78 + 000 al km 79 + 000																								
	78+000	78+050	78+100	78+150	78+200	78+250	78+300	78+350	78+400	78+450	78+500	78+550	78+600	78+650	78+700	78+750	78+800	78+850	78+900	78+950	79+000	79+050	79+100	
PARAMETROS																								
PRESENCIA DE AGUA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NO	3	3	3	3	3	3
MORFOLOGIA	1	1	2	4	4	3	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	2		3	4	1	3	2	
ALTURA DE TALUD DE CORTE	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	2	2	2	3	3	3		3	3	1	4	4	
INCLINACION DE TALUD	4	1	3	3	4	5	4	3	4	5	5	4	4	3	3	4	4		4	5	1	4	4	
CONDICION DE ESTABILIDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
SISMICIDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
VEGETACION	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
VALORACION	12	9	13	15	16	16	14	13	15	18	18	15	15	14	15	16	15		16	18	9	17	16	
ESTABILIDAD	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable		Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	

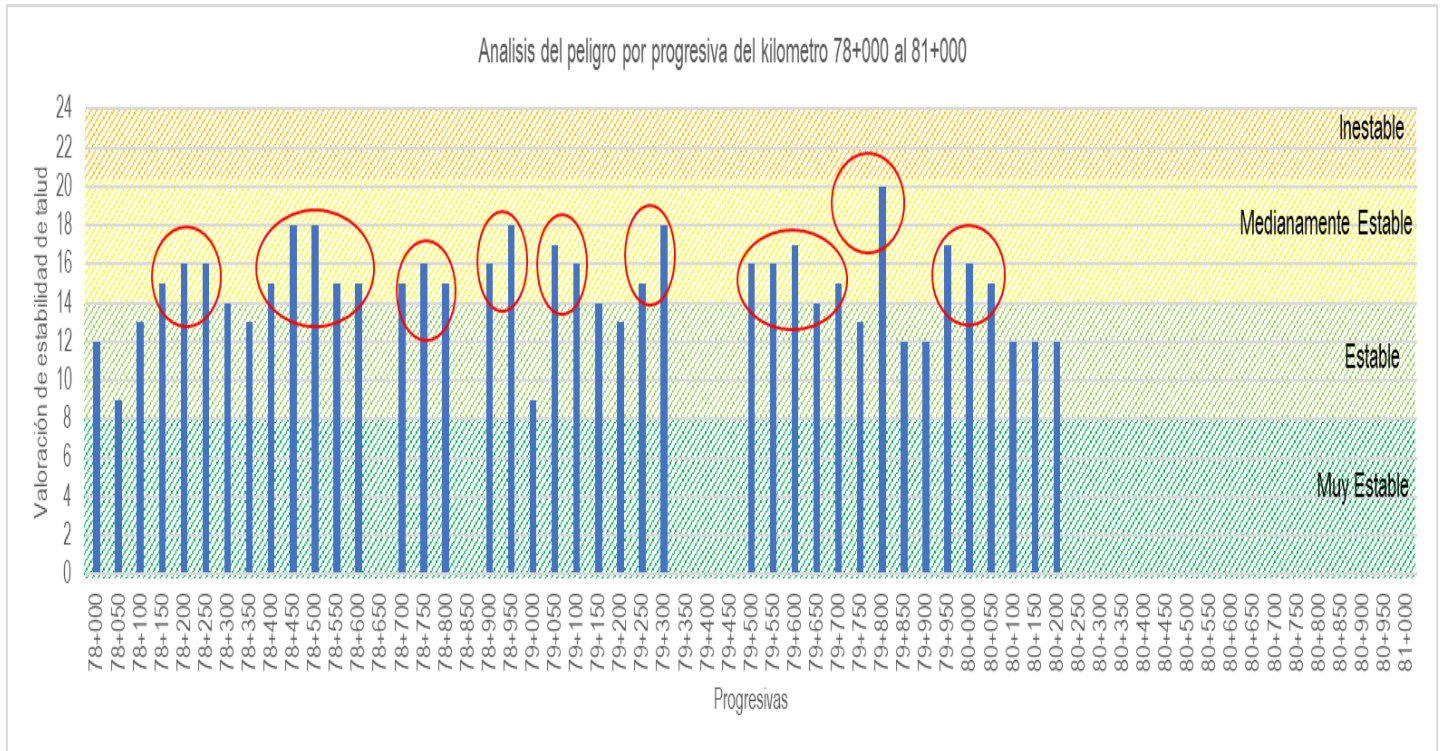
Via Ferrea entre el km 79 + 000 al km 80 + 000																								
	79+150	79+200	79+250	79+300	79+350	79+400	79+450	79+500	79+550	79+600	79+650	79+700	79+750	79+800	79+850	79+900	79+950	80+000	80+050	80+100	80+150	80+200	80+250	
PARAMETROS																								
PRESENCIA DE AGUA	3	3	3	3	NO	NO	NO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MORFOLOGIA	3	1	2	3				3	3	3	1	1	2	4	1	1	3	2	3	1	1	1	1	1
ALTURA DE TALUD DE CORTE	2	3	4	4				3	4	4	3	3	3	2	1	3	4	4	4	3	2	1	1	2
INCLINACION DE TALUD	3	3	3	5				4	3	4	4	5	2	3	4	2	4	4	4	5	5	4	4	4
CONDICION DE ESTABILIDAD	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICIDAD	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VEGETACION	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VALORACION	14	13	15	18				16	16	17	14	15	13	20	12	12	17	16	17	15	14	12	13	13
ESTABILIDAD	ed. Estab	Estable	ed. Estab	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable

Via Ferrea entre el km 80 + 000 al km 81 + 000																								
	80+300	80+350	80+400	80+450	80+500	80+550	80+600	80+650	80+700	80+750	80+800	80+850	80+900	80+950	81+000									
PARAMETROS																								
PRESENCIA DE AGUA	3	3	3	3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO									
MORFOLOGIA	2	1	1	1																				
ALTURA DE TALUD DE CORTE	2	1	1	1																				
INCLINACION DE TALUD	5	4	4	4																				
CONDICION DE ESTABILIDAD	1	1	1	1																				
SISMICIDAD	1	1	1	1																				
VEGETACION	1	1	1	1																				
VALORACION	15	12	12	12																				
ESTABILIDAD	ed. Estab	Estable	Estable	Estable																				

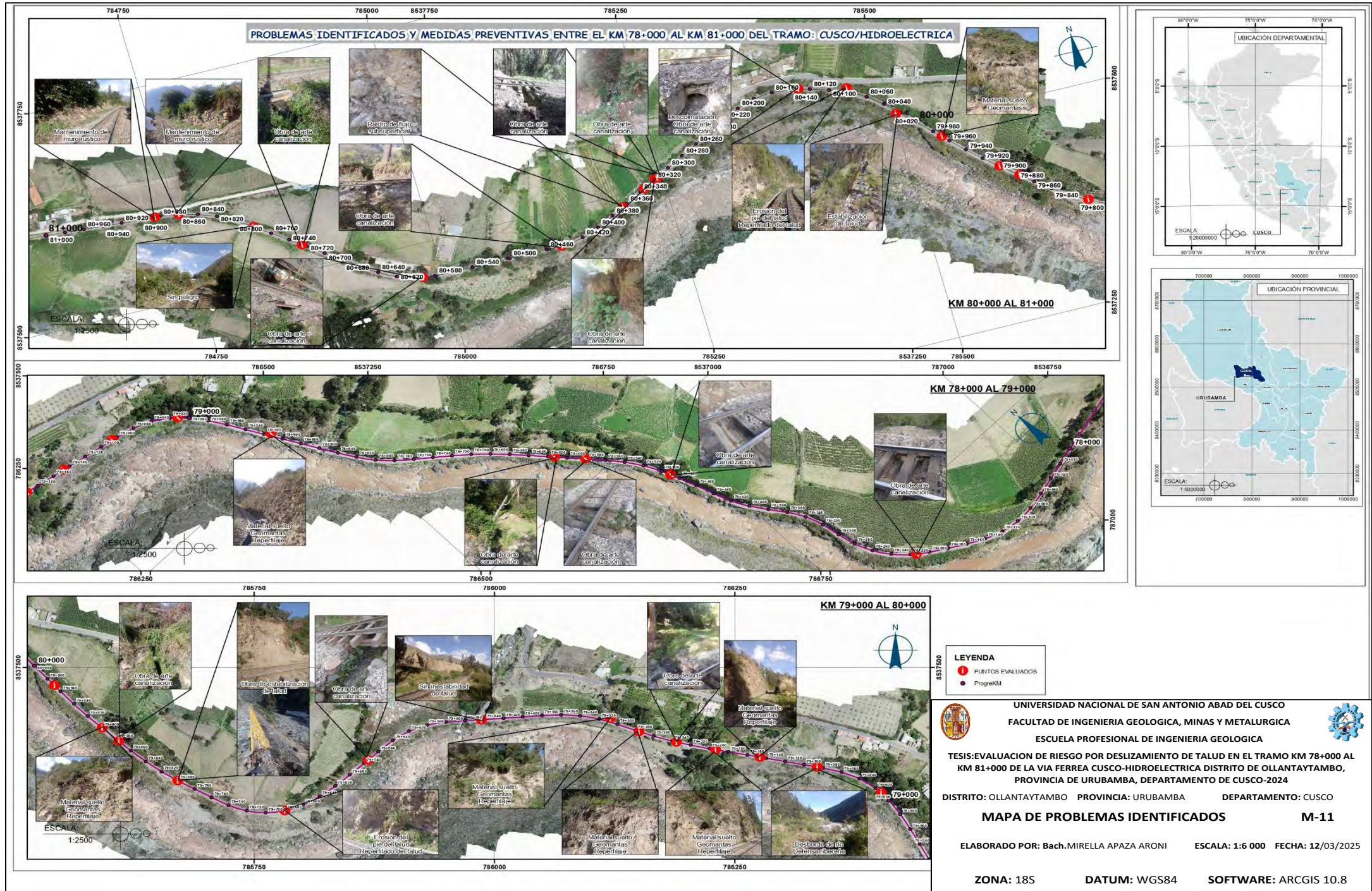
Con los tres cuadros anteriores y los escenarios de riesgos generados por se desarrolló el análisis de estabilidad de taludes del km 78+00 al km 81+000. A continuación, se muestra un mayor detalle.

Se realizó el análisis cada 50 metros en la evaluación de estabilidad del talud (figura 49), donde se muestra que la mayoría de los puntos evaluados, en condiciones normales muestran condiciones estables y medianamente estable, solo encontrándose una progresiva el cual corresponde al km 79+800, el cual llego a una valoración de inestabilidad, pero el cual por la visita de campo se vieron que se realización obras de estabilización.

Figura 49. Análisis del peligro por progresiva del kilómetro 78+00 al 81+000.



Mapa 10: Problemas identificados y medidas



PROBLEMAS IDENTIFICADOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS ENTRE EL KM 78+000 AL KM 81+000 DEL TRAMO: CUSCO/HIDROELECTRICA

LEYENDA
 ● PUNTOS EVALUADOS
 ● ProgreKM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: EVALUACION DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TALUD EN EL TRAMO KM 78+000 AL KM 81+000 DE LA VIA FERREA CUSCO-HIDROELECTRICA DISTRITO DE OLLANTAYTAMBO, PROVINCIA DE URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

DISTRITO: OLLANTAYTAMBO PROVINCIA: URUBAMBA DEPARTAMENTO: CUSCO

MAPA DE PROBLEMAS IDENTIFICADOS M-11

ELABORADO POR: Bach. MIRELLA APAZA ARONI ESCALA: 1:6 000 FECHA: 12/03/2025

ZONA: 18S DATUM: WGS84 SOFTWARE: ARCGIS 10.8

CAPITULO X: MEDIDAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

2.1. Medidas estructurales

- **Muros de contención reforzados**

Tipo: Gaviones, muros de concreto armado o muros de suelo reforzado con el objetivo de contener el material suelto del talud y evitar que invada la vía férrea considerando que deben diseñarse para soportar cargas dinámicas (trenes) y saturación de agua.

- **Sistemas de drenaje**

De manera superficial cunetas, canales y bajantes para evitar acumulación de agua sobre el talud superior y de manera subsuperficial drenes horizontales y pozos filtrantes para reducir presión intersticial.

Con el objetivo de disminuir la saturación del suelo, que es uno de los principales factores de inestabilidad.

- **Estabilización del talud con anclajes o micropilotes**

Anclajes activos o pasivos para sostener zonas críticas del talud.

Micropilotes si se requiere mejorar la capacidad portante del terreno debajo de la vía férrea.

- **Reperfilamiento y terraplenes armados**

Reducción del ángulo de inclinación del talud o construcción de bermas escalonadas.

Uso de geomallas o geotextiles para reforzar el terraplén.

- **Vegetación controlada**

Hidrosiembra o plantación de especies de raíces fibrosas para estabilización superficial.

Importante: evitar árboles grandes que puedan generar sobrepeso o riesgo de caída.

10.1.1. Medidas no estructurales

- **Monitoreo geotécnico continuo**

Instalación de:

- Inclinómetros para detectar movimientos del talud.
 - Piezómetros para monitorear nivel freático.
 - Acelerómetros para evaluar el impacto de las vibraciones del tren.
- **Alerta temprana:** Conexión a un sistema que avise a los operadores ferroviarios en caso de movimiento crítico.

Restricción de velocidades ferroviarias

Reducción de velocidad en tramos críticos para disminuir las vibraciones que podrían inducir inestabilidad.

- **Planes de emergencia y evacuación**

Desarrollo de protocolos de actuación en caso de deslizamiento que afecte la vía.

Coordinación con operadores ferroviarios y autoridades locales.

- **Inspección y mantenimiento frecuente**

Revisión periódica de la condición del talud, drenajes y estructuras de soporte.

Limpieza de vegetación invasiva o acumulaciones de sedimento.

- **Actualización de mapas de riesgo**

Incorporación de información geotécnica y dinámica (tráfico ferroviario, lluvias, etc.) para definir zonas de mayor prioridad de intervención.

CONCLUSIONES

1. Se determinó el nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica como nivel medio.

Los valores obtenidos permitieron clasificar los sectores analizados en cuatro niveles:

Riesgo alto: $0.068 \leq R \leq 0.249$

Riesgo medio: $0.020 \leq R < 0.068$

Riesgo bajo: $0.005 \leq R < 0.020$

Riesgo muy bajo: $R < 0.005$

Aunque algunos tramos presentan riesgo bajo o muy bajo, se recomienda implementar un programa de monitoreo permanente, ya que condiciones como precipitaciones intensas o sismos pueden modificar rápidamente el estado de los taludes. Asimismo, el mantenimiento periódico, limpieza de drenajes y estabilización con obras civiles podría reducir significativamente el riesgo identificado.

Para los sectores clasificados con **riesgo medio y alto**, se sugiere ejecutar obras de estabilización como muros de contención, anclajes, mallas metálicas o revegetación controlada. También se recomienda establecer una señalización adecuada y un sistema de alerta temprana en zonas críticas

2. Se determinó el nivel de peligro por deslizamiento en la zona de estudio como medio y alto en diferentes secciones del tramo.
3. Se determinó el nivel de vulnerabilidad en la zona de estudio como alto.
4. Se evaluó las características geológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la zona de estudio. La zona de influencia se distingue por la presencia predominante de afloramientos de depósitos cuaternarios, como son depósitos aluviales, fluviales (bloques y boloneras) que generalmente fueron formados por eventos de precipitaciones máximas. Así también se tiene el afloramiento del complejo metamórfico Ollantaytambo, conformado en su mayoría por esquistos.

5. Se determinó las características geotécnicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la zona de estudio mediante el análisis cualitativo en cada 50 metros del talud, en condiciones normales muestran condiciones estables y medianamente estable, solo encontrándose una progresiva el cual corresponde al km 79+800, el cual llegó a una valoración de inestabilidad.
6. Se estableció las características geomorfológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la zona de estudio. El análisis del área de estudio permitió identificar unidades como terrazas y taludes aluviales, cárcavas de socavación fluvial, cauce del río, terraplenes y laderas de montaña, las cuales influyen directamente en la estabilidad de los taludes. La interacción entre la dinámica fluvial, la pendiente, la litología y las condiciones climáticas incrementa la susceptibilidad a procesos erosivos y deslizamientos, representando un riesgo para la infraestructura ferroviaria. Los resultados constituyen una base técnica para la identificación de zonas críticas y la implementación de medidas de gestión y mitigación del riesgo en la vía férrea Cusco–Hidroeléctrica.
7. Se propone medidas estructurales y no estructurales para la prevención y/o reducción del riesgo ante deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000. Las medidas estructurales incluyen la estabilización de taludes mediante muros de contención, sistemas de drenaje, anclajes, micropilotes, reperfilamiento y refuerzo con geosintéticos y vegetación controlada. Complementariamente, las medidas no estructurales, como el monitoreo geotécnico continuo, los sistemas de alerta temprana, la restricción de velocidades ferroviarias, los planes de emergencia, el mantenimiento periódico y la actualización de mapas de riesgo, son fundamentales para una gestión integral y sostenible del riesgo.

RECOMENDACIONES

1. **Implementación de medidas de estabilización en zonas de alto riesgo ($0.068 \leq R \leq 0.249$):**

Se recomienda intervenir de manera prioritaria en los tramos donde se ha identificado riesgo alto, mediante las siguientes acciones:

- Construcción de **muros de contención o pantallas atirantadas**.
- Instalación de **drenes horizontales** y canales superficiales para controlar la infiltración de agua.
- **Reperfilado de taludes** para disminuir la pendiente.
- Colocación de **mallas metálicas o geomallas** para contener deslizamientos superficiales.

2. **Monitoreo y mantenimiento en zonas de riesgo medio ($0.020 \leq R < 0.068$):**

Aunque no representan un peligro inmediato, estos sectores pueden evolucionar hacia condiciones más inestables debido a factores climáticos o sísmicos. Se recomienda:

- Realizar **inspecciones periódicas**, especialmente durante y después de lluvias intensas.
- Instalar **marcas de control o inclinómetros** para medir desplazamientos.
- Limpiar y mantener regularmente los **sistemas de drenaje existentes**.

3. **Seguimiento preventivo en zonas de riesgo bajo y muy bajo ($R < 0.020$):**

Estos tramos deben mantenerse bajo observación y control preventivo para asegurar que no haya evolución negativa:

- Promover la **revegetación controlada** para estabilizar el suelo y reducir la erosión.

- Controlar actividades antrópicas como cortes, depósitos de material o deforestación.
- Mantener registros históricos de eventos de deslizamientos para análisis comparativo.

4. Plan de gestión del riesgo geológico en la vía férrea:

Se recomienda que la entidad gestora de la vía implemente un **Plan Integral de Gestión del Riesgo por Deslizamientos**, que incluya:

- Zonificación de riesgo geológico a escala detallada.
- Capacitación del personal en reconocimiento temprano de signos de inestabilidad.
- Protocolos de emergencia y rutas de evacuación.

5. Uso de tecnología para el monitoreo continuo:

Se sugiere el uso de herramientas tecnológicas como:

- **Sensores remotos, drones y GPS** para el monitoreo continuo de los taludes.
- Aplicaciones de SIG (Sistemas de Información Geográfica) para actualizar mapas de riesgo.

6. Coordinación con autoridades locales y entidades de transporte:

Es fundamental establecer mecanismos de coordinación con las autoridades competentes (municipios, Defensa Civil, Ministerio de Transportes) para la gestión integral del riesgo y la ejecución de obras de estabilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abramson, W., & Boyce, M. (2002). *Slope Stability and Stabilization method. ASTM. (2016). Standar Test Method for Bulk density (unit Weigth) and Voids in Aggregate.*American Standards of Testing of Materials. New York.
- Arias, S., & Chacón, R. (2020). *Evaluación del riesgo geológico de la carretera Yaurisque - Ranraccasa - Paruro, tramo Ranraccasa - Paruro, (km 8+900 – 25+900) Paruro-Cusco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/5465>
- Ayala Carcedo, F., & Andreu, F. (1987). *Manual de Taludes.* Madrid
- Barquero, A. (2012). *Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales* [Ponencia presentada en el XI Congreso Nacional de Geotecnia, San José, Costa Rica]. Recuperado de https://iigconsultores.com/assets/articulo_1metodolog%C3%ADa-de-an%C3%A1lisis-de-estabilidad-de-taludes-para-proyectos-viales.pdf
- Benavente, R., Fernández C., Gómez A. (2004), *Estudio del Mapa de Peligro de la Ciudad del Cusco – PNUD – INDECI.*
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). Wiley.
- Carbajal Y.,(2024), *Determinación de los parámetros para calcular el nivel de peligro por deslizamiento en la quebrada Ayahuayco, del Distrito de cusco, provincia del cusco, departamento del Cusco, 2022.* Tesis de grado de la escuela profesional de Ingeniería Geológica-UNSAAC
- CENEPRED. (2021). *Manual de Evaluación del Riesgo de Desastres.* Lima: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- Condorhuacho Valdeiglesias, R. F., & Suni Mendoza, K. (2023). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en la quebrada Saqramayo – en los distritos de Cusco, provincia y región del Cusco 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7338>

- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes*. In Turner & Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley.
- Flores V., Huamani M.,(2024), *Evaluación de riesgo originados por deslizamientos en la quebrada Yanamayo en el distrito Urcos – Quispicanchis – Cusco,2022*. Tesis de grado de la escuela profesional de Ingeniería Geologica-UNSAAC
- Fierro Leon, F. (2023). *Evaluación de riesgos ante deslizamiento de taludes en el diseño geométrico del camino vecinal Pampahuasi - Huariños - Santa Virginia distrito de Panao, provincia de Pachitea - Huánuco, 2021* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13453>
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (3rd ed.). Institution of Mining and Metallurgy.
- INGEMMET. (2020). *Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del departamento de Cusco*.
- Kolmogorov, A. (1933). *Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione* [Sobre la determinación empírica de una ley de distribución]. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*, 4, 83–91.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Promedio multianual de la precipitación acumulada en la cuenca del río Urubamba – subcuenca* [Mapa]. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR). (2023). *Estadísticas de visitantes al Santuario Histórico de Machu Picchu*. Recuperado de <https://www.mincetur.gob.pe>
- Organización Meteorológica Mundial. (2008). *Guide to hydrological practices* (Vol. I). WMO
- Pechuga J., Villafuerte C. (2011), *Estudio Geodinámico de la Quebrada Saqramayo - Cusco, Cusco*. Tesis de grado Facultad de Ingeniería Geológica, UNSAAC.

- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas* (Publicación Geológica Multinacional, n.º 4). Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Oliva González, A. O., y Gallardo Amaya, R. J. (2018). *Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México*. *Revista Tecnura*, 22(55), 34-50. <https://doi.org/10.14483/22487638.12063>
- Saaty T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Book Co., N.Y
- SENAMHI. (2022). *Informe climático anual del departamento de Cusco*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Smirnov, N. (1948). *Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions* [Tabla para estimar la bondad de ajuste de distribuciones empíricas]. *Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), 279–281.
- Suarez J. (2009), *Deslizamiento. Tomo I: Análisis Geotécnico*
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3ra ed.). Wiley-Interscience.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types and Processes*. In Schuster & Krizek (Eds.), *Landslides: Analysis and Control*. National Research Council.
- Vila Garrafa, R. E., & Vásquez Qquenaya, W. J. (2016). *Evaluación del riesgo originado por movimientos en masa, quebrada Thuniyoc, distritos de San Sebastián y San Jerónimo, Cusco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/2377>
- Viltres, Y. (2011), *EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN TALUDES Y LADERAS DEL SECTOR ESTE DEL MUNICIPIO MOA, Holguín, Cuba*.- Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas s/n.

WEBGRAFIA

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2022). *Guía metodológica para la elaboración de estudios de riesgo de desastres por movimientos en masa*. <https://www.cenepred.gob.pe/>
- Centinel. (s.f.). *Evaluación y análisis de riesgos de desastres en proyectos de infraestructura vial y de transporte en Perú*. <https://www.centinel.com.pe/evaluacion-y-analisis-de-riesgos-de-desastres-en-proyectos-de-infraestructura-vial-y-de-transporte-en-peru/>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET). (2023). *Mapas de susceptibilidad a movimientos en masa*. <https://www.ingemmet.gob.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2021). *Normas técnicas de diseño geométrico y seguridad vial en infraestructura ferroviaria*. <https://www.gob.pe/mtc>
- Organización de los Estados Americanos (OEA). (s.f.). *Evaluación del riesgo: amenazas naturales y vulnerabilidad*. <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch15.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). *Manual de gestión del riesgo geológico en infraestructura de transporte*. <https://unesdoc.unesco.org/>
- Rodríguez, P. R. (2017). *Evaluación de la amenaza por deslizamientos en el sector nororiental del Gran Santiago* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142496>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). *Información climatológica e hidrometeorológica del Cusco*. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- United States Geological Survey (USGS). (n.d.). *Landslide hazards*. <https://www.usgs.gov/natural-hazards/landslide-hazards>

ANEXOS

ANEXO 1: TRABAJOS DE CAMPO

ANEXO II – EVALUACION GEOFISICA

II.I. GENERALIDADES

El método geoelectrico constituye una herramienta fundamental en investigaciones geotécnicas y en la exploración de aguas subterráneas, ya que permite analizar la composición, ubicación y características de los sedimentos, formaciones rocosas y acuíferos, mediante el análisis de la variación de la resistividad eléctrica en función de la profundidad. Este informe presenta los resultados obtenidos a partir de los estudios geoelectricos realizados, abarcando desde la recolección de datos hasta su análisis e interpretación.

II.II. OBJETIVO GENERAL

El objetivo central consiste en obtener una estimación lo más precisa posible de las propiedades geoelectricas de los sedimentos del subsuelo mediante un perfil en dos dimensiones (2D), considerando que los valores de resistividad suelen variar significativamente entre materiales de grano grueso, grano fino y formaciones rocosas.

II.III. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar la estratigrafía del subsuelo, localizando el macizo rocoso compacto.
- Determinar la profundidad aproximada del macizo rocoso.
- Identificar las posibles fallas o diaclasamientos.
- Localizar posibles planos de deslizamiento.

II.IV. UBICACION DE LA LINEA DE EXPLORACION

Cuadro 1 Geolocalizacion de la línea de investigación TRE-01

	CODIGO	TRE -01
INICIO	COORDENADAS X	785300
	COORDENADAS Y	8537553
FIN	COORDENADAS X	785168
	COORDENADAS Y	8537485
	LOGITUD DE EXPLORACION	120m

Cuadro 2 Geolocalizacion de la línea de investigación TRE-02

	CODIGO	TRE -02
FIN	COORDENADAS X	785355
	COORDENADAS Y	8537573
INICIO	COORDENADAS X	785219
	COORDENADAS Y	8537501
	LOGITUD DE EXPLORACION	1200m

Cuadro 3 Geolocalizacion de la línea de investigación TRE-03

	CODIGO	TRE -03
FIN	COORDENADAS X	785774
	COORDENADAS Y	8537351
INICIO	COORDENADAS X	785858
	COORDENADAS Y	8537458
	LOGITUD DE EXPLORACION	120m

Cuadro 4 Geolocalización de la línea de investigación TRE-04

	<i>CODIGO</i>	<i>TRE -04</i>
<i>FIN</i>	COORDENADAS X	785781
	COORDENADAS Y	8537358
<i>INICIO</i>	COORDENADAS X	785659
	COORDENADAS Y	8537415
<i>LOGITUD DE EXPLORACION</i>		120m

Figura 50: Ubicación geográfica de la línea de investigación TRE01 y TRE02.



Fuente: Google Earth

Figura 51: Ubicación geográfica de la línea de investigación TRE03 y TRE04.



Fuente: Google Earth

II.V. MATERIALES Y EQUIPOS

Para el siguiente trabajo se usaron los siguientes equipos y materiales:

- Terrameter ABEM-LS
- Batería(12V)
- Electrodo
- Conectores
- Carrete RT-35 GeoDevice
- Laptop
- Software Res2inv

II.VI. METODOLOGIA DEL TRABAJO REALIZADO

La tomografía eléctrica es una técnica de resistividad que emplea múltiples electrodos y se basa en la modelación bidimensional (2D) del subsuelo, utilizando métodos numéricos como los elementos finitos. En los apartados siguientes, se describe detalladamente el procedimiento aplicado para la adquisición y el procesamiento de los datos.

La proyección bidimensional muestra cómo se distribuyen horizontalmente los datos en el punto central del arreglo de electrodos empleados durante la toma de mediciones. En cuanto a la ubicación vertical, esta se estima proporcionalmente a la distancia entre electrodos, la cual varía en función del tipo de arreglo empleado.

Cabe señalar que esta imagen constituye una aproximación de la distribución real de la resistividad en el subsuelo, pudiendo presentar distorsiones debido a las isolíneas generadas por el tipo de configuración utilizada y por la resistividad verdadera del terreno. La pseudosección, por tanto, sirve como una herramienta preliminar para visualizar la resistividad aparente registrada y como punto de partida para una interpretación cuantitativa más precisa.

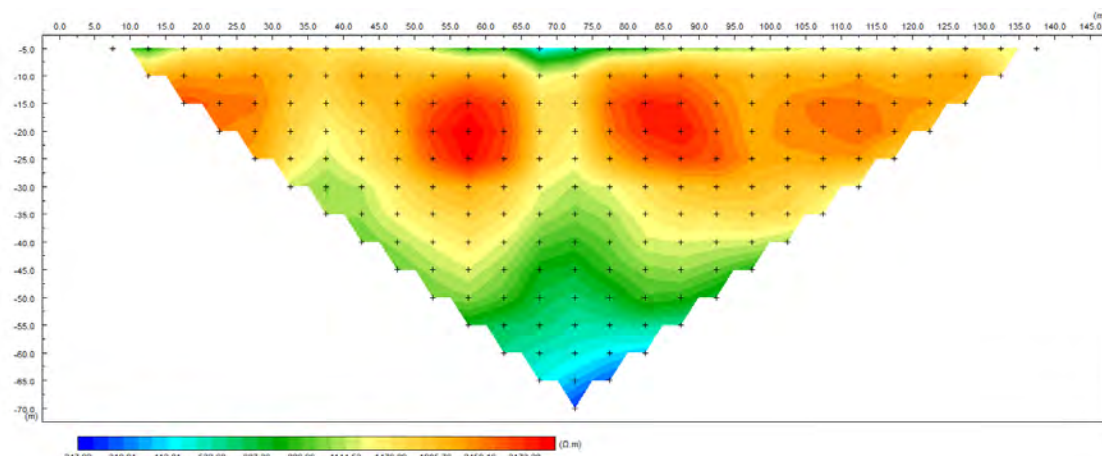
Tras aplicar el proceso de inversión de datos, se obtiene una imagen final que representa la resistividad real del terreno. La correcta elección de los intervalos de resistividad resulta clave, ya que permite destacar contrastes geológicos significativos; una selección inadecuada, en cambio, puede ocultar información relevante o generar interpretaciones erróneas. En la tabla siguiente, se presentan los rangos de resistividad asociados a los principales materiales geológicos característicos del área de estudio.

II.VII. TRABAJOS DE CAMPO Y GABINETE

- TRABAJOS DE CAMPO

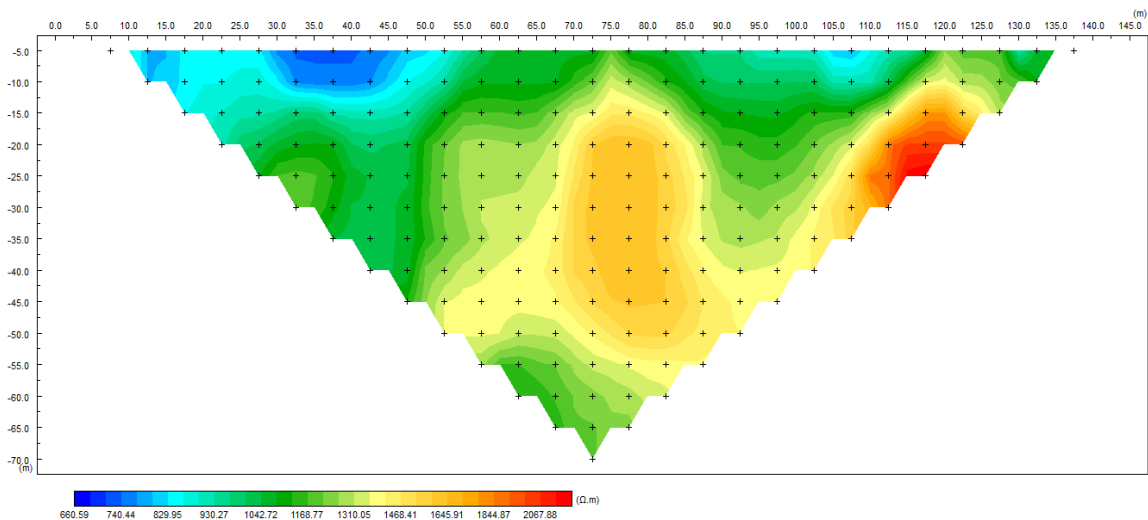
Para alcanzar los objetivos establecidos en esta área, se diseñaron diversas actividades de campo y, considerando las características topográficas, se elaboró un perfil geo eléctrico de 200 metros de longitud utilizando el método Dipolo-Dipolo. Posteriormente con inducción de corriente a diferentes voltajes se obtuvo un perfil geoelectrico nativo, como se muestra a continuación:

Figura 52 Arreglo de dispositivos TRE-01



Fuente: Levantamiento de Tomografía de Resistividad Eléctrica

Figura 53 Arreglo de dispositivos TRE-02



Fuente: Levantamiento de Tomografía de Resistividad Eléctrica

Figura 54 Arreglo de dispositivos TRE-03

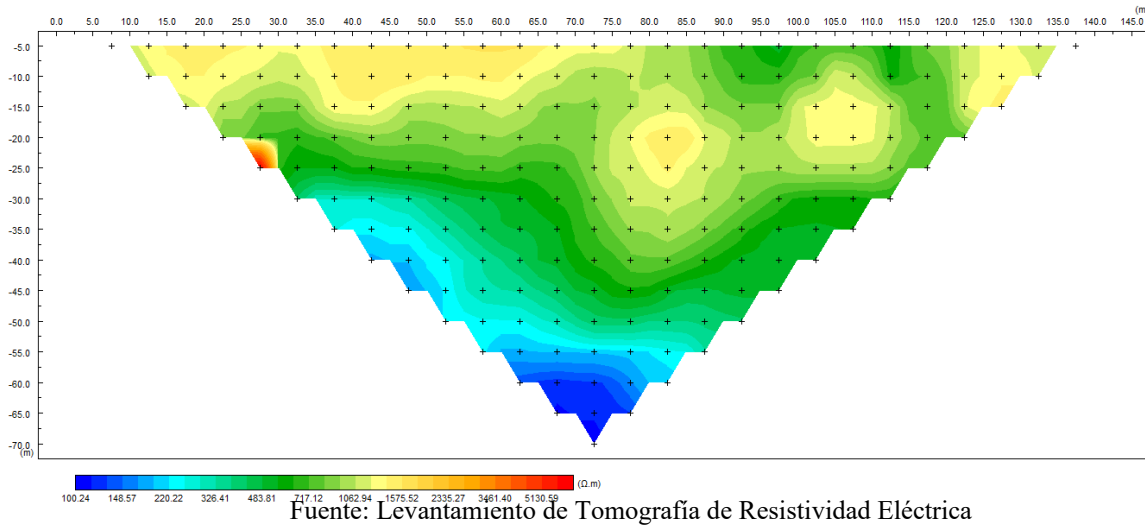
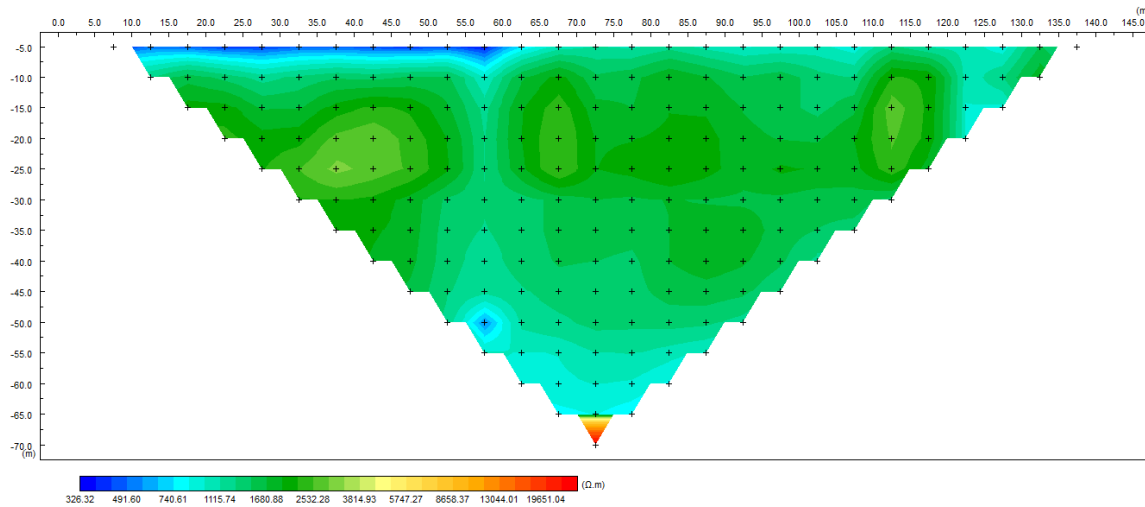


Figura 55 Arreglo de dispositivos TRE-04



TRABAJOS DE GABINETE

Los perfiles de resistividad 2D obtenidos mediante tomografía eléctrica fueron realizados con un arreglo multielectrónico dipolo-dipolo, utilizando el equipo Mangusta Sistem MC 48/E. Este sistema consta de un transmisor y un receptor que automatizan las secuencias de medición, además

de un selector de electrodos de cuatro canales que administra la conexión de los cuatro electrodos necesarios en cada medición (dos para corriente y dos para potencial), según la configuración empleada. El equipo cuenta además con cuatro carretes de 120 metros de longitud, cada uno con 24 conexiones para electrodos y un total de 24 electrodos disponibles.

En cuanto a la presentación de los resultados de la inversión, es importante tener en cuenta que esta no representa una solución única. Para un mismo conjunto de datos medidos, pueden existir múltiples modelos de distribución de resistividad que generen resultados similares. En este estudio, considerando que las propiedades eléctricas de los cuerpos subterráneos cambian de manera gradual, se aplicaron algoritmos de inversión con suavizado, no obstante, cuando las condiciones geológicas corresponden a formaciones con límites bien definidos y materiales relativamente homogéneos, se recomienda el uso de algoritmos robustos. En este trabajo, se aplicaron ambos métodos de inversión con el fin de comparar los resultados obtenidos.

La interpretación final de los perfiles fue realizada utilizando el software **RES2DINV v3.59**, desarrollado por **M.H. Loke**, el cual permite tanto la inversión de datos adquiridos en campo como la generación de imágenes de resistividad final. Este programa aplica el método de diferencias finitas para realizar la modelación del subsuelo.

II.VIII. RESISTIVIDAD DE MATERIALES

Tabla 71: Resistividad de materiales

MATERIAL	RESISTIVIDAD (OHMIOS-METRO)
AGUA DE MAR	1
ARENAS ARCILLOSAS	50 – 500
ARENISCA, GUIJARROS DE RÍO, PIEDRA TRITURADA	10 000 000
ARENA FINA Y GUIJARROS SECOS	1000
ARENA SILÍCEA	200 – 3000
ARCILLAS FERROSAS	10
ARCILLAS SECAS	30
ARCILLAS PLÁSTICAS	50
BARRO ARENOSO	150
CALIZAS BLANDAS	100 – 300
CALIZAS COMPACTAS	1000 – 5000
CARBÓN	10 ⁵ a 10 ⁶
CUARZO	1 000 000 000
ESQUISTOS GRAFÍTICOS	5
GRAFITOS	0.0001
GRANITOS ANTIGUOS	1.5 – 2×10 ³
GRANITOS COMPACTOS, GNEIS MUY ALTERADOS	100 – 600
GRAVA Y ARENA GRUESA	10 ² – 10 ³
GUIJARROS DEL RÍO Y CASCAJO DE PIEDRA TRITURADA	5000
HUMUS	10 – 150
LIMO	20 – 100
MARGAS Y HUMUS SECOS	50
MARGAS, TURBAS Y HUMUS SECOS	5 – 100
MARGAS Y ARCILLAS COMPACTAS	100 – 200
MINERALES CONDUCTORES	0.01
PIZARRAS	50 – 300
ROCAS COMPACTAS, CEMENTO ORDINARIO	1 000 000
ROCA MADRE, BASALTOS Y GRANITOS ANTIGUOS	10 000
ROCAS DE MICA Y CUARZO	800
SOLUCIONES SALINAS O AGUA DE MAR	0.1
AGUA DE ACUÍFEROS ALUVIALES	10 – 30
AGUA DE FUENTES	50 – 100
ARENAS Y GRAVAS SECAS	1000 – 10000
ARENAS Y GRAVAS CON AGUA DULCE	50 – 500
ARENAS Y GRAVAS CON AGUA SALADA	0.5 – 5
ARCILLAS	2 – 20
MARGAS	20 – 100
CALIZAS	100 – 10000
ARENISCAS ARCILLOSAS	50 – 300
ARENISCAS CUARCITAS	300 – 10000
TOBAS VOLCÁNICAS	20 – 1000
LAVAS	300 – 10000
ESQUISTOS GRAFITOSOS	0.5 – 5
ESQUISTOS ARCILLOSOS	100 – 300
ESQUISTOS SANOS	300 – 3000
GNEIS, GRANITO ALTERADO	100 – 1000
GNEIS, GRANITO SANO	1000 – 10000

FUENTE: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2015). *Proyecto de investigación del acuífero Esquipulas – Ocatepeque – Citalá.*

II.IX. ANALISIS DE DATOS OBTENIDOS

En función de los objetivos establecidos y conforme a la planificación de la línea de estudio, así como a los parámetros definidos para el arreglo empleado, se exponen a continuación los resultados obtenidos a partir del perfil medido.

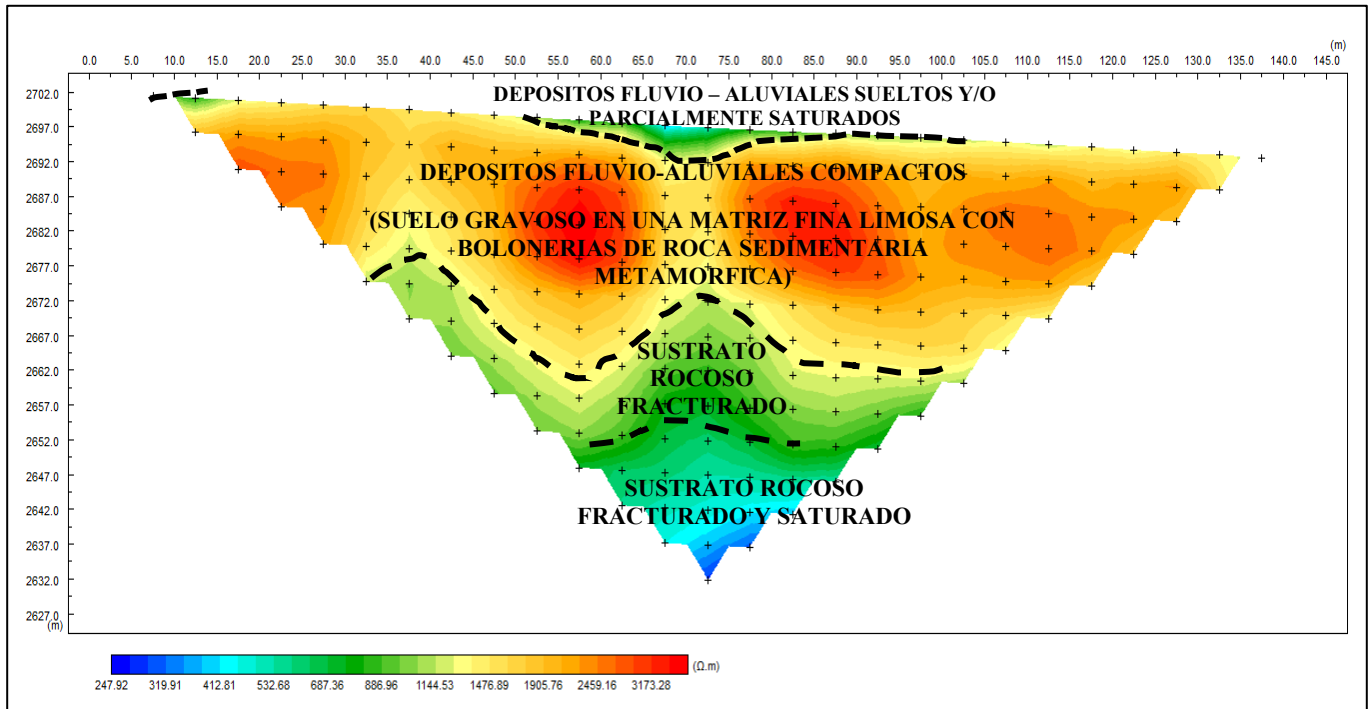
El ensayo, realizado utilizando el arreglo dipolo-dipolo, abarcó una longitud total de 120 metros. En el perfil de resistividad se identifican varias capas diferenciadas. La primera de ellas se extiende aproximadamente entre los 2,00 y 5,00 metros de profundidad, caracterizándose por depósitos fluvio-aluviales sueltos o parcialmente saturados, con valores de resistividad cercanos a los 500 $\Omega \cdot m$.

A continuación, se reconoce un segundo estrato, con resistividades en el rango de 1500 a 3000 $\Omega \cdot m$ y espesores estimados entre 20,00 y 30,00 metros. Este nivel corresponde a depósitos fluvio-aluviales más consolidados, compuestos por suelos gravosos en una matriz fina limosa, que contienen bloques de roca ígnea y sedimentaria.

Finalmente, en niveles más profundos, se presenta una tercera unidad geológica, caracterizada por resistividades que oscilan entre 600 y 1000 $\Omega \cdot m$, con espesores de 10,00 a 15,00 metros, asociada a materiales rocosos fracturados.

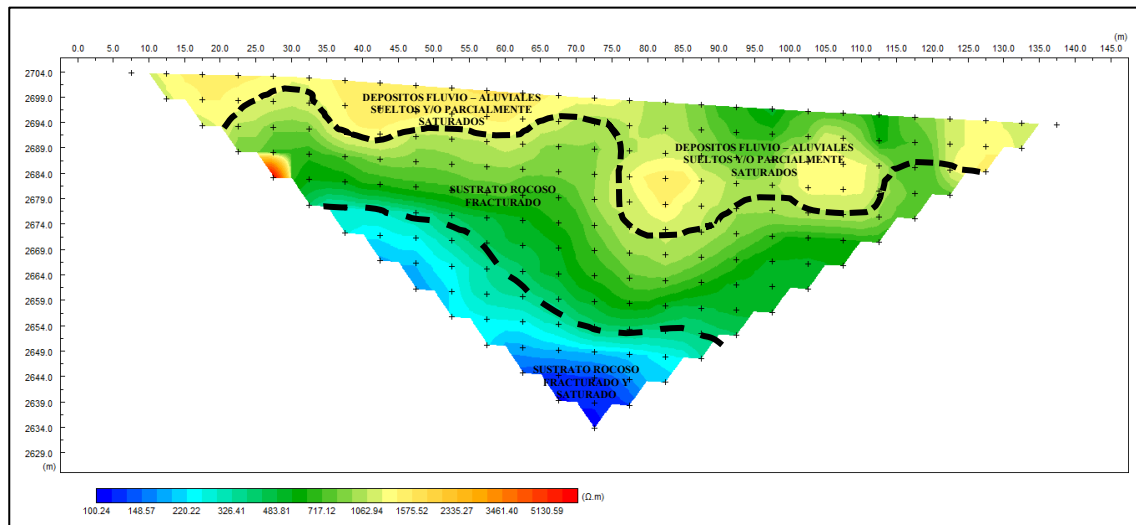
Por debajo de este se tiene un sustrato rocoso pobremente fracturado con influencia de flujo subterráneo, con resistividades que van de 500 a 200 $\Omega \cdot m$. Por último, se tiene un sustrato rocoso sano sin fracturamiento con resistividades que van de 3000 $\Omega \cdot m$ a más, localizado a partir de la profundidad de 60.00 m. Siendo este último el origen del grupo San José y grupo Ollantaytambo. Cabe señalar que la fluctuación de bajas resistividades está sujeta a la actividad estructural (diaclasas y/o micro fallas) que presenta la roca como en este caso.

Figura 56: Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografia TRE01.



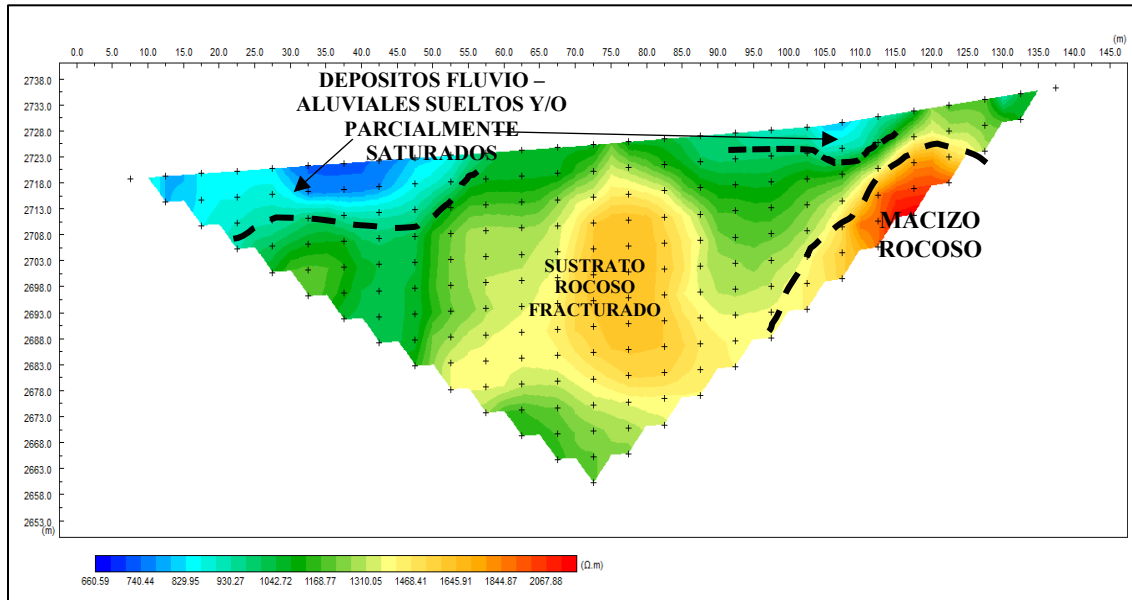
Fuente: Levantamiento de Tomografía de Resistividad Eléctrica

Figura 57: Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografia TRE02.



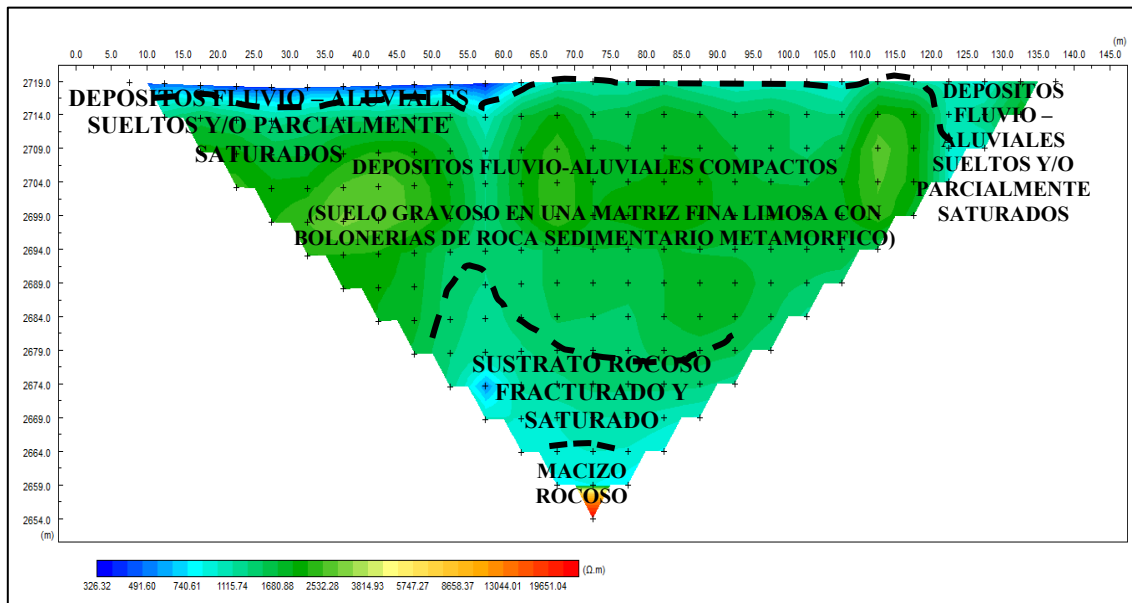
Fuente: Levantamiento de Tomografía de Resistividad Eléctrica

Figura 58: Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografia TRE03.



Fuente: Levantamiento de Tomografia de Resistividad Eléctrica

Figura 59: Perfil geoelectrico final, de Acuerdo a la topografia TRE04.



Fuente: Levantamiento de Tomografia de Resistividad Eléctrica

ANEXO 2: TRABAJO DE LABORATORIO

LINEA 1- C-1- CORONA DE TALUD

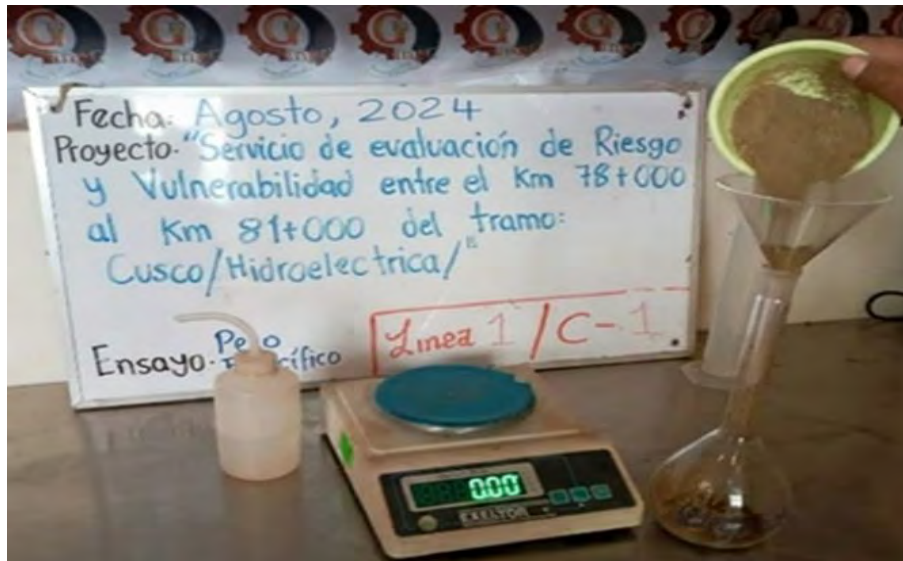
Fotografía 18: Determinación de los límites de consistencia y humedad



Fotografía 19: Determinación de la granulometría y peso específico



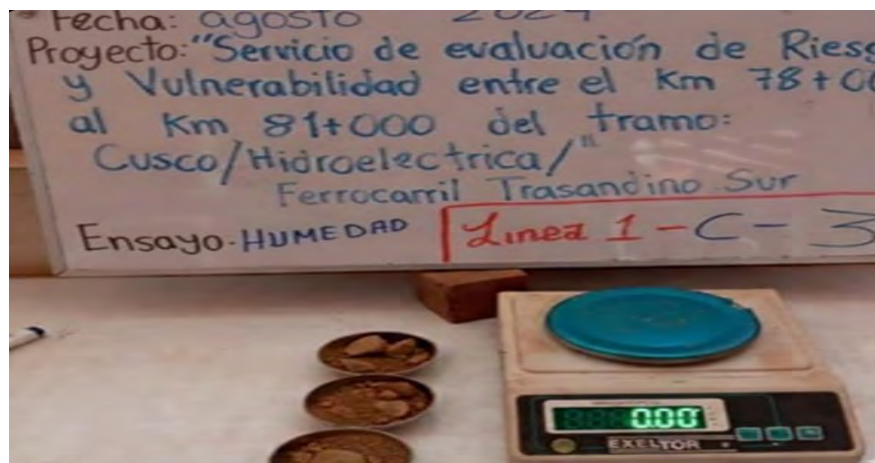
Fotografía 20: Determinación de peso específico



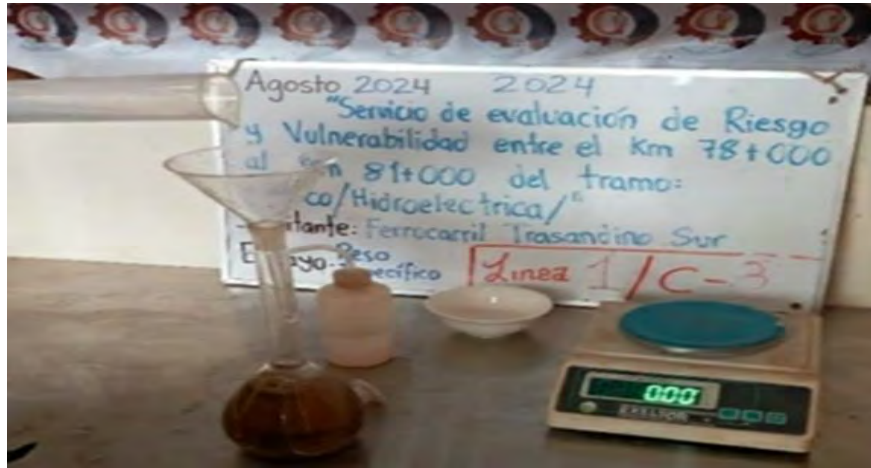
Fotografía 21: Determinación de los límites de Atterberg y granulometría



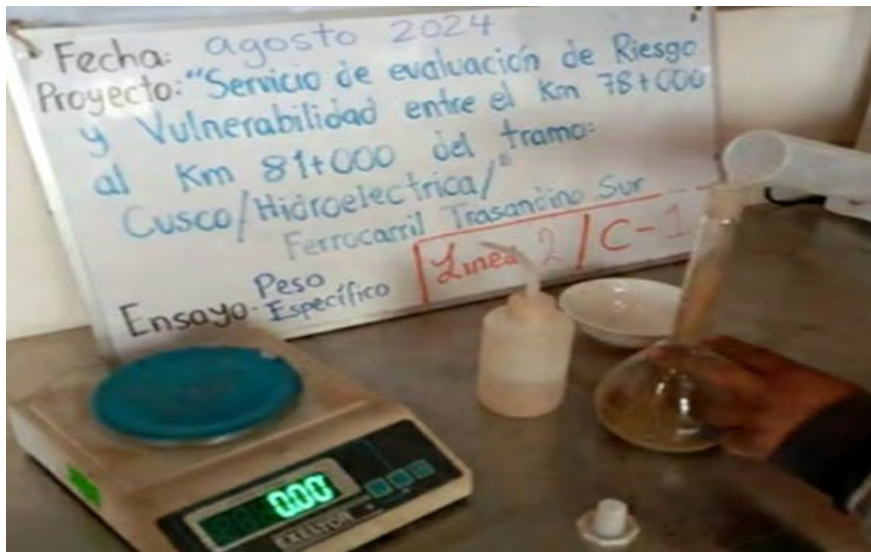
Fotografía 22: Determinación de la humedad



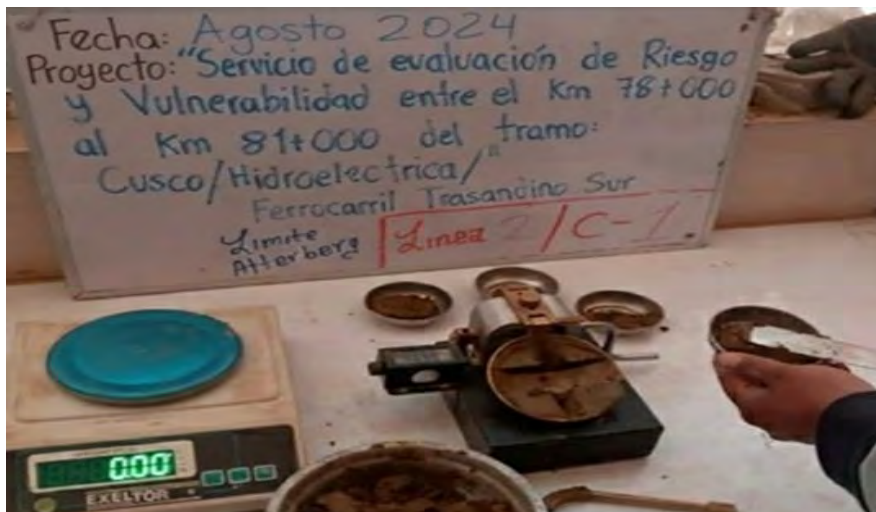
Fotografía 23: Determinación del peso específico



Fotografía 24: Determinación de peso específico



Fotografía 25: límite de Atterberg



fotografía 26:Determinación del peso específico y límites Atterberg



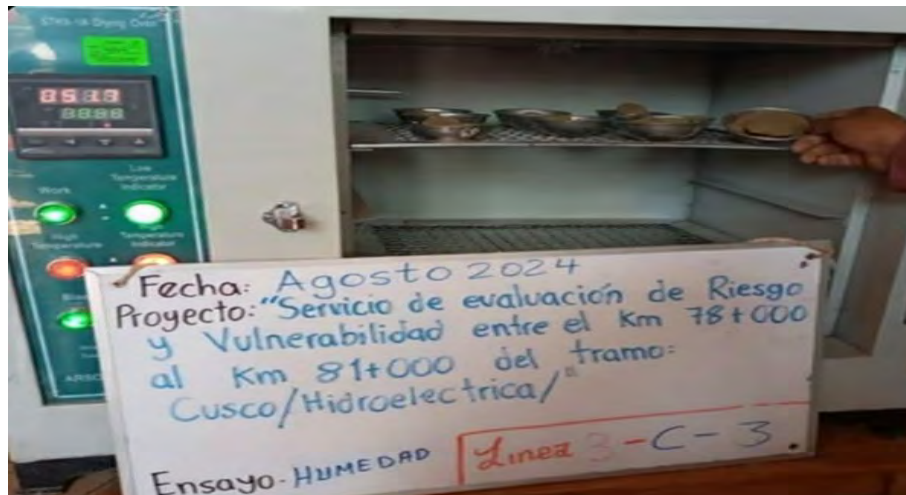
Fotografía 27:Determinación de la Granulometría y la humedad



fotografía 28:Determinación de granulometría



Fotografía 29:Determinación de límite de consistencia y humedad



Fotografía 30:Ejecucion del ensayo corte directo



ANEXO 3: CLASIFICACION SUCS

CALICATA 1

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos=	89.13%		
% de finos=	10.87%	Retenido en malla N 200=	89.13%
% de grava=	56.77%	Retenido en malla N 4=	56.77%
% de arena=	32.36%		
	% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4=	63.69%	(Grava)
	% de la fracción gruesa pasa la malla N 4=	36.31%	(Arena)
Cu=	136.92		
Cc=	6.91		

De los límites de consistencia

LL=	18.97%
LP=	16.64%
IP=	2.32%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-01
LINEA	N°01
UBICACIÓN	CORONA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
(MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200)												(MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200)													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG							
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%			(Turbo)			
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SV	SP	SV-SM	SV-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PT

GP-GM (SUCS) Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--

CALICATA 2

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos=	91.11%	
% de finos=	8.89%	Retenido en malla N 200= 91.11%
% de grava=	58.02%	Retenido en malla N 4= 58.02%
% de arena=	33.09%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		63.68% (Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		36.32% (Arena)
Cu=	100.00	
Cc=	4.00	

De los límites de consistencia

LL=	19.13%
LP=	17.18%
IP=	1.95%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	N°01
UBICACIÓN	VIA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																												
GRUESOS																	FINOS											
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200																	MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200											
GRAVAS									ARENAS								LIMOS Y ARCILLAS							ORG				
LIMPIAS			COMBINACIONES						CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS			LL<50%			LL>50%				(Turba)
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt			

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 3

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometría

% de gruesos=	96.78%	Retenido en malla N 200=	96.78%
% de finos=	3.22%	Retenido en malla N 4=	45.26%
% de grava=	45.26%		
% de arena=	51.52%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	46.77%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	53.23%	(Arena)
Cu=	30.00		
Cc=	3.01		

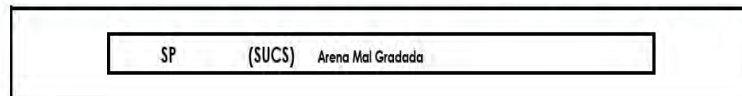
De los limites de consistencia

LL= 17.02%
 LP= NP
 IP= NP

SUCS	SP
CALICATA	C-03
LINEA	Nº 01
UBICACIÓN	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS													FINOS												
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200.													MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200.												
GRAVAS						ARENAS							LIMOS Y ARCILLAS						ORG						
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES			CON FINOS			LL<50%			LL>50%			(Turba)			
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt



CALICATA 4

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	86.71%	
% de finos=	13.29%	Retenido en malla N 200= 86.71%
% de grava=	49.66%	Retenido en malla N 4= 49.66%
% de arena=	37.05%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		57.27% (Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		42.73% (Arena)
Cu=	145.45	
Cc=	0.46	

De los limites de consistencia

LL=	19.66%
LP=	16.93%
IP=	2.73%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-01
LINEA	Nº02
UBICACION	CORONA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																										
GRUESOS												FINOS														
(MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200)												(MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200)														
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)								
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS				LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS				LL<50%			LL>50%			Pt
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt	



CALICATA 5

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	90.72%	
% de finos=	9.28%	Retenido en malla N 200= 90.72%
% de grava=	58.05%	Retenido en malla N 4= 58.05%
% de arena=	32.67%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		63.99% (Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		36.01% (Arena)
Cu=	120.00	
Cc=	4.60	

De los limites de consistencia

LL=	23.09%
LP=	21.27%
IP=	1.82%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	Nº02
UBICACIÓN	VIA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
/MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												/MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS								ORG (Turbe)					
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS				LL<50%				LL>50%			
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PI

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 6

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	96.97%		
% de finos=	3.03%	Retenido en malla N 200=	96.97%
% de grava=	63.78%	Retenido en malla N 4=	63.78%
% de arena=	33.19%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	65.78%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	34.22%	(Arena)
Cu=	60.00		
Cc=	2.40		

De los limites de consistencia

LL=	NP
LP=	NP
IP=	NP

SUCS	GP
CALICATA	C-03
LINEA	N°02
UBICACION	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS															FINOS										
/ MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															/ MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS									ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG				
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS			LL < 50%			LL > 50%			(Turba)	
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt



CALICATA 7

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	92.37%	Retenido en malla N 200=	92.37%
% de finos=	7.63%	Retenido en malla N 4=	66.46%
% de grava=	66.46%		
% de arena=	25.92%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	71.94% (Grava)	
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	28.06% (Arena)	
Cu=	211.67		
Cc=	4.02		

De los limites de consistencia

LL=	26.91%
LP=	24.33%
IP=	2.57%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-01
LINEA	N°03
UBICACIÓN	CORONA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS															FINOS										
MEHOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS							ARENAS								LIMOS Y ARCILLAS						ORG				
LIMPIAS		COMBINACIONES					CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%			(Turba)		
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
-------	--------	--

CALICATA 8

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	90.56%	
% de finos=	9.44%	Retenido en malla N 200= 90.56%
% de grava=	63.49%	Retenido en malla N 4= 63.49%
% de arena=	27.07%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4= 70.11% (Grava)		
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4= 29.89% (Arena)		
Cu= 222.22		
Cc= 4.36		

De los limites de consistencia

LL=	19.21%
LP=	16.70%
IP=	2.51%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	N°03
UBICACION	VIA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																														
GRUESOS													FINOS																	
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200																	
GRAVAS							ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS										ORG							
LIMPIAS			COMBINACIONES				CON FINOS			LIMPIAS			COMBINACIONES			CON FINOS				LL < 50%					LL > 50%					(Turba)
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	CL	CH	MH	OH	PT					

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 9

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	89.47%	
% de finos=	10.53%	Retenido en malla N 200= 89.47%
% de grava=	63.14%	Retenido en malla N 4= 63.14%
% de arena=	26.33%	
% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4=		70.57% (Grava)
% de la fracción gruesa pasa la malla N 4=		29.43% (Arena)
Cu=	266.67	
Cc=	5.23	

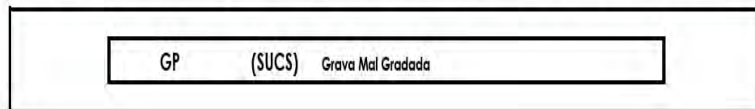
De los limites de consistencia

LL=	19.49%
LP=	17.35%
IP=	2.15%

SUCS	GP
CALICATA	C-III
LINEA	Nº03
UBICACIÓN	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS															FINOS										
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS							ARENAS								LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)				
LIPIAS	COMBINACIONES				CON FINOS			LIPIAS	COMBINACIONES				CON FINOS			LL<50%			LL>50%						
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	CH	CH	Pt



CALICATA 10

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	92.15%	Retenido en malla N 200=	92.15%
% de finos=	7.85%	Retenido en malla N 4=	44.77%
% de grava=	44.77%		
% de arena=	47.38%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	48.58%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	51.42%	(Arena)
Cu=	146.67		
Cc=	0.08		

De los límites de consistencia

LL=	19.30%
LP=	16.48%
IP=	2.82%

SUCS	SW-SM
CALICATA	C-01
LINEA	N°04
UBICACIÓN	CORDNA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG							
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%		LL>50%		(Turba)					
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt

SW-SM	(SUCS)	Arena Bien Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	---

CALICATA 11

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	89.24%	
% de finos=	10.76%	Retenido en malla N 200= 89.24%
% de grava=	66.56%	Retenido en malla N 4= 66.56%
% de arena=	22.67%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		74.59% (Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		25.41% (Arena)
Cu=	360.00	
Cc=	1.98	

De los limites de consistencia

LL=	19.39%
LP=	15.82%
IP=	3.57%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	Nº01
UBICACIÓN	VIA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS															FINOS										
/ MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															/ MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS							ARENAS								LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turbo)				
LIMPIAS		COMBINACIONES					CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%					
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PI

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 12

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	90.93%		Retenido en malla N 200= 90.93%
% de finos=	9.07%		Retenido en malla N 4= 65.24%
% de grava=	65.24%		
% de arena=	25.70%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	71.74%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	28.26%	(Arena)
Cu=	350.00		
Cc=	1.00		

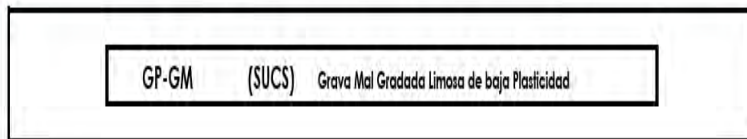
De los limites de consistencia

LL=	18.92%
LP=	16.78%
IP=	2.14%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-03
LINEA	N°04
UBICACION	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)							
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%						
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PI



CALICATA 13

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometria

% de gruesos=	93.83%		
% de finos=	6.17%	Retenido en malla N 200=	93.83%
% de grava=	74.12%	Retenido en malla N 4=	74.12%
% de arena=	19.71%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	78.99%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	21.01%	(Arena)
Cu=	280.00		
Cc=	43.21		

De los limites de consistencia

LL=	22.86%
LP=	20.48%
IP=	2.38%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-01
LINEA	N°05
UBICACION	CORDONA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)							
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%						
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 14

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	93.64%	Retenido en malla N 200=	93.64%
% de finos=	6.36%	Retenido en malla N 4=	64.58%
% de grava=	64.58%		
% de arena=	29.06%		
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		68.97%	(Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		31.03%	(Arena)
Cu=	280.00		
Cc=	0.80		

De los limites de consistencia

LL=	22.71%
LP=	21.12%
IP=	1.60%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	N°05
UBICACIÓN	LINEA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS												FINOS													
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)							
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS		LL<50%			LL>50%						
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SV-SM	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	PT

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">GP-GM</td> <td style="padding: 2px;">(SUCS)</td> <td style="padding: 2px;">Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad</td> </tr> </table>	GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad	

CALICATA 15

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	93.35%	Retenido en malla N 200=	93.35%
% de finos=	6.65%	Retenido en malla N 4=	67.26%
% de grava=	67.26%		
% de arena=	26.08%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	72.06%	(Grava)
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	27.94%	(Arena)
Cu=	280.00		
Cc=	3.21		

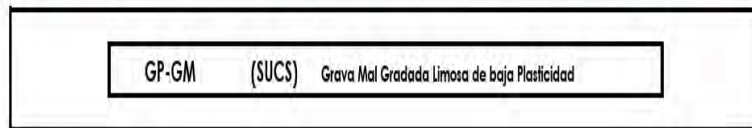
De los limites de consistencia

LL=	19.59%
LP=	16.77%
IP=	2.82%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-03
LINEA	N°05
UBICACIÓN	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS														FINOS											
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200														MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200											
GRAVAS							ARENAS							LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)					
LIMPIAS		COMBINACIONES					CON FINOS		LIMPIAS		COMBINACIONES					CON FINOS			LL<50%			LL>50%			
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt



CALICATA 16

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	93.24%		Retenido en malla N 200= 93.24%
% de finos=	6.76%		Retenido en malla N 4= 72.63%
% de grava=	72.63%		
% de arena=	20.62%		
	% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=	77.89% (Grava)	
	% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=	22.11% (Arena)	
Cu=	344.44		
Cc=	35.84		

De los limites de consistencia

LL=	19.01%
LP=	17.44%
IP=	1.57%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-01
LINEA	N°06
UBICACION	CORONA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS													FINOS												
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200													MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												
GRAVAS						ARENAS							LIMOS Y ARCILLAS						ORG						
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES					CON FINOS			LL<50%			LL>50%			(Turba)
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	OH	Pt	

GP-GM	(SUCS)	Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--------------	---------------	--

CALICATA 17

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificacion

De la granulometria

% de gruesos=	92.05%	
% de finos=	7.95%	Retenido en malla N 200= 92.05%
% de grava=	58.18%	Retenido en malla N 4= 58.18%
% de arena=	33.87%	
% de la fraccion gruesa retenida en la malla N 4=		63.20% (Grava)
% de la fraccion gruesa pasa la malla N 4=		36.80% (Arena)
Cu=	305.88	
Cc=	0.45	

De los limites de consistencia

LL=	19.06%
LP=	16.44%
IP=	2.62%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-02
LINEA	N°06
UBICACION	LINEA FERREA

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																									
GRUESOS															FINOS										
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200															MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200										
GRAVAS									ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)				
LIMPIAS			COMBINACIONES			CON FINOS			LIMPIAS		COMBINACIONES		CON FINOS		LL<50%			LL>50%							
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt

GP-GM (SUCS) Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--

CALICATA 18

SISTEMA DE CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

Datos para la clasificación

De la granulometría

% de gruesos=	89.70%		Retenido en malla N 200= 89.70%
% de finos=	10.30%		Retenido en malla N 4= 56.79%
% de grava=	56.79%		
% de arena=	32.91%		
	% de la fracción gruesa retenida en la malla N 4=	63.32%	(Grava)
	% de la fracción gruesa pasa la malla N 4=	36.68%	(Arena)
Cu=	346.67		
Cc=	0.10		

De los límites de consistencia

LL=	20.27%
LP=	18.85%
IP=	1.42%

SUCS	GP-GM
CALICATA	C-03
LINEA	N°06
UBICACIÓN	PIE DE TALUD

DIAGRAMA DE FLUJO PARA CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS																										
GRUESOS												FINOS														
MENOS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200												MAS DEL 50% PASAN LA MALLA N 200														
GRAVAS						ARENAS						LIMOS Y ARCILLAS						ORG (Turba)								
LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS				LIMPIAS		COMBINACIONES				CON FINOS				LL<50%			LL>50%			Pt
GW	GP	GW-GM	GW-GC	GP-GM	GP-GC	GM	GC	GC-GM	SW	SP	SW-SM	SW-SC	SP-SM	SP-SC	SM	SC	SC-SM	CL	CL-ML	ML	OL	CH	MH	OH	Pt	

GP-GM (SUCS) Grava Mal Gradada Limosa de baja Plasticidad
--

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	Definicion Conceptual	Definicion Operacional	Dimensio n	Indicadores	Unidad de medida	Tipo	Escala
Evaluacion de Riesgo	De acuerdo con CENEPRED (2015), la evaluación del riesgo consiste en un proceso técnico mediante el cual se identifica y analiza la interacción entre los peligros, la exposición de los elementos y su nivel de vulnerabilidad, con el fin de estimar la probabilidad de ocurrencia de daños y pérdidas.	El nivel de riesgo se determinara mediante el analisis de peligro y vulnerabilidad tomando como guia la metodologia del manual V.2.0 del CENEPRED y se usó la matriz de comparación de pares y normalización de THOMAS SAATY.	Peligro	Parametros de evaluacion	Factor de seguridad dinamico	Numerico	razon
				Factores condicionantes	Pendiente Geomorfologia Geotecnia y Geologia	numerico	% de pendiente Unidades geomorfologicas clasificacin succs
				Factores desencadenantes	Precipitacion	numerico	mm/h
			Vulnerabilidad	Exposicion economica	Proximidad al eje de flujo	numerico	metros
				Fragilidad economica	Material conformante de la via ferrea Antigüedad Volumen de trafico	cuantitativo/num erico	tipo de material años frecuencia
				Resiliencia economica	Mantenimiento de	cuantitativo	frecuencia
Deslizamiento	Cruden y Varnes (1996) describen los deslizamientos como el desplazamiento de masas de suelo o roca pendiente abajo, el cual ocurre principalmente a lo largo de superficies de falla o zonas delgadas donde se concentra una deformación cortante significativa.	Se evaluara el impacto del deslizamiento de talud en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo	factores desencadenantes	precipitacion	nivel de precipitacion registrados en las estaciones mas cercanas	numerico	mm/h
			impacto en infraestructura		evaluacion de dañ	nivel de daño en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000	cuantitativo/cuan titativo
Talud	Un talud, también conocido como ladera, se refiere a una porción de terreno inclinada, caracterizada por una pendiente o variaciones marcadas en su elevación. Estas formaciones suelen clasificarse en tres tipos principales: terraplenes, cortes realizados sobre laderas naturales y estructuras de contención. Se pueden presentar combinaciones los diversos tipos de taludes y laderas. (Suarez, J., 2009, p. 3)	En el tramo del km 78+000 al km 81+000 se realizo la evaluacion de estabilidad de taludes mediante el factor de seguridad 215	factor de seguridad	medida del factor de seguridad		numerico	

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema de investigacion	Objetivos	Hipotesis	Metodologia	Poblacion y Muestra
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.</p>	<p>Hipotesis general</p> <p>El nivel de riesgo por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco corresponde al nivel medio a alto.</p>	<p>ENFOQUE: La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que busca medir, analizar y establecer relaciones entre variables físicas y geotécnicas que inciden en la ocurrencia de deslizamientos de taludes en el tramo del km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica. Este enfoque permite trabajar con datos objetivos obtenidos mediante observación directa, mediciones de campo, análisis de laboratorio y herramientas de modelamiento geotécnico.</p>	<p>INFRAESTRUCTURA</p> <p>La infraestructura en evaluación consta de los 3 kilómetros de vía férrea comprendidos entre el km 78+000 y el km 81+000.</p> <p>MUESTRA</p> <p>La muestra está conformada por los taludes más representativos o críticos identificados adyacentes a la plataforma ferroviaria, expuestos a fenómenos de inestabilidad..</p>
<p>Problema específico</p> <p>☒ ¿Cuál es el nivel de peligro por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?</p> <p>☒ ¿Cuáles son las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?</p> <p>☒ ¿Cuáles son las características geológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?</p> <p>☒ ¿Cuáles son las características geotécnicas del suelo para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?</p> <p>☒ ¿Cuáles son las características geomorfológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, ¿departamento de Cusco?</p> <p>☒ ¿Cuáles son las medidas estructurales y no estructurales para la prevención y/o reducción del riesgo para deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>☒ Determinar el nivel de peligro por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco</p> <p>☒ Determinar las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea cusco-hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco</p> <p>☒ Establecer las características geológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.</p> <p>☒ Establecer las características geotécnicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.</p> <p>☒ Establecer las características geomorfológicas para determinar el nivel de riesgo de taludes en la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica en el tramo km 78+000 al km 81+000 del distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.</p> <p>☒ Sugerir estrategias tanto estructurales como no estructurales orientadas a la prevención y mitigación del riesgo asociado a deslizamientos de taludes en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.</p>	<p>Hipotesis específicas</p> <p>El nivel de peligrosidad por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco es de un nivel medio a alto.</p> <ul style="list-style-type: none"> Las zonas vulnerables por deslizamiento de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco se encuentran en un nivel medio a alto. Las condiciones geológicas son susceptibles para facilitar los deslizamientos de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco. Las condiciones geotécnicas del suelo son susceptibles a deslizamientos de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco. Las condiciones geomorfológicas son susceptibles a deslizamientos de talud en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco. La identificación adecuada de los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos en el tramo km 78+000 al km 81+000 de la vía férrea Cusco-Hidroeléctrica permitirá proponer medidas estructurales y no estructurales técnicamente viables, que contribuyan significativamente a la prevención y/o reducción del riesgo de deslizamiento de taludes en la zona de estudio. 	<p>TIPO DE INVESTIGACION: El tipo de investigación es descriptiva y explicativa. Es descriptiva porque se detallan las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, la geometría de los taludes, las condiciones climáticas y la infraestructura existente. A su vez, es explicativa porque se busca comprender las causas que generan la inestabilidad y los mecanismos de falla presentes, estableciendo relaciones entre las condiciones geológicas, las precipitaciones y los procesos de deslizamiento.</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACION: El diseño de investigación es no experimental, transversal. Es no experimental porque no se manipulan las variables, sino que se observan tal como se presentan en el entorno natural. Es transversal porque la recolección de datos se realiza en un periodo específico de tiempo, permitiendo evaluar la situación actual del riesgo sin seguimiento longitudinal.</p>	<p>Criterios de selección de la muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Taludes con evidencias de deslizamientos previos. Sectores con pendientes pronunciadas o materiales no consolidados. Zonas donde se cruzan quebradas o existen cortes artificiales. Áreas con alta exposición al tránsito ferroviario o actividades humanas.