

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS
EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA –
PACCHA, CAJAMARCA – 2025”**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. TATIANA CUEVA RODRIGUEZ

Asesor:

M.Cs. Ing. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Bach. CUEVA RODRIGUEZ, Tatiana
DNI: 75859316
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. Asesor: M.Cs. Ing. MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA – PACCHA, CAJAMARCA – 2025"
6. Fecha de evaluación: 13/10/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 7%
9. Código Documento: oid: 3117:512503982
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 13/10/2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombre: MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
DNI: 26704942



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 13/10/2025 23:36:46-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA - PACCHA, CAJAMARCA - 2025.

ASESOR : M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0683-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 16 de octubre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veinte días del mes de octubre de 2025**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA - PACCHA, CAJAMARCA - 2025**, presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil **TATIANA CUEVA RODRIGUEZ**, asesorada por el M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :06..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :11..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :17..... PTS **DIECISIETE** (En letras)

En consecuencia, se la declara **APROBADO** con el calificativo de **17 (DIECISIETE)** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **09:20** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Asesor

COPYRIGHT @ 2025 by
TATIANA CUEVA RODRIGUEZ
Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

A Dios, por su infinita misericordia y amor inquebrantable.

A mi hija Ariana Kaory, mi fuerza en la fatiga, mi alegría en la lucha, mi razón en cada paso. Compartimos desvelos, aprendizajes y sueños; esta tesis es tan tuya como mía, mi dulce compañera, con todo mi amor.

A mi abuelita Filomena Castañeda, en el cielo.

Tatiana Cueva Rodriguez

AGRADECIMIENTO

A mi madre Lucila, a mi padre Manuel, a mis hermanas Gladis, Yudith y Medali, a mi hermano Oscar y a mi cuñado Gilberto su respaldo indeclinable en cada peldaño de este recorrido.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, mi alma máter, por formarme como profesional.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por sus orientaciones en el transcurso de mi vida universitaria.

A mi Asesor M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares y Co-asesor Ing. Gilberto Cruzado Vásquez por su constante guía, dedicación y valiosas observaciones que contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a una persona de singular importancia, cuyo respaldo sereno y constante significó más de lo que pudo imaginar. Mi gratitud, sincera y perdurable.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTO.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. Problema General	2
1.3.2. Hipótesis General	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. Justificación de la muestra	3
1.5. ALCANCE.....	3
1.6. DELIMITACIÓN	4
1.7. LIMITACIONES	4
1.8. OBJETIVOS	5
1.8.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes Locales	8

2.2.	BASES TEÓRICAS	9
2.2.1.	Estabilidad de Taludes.....	9
2.2.2.	Macizos Rocosos.....	14
2.2.3.	Métodos de Análisis de Estabilidad	25
2.2.4.	Sismicidad y Diseño Pseudoestático	28
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	33
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		34
3.1.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN	34
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	34
3.1.2.	Ubicación Política	35
3.1.3.	Accesibilidad	35
3.2.	CLIMA Y VEGETACIÓN	36
3.2.1.	Clima	36
3.2.2.	Precipitación.....	37
3.2.3.	Temperatura.....	37
3.2.4.	Vegetación.....	37
3.3.	PROCEDIMIENTOS.....	38
3.3.1.	Tipo, Diseño y Método de la Investigación	38
3.3.2.	Población de Estudio	38
3.3.3.	Muestra.....	38
3.3.4.	Unidad de Análisis	38
3.3.5.	Definición de Variables.....	38
3.3.6.	Técnicas.....	39
3.4.	GEOLOGÍA.....	39
3.4.1.	Formación Santa (Ki-Sa).....	40
3.5.	SISMICIDAD	40

3.6.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA	42
3.6.1.	Geological Strenght Index (GSI).....	42
3.6.2.	Rock Mass Rating (RMR).....	51
3.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	61
3.7.1.	Análisis de Esfuerzos – RocData	61
3.7.2.	Análisis de Falla en Roca – Dips.....	64
3.7.3.	Análisis de Factor de Seguridad – Slide.....	71
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		78
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
4.3.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	83
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		84
5.1.	CONCLUSIONES	84
5.2.	RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		86
ANEXOS		89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de clasificación RMR	16
Tabla 2 Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR	17
Tabla 3 Clasificación geomecánica de GSI.....	19
Tabla 4 Propiedades físicas y mecánicas de las rocas	20
Tabla 5 Clasificación de las discontinuidades	21
Tabla 6 Clasificación de resistencia de suelos y rocas a partir de índices de campo	24
Tabla 7 Clasificación de las rocas según su origen	25
Tabla 8 Métodos de análisis de estabilidad de taludes	26
Tabla 9 Valores de los coeficientes sísmicos acorde a la zonificación	32
Tabla 10 Coordenadas UTM	34
Tabla 11 Datos de accesibilidad a la zona de estudio.....	36
Tabla 12 Tipo, diseño y método de investigación	38
Tabla 13 Variables independientes e independientes	38
Tabla 14 Estado de las discontinuidades. Estación N° 01	42
Tabla 15 Estado de las discontinuidades. Estación N° 02.....	45
Tabla 16 Estado de las discontinuidades. Estación N° 03.....	48
Tabla 17 Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial.....	52
Tabla 18 Valoración de las discontinuidades. Estación N° 01	54
Tabla 19 Valor obtenido de RMR y clasificación	55
Tabla 20 Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial.....	55
Tabla 21 Valoración de las discontinuidades. Estación N° 02	57
Tabla 22 Valor obtenido de RMR y clasificación	58
Tabla 23 Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial.....	58

Tabla 24 Valoración de las discontinuidades. Estación N° 03	60
Tabla 25 Valor obtenido de RMR y clasificación	61
Tabla 26 Valores de campo para software RocData. Estación N° 01	61
Tabla 27 Valores obtenidos RocData. Estación N° 01	62
Tabla 28 Valores de campo para software RocData. Estación N° 02	62
Tabla 29 Valores obtenidos RocData. Estación N° 02	62
Tabla 30 Valores de campo para software RocData. Estación N° 03	63
Tabla 31 Valores obtenidos RocData. Estación N° 03	63
Tabla 32 Orientación de las diaclasas. Estación N° 01	64
Tabla 33 Orientación de las diaclasas. Estación N° 02	66
Tabla 34 Orientación de las diaclasas. Estación N° 03	68
Tabla 35 Resultados obtenidos	71
Tabla 36 Valores de Factor de Seguridad.....	72
Tabla 37 Valores de Factor de Seguridad.....	73
Tabla 38 Valores de Factor de Seguridad.....	73
Tabla 39 Factor de seguridad sin sostenimiento.....	74
Tabla 40 Valores de Factor de Seguridad.....	75
Tabla 41 Valores de Factor de Seguridad.....	76
Tabla 42 Valores de Factor de Seguridad.....	76
Tabla 43 Factor de seguridad con sostenimiento.....	77
Tabla 44 Factor de Seguridad Sin Sostenimiento y Con Sostenimiento	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Partes de laderas y taludes	10
Figura 2 Nomenclatura de laderas y taludes.....	11
Figura 3 Esquema de rotura planar.....	13
Figura 4 Esquema de rotura en cuña	14
Figura 5 Cuantificación GSI en base a las discontinuidades y el RQD	18
Figura 6 Características de un macizo rocoso	22
Figura 7 Diferencia física entre suelo y roca.....	23
Figura 8 Zonificación sísmica del Perú	31
Figura 9 Punto Inicial del tramo de carretera	34
Figura 10 Punto Final del tramo de carretera	35
Figura 11 Rutas de accesibilidad.....	36
Figura 12 Datos de precipitación entre los años 2021 y 2025.....	37
Figura 13 Macizo rocoso de la Formación Santa (Ki-sa).....	40
Figura 14 Medida de datos de la estación N° 01	43
Figura 15 Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 01	44
Figura 16 Estación N° 01 de análisis.....	45
Figura 17 Medida de datos de la Estación N° 02	46
Figura 18 Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 02	47
Figura 19 Estación N° 02 de análisis.....	48
Figura 20 Medida de datos de la Estación N° 03	49
Figura 21 Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 03	50
Figura 22 Estación N° 03 de análisis.....	51
Figura 23 Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial	53

Figura 24 Ábaco de corrección de valor de RQD	53
Figura 25 Medida de rugosidad de la roca en campo de la Estación N° 01	54
Figura 26 Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial	56
Figura 27 Ábaco de corrección de valor de RQD	56
Figura 28 Medida de rugosidad de la roca en la Estación N° 02	57
Figura 29 Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial	59
Figura 30 Ábaco de corrección de valor de RQD	59
Figura 31 Medida de datos de rugosidad Estación N° 03	60
Figura 32 Toma de datos de Dip y Dip Direction Estación N° 01	64
Figura 33 Análisis de rotura planar, software Dips.....	65
Figura 34 Análisis de rotura en cuña, software Dips.....	66
Figura 35 Medida de datos de Dip y Dip Direction Estación N° 02	67
Figura 36 Análisis de rotura planar, software Dips.....	67
Figura 37 Análisis de rotura en cuña, software Dips.....	68
Figura 38 Medidas de datos de Dip y Dip Direction en la Estación N° 03.....	69
Figura 39 Análisis de rotura planar, software Dips.....	69
Figura 40 Análisis de rotura en cuña, software Dips.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS

τ	:	Tensión tangencial.
σ_n	:	Tensión normal.
c	:	Cohesión.
Φ	:	Ángulo de rozamiento.
m_i	:	Constante de roca intacta.
m_b	:	Valor reducido de la constante del material m .
s, a	:	Constantes del macizo rocoso.
λ	:	Número promedio de discontinuidades por metro.
RMR	:	Rock Mass Rating.
RQD	:	Rock Quality Designation.
GSI	:	Geological Strength Index.
FS	:	Factor de Seguridad.
Mpa	:	Mega pascal
UTM	:	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator.
WGS-84	:	Sistema de Coordenadas Geográficas Mundial 1984.

RESUMEN

La presente investigación surge a partir de la problemática de inestabilidad del talud de corte en el tramo comprendido entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha. La estabilidad se encuentra condicionada por factores naturales como la litología, precipitación y sismicidad, lo que genera procesos de desprendimientos, deslizamientos y derrumbes que afectan la transitabilidad y representan un riesgo para la población. El objetivo fue evaluar la estabilidad del talud mediante la implementación de enmallados como sistema de sostenimiento. La investigación fue de tipo aplicada, con nivel descriptivo y correlacional, diseño no experimental de corte transversal y enfoque cuantitativo. Para ello, se caracterizó el macizo rocoso aplicando los sistemas de clasificación RMR y GSI; se obtuvieron parámetros resistentes con el software RocData; se identificaron mecanismos de rotura planar y en cuña con Dips; y finalmente, se analizaron tres escenarios de estabilidad (natural, saturado y saturado con sismicidad) en Slide. Los resultados iniciales evidenciaron factores de seguridad (F.S.) críticos, menores a 1.0, confirmando inestabilidad: estación N°01 (0.683), estación N°02 (0.610) y estación N°03 (0.547). Sin embargo, tras la implementación de malla metálica con pernos de 2.00 m de longitud, espaciados cada 2.00 m y con capacidad de 100 kN, los valores críticos se incrementaron a 1.125 en la estación N°01, 1.020 en la estación N°02 y 1.129 en la estación N°03. Esto valida la eficacia técnica del sistema de sostenimiento, logrando que todas las condiciones críticas superen el umbral mínimo recomendado de estabilidad.

Palabras clave: Estabilidad de taludes, enmallado, factor de seguridad.

ABSTRACT

This research arises from the problem of slope instability in the cut section located between Km 28+170 and Km 28+270 of the Bambamarca – Paccha road. The stability of the slope is conditioned by natural factors such as lithology, rainfall, and seismicity, which generate processes of rockfalls, landslides, and collapses that affect trafficability and pose a risk to the population. The objective was to evaluate the slope stability through the implementation of wire mesh as a support system. The study was applied in nature, with a descriptive and correlational level, a non-experimental cross-sectional design, and a quantitative approach. The rock mass was characterized using the RMR and GSI classification systems; strength parameters were obtained with RocData software; planar and wedge failure mechanisms were identified with Dips; and finally, three stability scenarios (natural, saturated, and saturated with seismicity) were analyzed using Slide. The initial results showed critical safety factor (F.S.) values below 1.0, confirming instability: Station 01 (0.683), Station 02 (0.610), and Station 03 (0.547). However, after the implementation of wire mesh with 2.00 m long rock bolts, spaced every 2.00 m and with a capacity of 100 kN, the critical values increased to 1.125 at Station 01, 1.020 at Station 02, and 1.129 at Station 03. This validates the technical effectiveness of the proposed support system, ensuring that all critical conditions exceed the minimum recommended stability threshold.

Keywords: Slope stability, mesh reinforcement, factor of safety.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

La inestabilidad de taludes es una problemática geotécnica que afecta significativamente la seguridad de la infraestructura vial, el entorno natural y la integridad de las personas que habitan o transitan en zonas de riesgo. Este fenómeno, que puede manifestarse como deslizamientos, caídas de rocas o derrumbes, responde a la interacción de múltiples factores como las características geológicas del terreno, la topografía, las precipitaciones, la actividad sísmica y la intervención antrópica desordenada. Las consecuencias pueden ser altamente perjudiciales, tanto desde el punto de vista social — con la pérdida de vidas humanas y daños a viviendas—, como económico y ambiental — con afectaciones a cultivos, vías de comunicación, servicios básicos y ecosistemas locales— (Galindo & Alcántara, 2015).

Los taludes con pendientes pronunciadas, particularmente en regiones andinas como Cajamarca, representan un riesgo latente que se incrementa durante las temporadas de lluvias y eventos sísmicos. La combinación de un macizo rocoso de calidad regular, afectado por procesos de meteorización, y condiciones climáticas adversas, puede generar inestabilidad que compromete la seguridad de las vías de acceso, obstaculiza el transporte de bienes y personas, y pone en peligro actividades esenciales como el comercio, la agricultura y la ganadería. La falta de medidas de sostenimiento adecuadas y el limitado conocimiento sobre las condiciones geomecánicas del terreno agravan esta situación, aumentando la exposición de la población a escenarios de desastre (Julca et al., 2021; Zavala & Rosado, 2011).

En este contexto, el presente estudio se centra en la evaluación de la estabilidad del talud de corte ubicado entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha, vía que cumple un rol fundamental como conexión entre centros poblados rurales y la capital provincial. Esta carretera, de tipo trocha carrozable, presenta sectores con evidentes signos de inestabilidad, como fisuras, caída de bloques, escurrimiento superficial y alteración del macizo rocoso, especialmente durante la época de lluvias. Además, al encontrarse en una zona catalogada como sísmica (Zona 3 según la norma E.030), la posibilidad de que ocurran deslizamientos se incrementa significativamente ante movimientos telúricos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estabilidad del talud de las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha, se encuentra condicionada por factores naturales como la litología, las precipitaciones y la sismicidad. Estas condiciones propician la ocurrencia de procesos de inestabilidad, entre los que destacan desprendimientos de rocas, deslizamientos y derrumbes. La magnitud de dichos eventos reduce significativamente el ancho de la calzada e incluso ocasiona su obstrucción total, afectando la transitabilidad y generando riesgos directos para los habitantes de la zona. Para ello, se determinará de manera cuantitativa el factor de seguridad, seleccionando la técnica de enmallado más adecuada en función de los resultados del análisis realizado.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema General

¿En cuánto influye la implementación de enmallados en la estabilidad del talud de corte en el tramo comprendido entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha?

1.3.2. Hipótesis General

La implementación de un sistema de estabilización del talud de corte mediante enmallados las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha, influye positivamente en la estabilidad del talud, incrementando el Factor de Seguridad en un rango equivalente entre el 50 % y 60 %, permitiendo alcanzar valores superiores a 1.3 en condiciones naturales y superiores a 1.1 en escenarios de saturación y sismicidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los taludes de corte comprendidos entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha presentan un alto índice de movimientos de masas, especialmente desprendimientos de rocas, que constituyen un peligro inminente para conductores y peatones. Esta situación no solo compromete la seguridad vial, sino que también genera riesgos socioeconómicos asociados a la interrupción del tránsito y a posibles daños a la población.

1.4.1. Justificación de la muestra

Se considera el talud del tramo de las progresivas comprendido desde Km 28+170 hasta Km 28+270 al ser una zona con alta presencia de saturación de agua y presencia de caída de rocas de manera constante. Considerándose la parte más inestable de la carretera Bambamarca – Paccha.

1.5. ALCANCE

La investigación se centra en la evaluación de la estabilidad del talud de corte ubicado entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha. Esta investigación ha evaluado la estabilidad del talud sometido a tres escenarios la condición natural, condición de saturación total y condición de saturación total con la sismicidad, con el fin de determinar el Factor de Seguridad en cada caso. Asimismo, se

plantea la implementación de un sistema de estabilización mediante enmallado con pernos de anclaje, evaluando su efectividad para mejorar las condiciones de estabilidad. Los resultados obtenidos permitirán proponer una solución técnica aplicable a taludes con características geotécnicas similares, contribuyendo a la reducción de riesgos de inestabilidad y a la seguridad de la infraestructura vial.

1.6. DELIMITACIÓN

La investigación se desarrolla específicamente en el tramo de la carretera Bambamarca – Paccha, comprendido entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270. El estudio se realizó durante el año 2025, considerando datos de campo y análisis geotécnicos obtenidos en dicho intervalo. Asimismo, se limita al análisis de la estabilidad de taludes de corte en roca, con énfasis en la determinación del Factor de Seguridad y en la propuesta de enmallado con pernos de anclaje como medida de estabilización. No se incluyen otros métodos alternativos de estabilización ni el análisis de tramos distintos de la vía.

1.7. LIMITACIONES

- No se efectuaron ensayos sísmicos en campo y se recurrió únicamente a los valores de referencia de la Norma Técnica E.030, lo que constituye una aproximación general que no refleja la sismicidad local.
- No se realizaron ensayos de laboratorio para determinar parámetros de resistencia, por lo que la caracterización geomecánica se basó en valores referenciales de clasificaciones empíricas como RMR y GSI.
- Los datos de precipitaciones se obtuvieron de estaciones meteorológicas del SENAMHI, lo que proporcionó información válida, pero sin mediciones directas en el área de estudio, limitando la precisión espacial de los análisis.

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la estabilidad del talud de corte con enmallados en las progresivas del Km 28+170 al Km 28+270 carretera Bambamarca – Paccha a través del valor de Factor de Seguridad.

1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso del talud en las progresivas del Km 28+170 al Km 28+270, carretera Bambamarca – Paccha.
- Determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso que influyen en la estabilidad en las progresivas del Km 28+170 al Km 28+270, carretera Bambamarca – Paccha.
- Determinar el Factor de Seguridad que garantice la estabilidad de manera estática y bajo condiciones de saturación y sismicidad del talud en las progresivas del Km 28+170 al Km 28+270, carretera Bambamarca – Paccha.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Kumar & Ahirwar (2024), en “Importancia de los Métodos de Estabilización de Taludes”, el propósito fue evaluar la estabilidad de taludes, donde analizan falla en rotura planar, utilizando el método de equilibrio límite, considerando diferentes condiciones como taludes secos y con presencia de agua, cohesión, sismicidad, además de las propiedades geotécnicas del suelo y roca ayudan a calcular el Factor de Seguridad (FoS). De acuerdo a los resultados se propone técnicas de estabilidad adecuados como el drenaje, anclajes o la modificación del talud, con el propósito de aumentar el FoS, garantizando una estabilidad a largo plazo.

Chávez (2024), en “Análisis Geotécnico de Taludes en Zonas Críticas de la Carretera Socorro - San Gil, Km 104+192 - Km 117+350. Municipio del Socorro, Departamento de Santander, Colombia”, evaluó las características geotécnicas de seis taludes críticos, en los cuales su inestabilidad es debido a condiciones meteorológicas, grado de fracturación, propiedades físico-mecánicas, sismicidad y precipitación, la estabilidad de los taludes se analizaron mediante el softwares RocData v4.0, Dips v7.0 y Slide v6.0., obteniendo como resultados Factores de Seguridad en los taludes.

Koriawan et al. (2024), en “Análisis de la estabilidad de taludes basado en el método de clasificación del macizo rocoso (RMR) en una mina a cielo abierto, Java Oriental, Indonesia”, analizaron la estabilidad de taludes en rocas alteradas por procesos hidrotermales, mediante investigaciones geotécnicas, análisis petrográficos en láminas delgadas, la clasificación RMR y la prueba de carga puntual para determinar la resistencia del macizo rocoso. Determinaron que la estabilidad es influenciada significativamente

por la alteración que presenta el macizo rocoso, siendo las más afectadas zonas donde el RMR es más bajo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Ortiz (2022), en “Aplicación de Mallas Triple Torsión Ancladas para Estabilización de Talud Rocosó en Institución Educativa JEM, distrito de Andahuaylas – 2022”, evaluó la eficacia del uso de mallas de triple torsión ancladas en la estabilización de taludes en la Institución Educativa Juan Espinoza Medrano. Para esto previamente se evaluó la estabilidad del talud haciendo uso del software Slide 6.0, donde se obtuvieron condiciones satisfactorias gracias a los resultados obtenidos con el software Geo 5 en el uso de mallas de triple torsión ancladas.

Julca et al. (2021), en “Estabilidad de los Taludes de la Costa Verde Empleando el Método de la Hidrosiembra en el Tramo entre la Calle Colón y la Bajada Malecón Balta del Distrito de Miraflores”, analizaron un tramo de talud de 0.5 km de la Costa Verde, obteniendo datos de campo, posteriormente procesados mediante el software Civil 3D y el software Slide, donde con este se obtuvieron datos del Factor de Seguridad. Como medida de estabilización, se utilizó el método de la Hidrosiembra, obteniendo finalmente resultados satisfactorios a nivel urbano, turístico, comercial y el panorama natural de la zona.

Herrera & Solórzano (2020), en “Estabilidad de Taludes del Tajo Abierto Jérica considerando el Macizo Rocosó Isotrópico y Anisotrópico”, analizaron la estabilización del talud global del macizo rocosó, considerando que presenta 6 tipos de alteraciones hidrotermales, es isotrópico y anisotrópico, mediante el criterio de rotura de Hoek & Brown Generalizado en el software Slide 6.0. Como resultado se obtuvo los factores de seguridad diferenciado entre el talud isotrópico y anisotrópico y la relación que presentan con el RMR de cada uno.

Saenz (2017), en “Análisis para Estabilidad de Taludes en Roca utilizando Mallas Galvanizadas Ancladas, Ciudad Nueva Fuerabamba – Apurímac”, analizó la estabilidad de un talud rocoso, considerando 84 estaciones geomecánicas, con las muestras recolectadas se realizó ensayos de laboratorio, compresión uniaxial, cálculos de cohesión, fricción y RMR, mediante modelos comparativos, se determinaron Factores de Seguridad mayores a 1.5 que son los mínimos permitidos en base a la Norma E050. Como resultado se obtuvo una buena estabilización con el uso de mallas galvanizadas ancladas.

2.1.3. Antecedentes Locales

Huamán (2024), en “Análisis Geológico-Geotécnico para determinar Laderas Inestables en el Distrito de Paccha - Provincia de Chota”, evaluó las laderas inestables del Distrito Paccha-Chota, donde mediante softwares como RocData v4.0, y Slide v6.0, se obtuvieron datos como cohesión, ángulo de fricción, peso unitario y los factores de seguridad de los taludes. Se elaboró un mapa de peligros utilizando la matriz de Saaty, además se pudo determinar la inestabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas, finalmente se llegó a una correlación entre la inestabilidad y las zonas de riesgo por deslizamiento.

Tarrillo (2018), en “Grado de Estabilidad de los Taludes Críticos de la Carretera Baños del Inca - Llacanora”, evaluó los taludes críticos presentes en la carretera Baños del Inca a Llacanora, donde se identificaron cuatro taludes críticos, teniendo como parámetros el GSI y RMR, estos valores fueron procesados mediante los softwares Dips, Rocdata, Sweedge y Slide, para luego determinar el factor de seguridad que ayudaron a determinar que los taludes son estables pero que dos de ellos con presencia de agua se vuelven inestables.

Falconí (2017), en “Análisis Geotécnico de los Taludes en la Carretera Bambamarca - Paccha entre los Kilómetros 0 a 30, Distrito de Chota, Cajamarca”, analizó diecisiete taludes ubicados en la carretera Bambamarca – Paccha, se determinaron los valores de RMR y GSI, los cuales ayudaron a determinar factores de seguridad en cada uno de los taludes, donde se analizaron mediante los softwares RocLab y Slide, al final se concluyó que dichos taludes tiene una clasificación buena IIA, regular IIIA, regular IIIB, mala IVA y mala IVB.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estabilidad de Taludes

La estabilidad de taludes es la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia. En el planteamiento de medidas efectivas de taludes es importante entender las causas de la inestabilidad (Saenz, 2017).

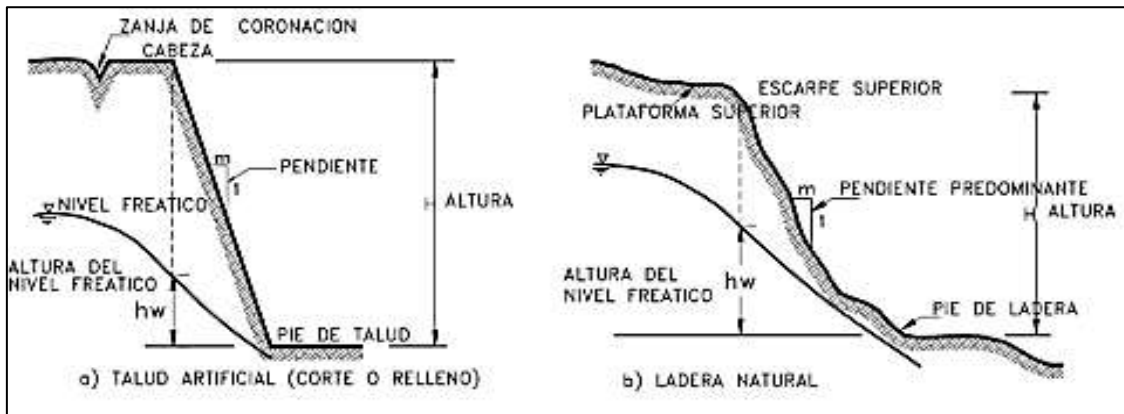
El conocimiento del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas, repercute enormemente en los cortes y en la seguridad, por ello, las investigaciones de campo (in situ) y de laboratorio, deben ser las suficientes, como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomecánicas del terreno, así como los posibles mecanismos de rotura.

2.2.1.1. Tipos de Taludes

Según Suarez (2007), “talud o ladera, hace referencia a una masa de tierra no plana, con presencia de alturas significativas o pendientes”. Desde el enfoque técnico, se utiliza el término ladera cuando dicha formación es producto de procesos naturales, mientras que se emplea el término talud cuando ha sido modelado de manera artificial.

Figura 1

Partes de laderas y taludes



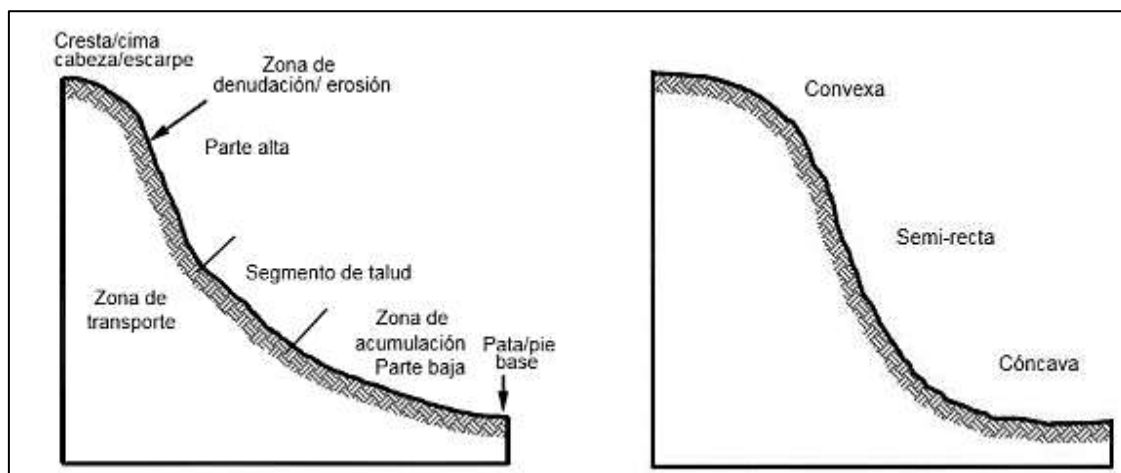
Nota: Suarez, 2007.

Según Suarez (2007), un talud está constituido por los siguientes elementos:

- Cabeza, cresta, cima o escarpe: es el lugar donde ocurre el cambio brusco de pendiente, ubicada en la parte superior del talud. Por lo general tiene forma convexa.
- Pie, pata o base: es el lugar donde ocurre el cambio brusco de pendiente, ubicado en la parte inferior del talud. En la mayoría de veces tiene forma cóncava.
- Altura: Es la distancia entre el pie y la cabeza del talud, claramente visible en taludes artificiales, pero difícil de definir en laderas.
- Altura de nivel freático: Trayectoria vertical desde la ladera o pie del talud hasta el nivel de agua medida desde debajo de la cabeza.
- Pendiente: Se refiere al grado de inclinación que presenta una ladera o talud. Esta se puede expresar en grados, en porcentaje o como una relación del tipo “ m/i ”, donde “ m ” representa la distancia horizontal por cada unidad de elevación vertical.

Figura 2

Nomenclatura de laderas y taludes



Nota: Suarez, 2007.

2.2.1.2. Factores que Afectan la Estabilidad

Los factores que condicionan la estabilidad de un talud están profundamente vinculados a las características inherentes del entorno natural. Entre ellos, destacan los aspectos geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos, todos relacionados estrechamente con la naturaleza de los materiales presentes en el área de estudio. En este contexto, las propiedades de resistencia y el comportamiento mecánico del talud dependen de variables como la composición del suelo, la estratigrafía, la litología y las condiciones hidrogeológicas existentes.

En particular, cuando se trata de macizos rocosos competentes, la disposición de las discontinuidades estructurales y el grado de fracturación, conforman el principal factor condicionante. Por otro lado, en materiales más blandos como las pizarras o lutitas, el nivel de alteración y la litología cobran una relevancia significativa en el análisis.

Asimismo, es importante distinguir entre los factores denominados “pasivos”, que determinan el estado potencial de inestabilidad, y los “activos” o “externos”, los cuales, al intervenir –generalmente como parte de la geodinámica externa– desencadenan

procesos de deslizamiento, alterando las propiedades originales de los suelos o macizos rocosos y comprometiendo el equilibrio del talud (Saenz, 2017).

2.2.1.2.1. Estratigrafía y Litología

El origen del material que forma un talud está ampliamente relacionado con el tipo de estabilidad que éste tenga. Las características físicas y la resistencia de cada tipo de material, así como la presencia de agua, rigen el comportamiento tenso deformacional de los taludes, por tanto, su estabilidad (González de Vallejo, 2004).

En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud.

2.2.1.2.2. Estructura Geológica y Discontinuidades

Rivera, “Para evaluar la influencia de la geología se toma en cuenta la estructura geológica de la formación rocosa, definida por su sistema de plegamientos y discontinuidades que originan un comportamiento anisotrópico del material y de sus planos preferenciales de falla, de manera que un determinado sistema de fallas o plegamientos con planos estratigráficos buzando hacia el talud, condicionan el tipo de falla y su magnitud” (Rivera, 2022).

2.2.1.3. Tipos de Fallas en Taludes

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud. En cambio, los diferentes tipos de roturas en rocas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados

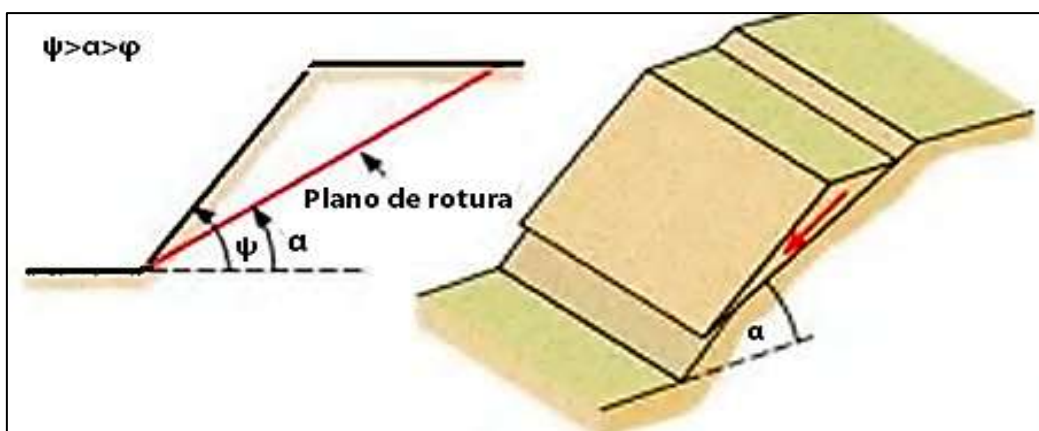
por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura (González de Vallejo, 2004).

2.2.1.3.1. Rotura Planar

La rotura plana generalmente se produce en macizos rocosos afectados por diaclasas y/o fallas, al quedar la masa de roca descalzada en la cara del talud. Para que se produzca se requiere que, el ángulo de inclinación del talud (ψ) sea mayor que el ángulo de inclinación de la discontinuidad (α), que el rumbo del plano de discontinuidad sea lo más parecido al rumbo del plano del talud (con una desviación máxima de 20 grados), finalmente se producirá la rotura cuando las fuerzas tangenciales en la superficie de rotura, superen las fuerzas resistentes (naturalmente dependen de la cohesión y ángulo de rozamiento interno del material) (González de Vallejo, 2004).

Figura 3

Esquema de rotura planar



Nota: González et al, 2004.

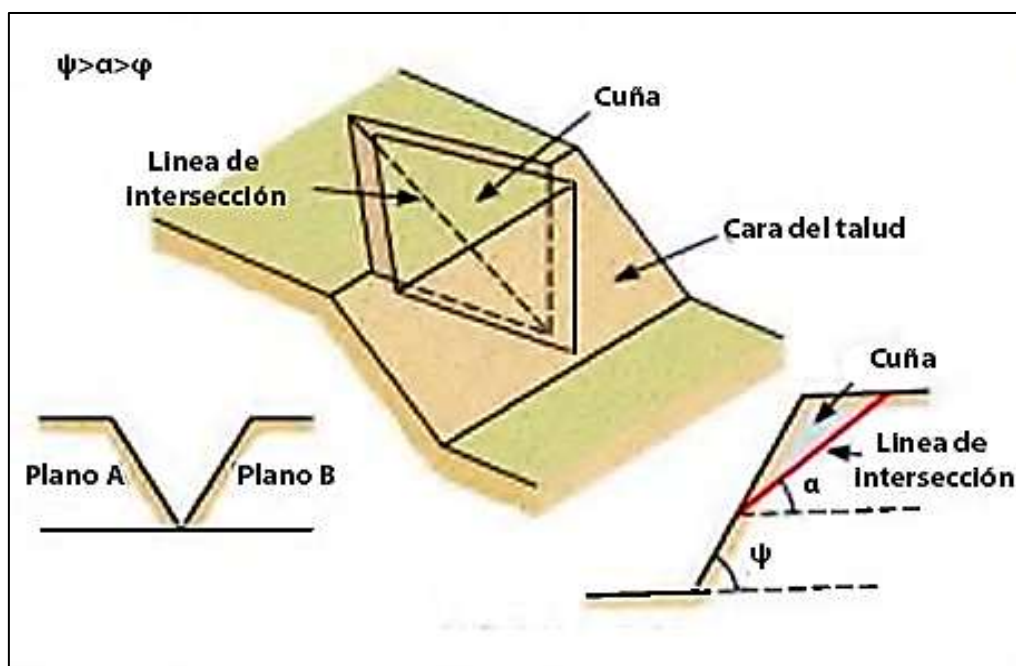
2.2.1.3.2. Rotura en Cuña

La falla en cuña es un deslizamiento de tipo traslacional que está controlado por dos o más discontinuidades. Este tipo de falla es uno de los más comunes en excavaciones en roca (Huerta, 2002).

Para que se presente falla en cuña es necesario que se den algunas condiciones especiales, las cuales permiten la posibilidad cinemática de movimiento. En primer lugar, la línea de intersección de los planos de discontinuidad que definen la cuña, debe tener una inclinación menor al ángulo de buzamiento del talud y además debe aflorar sobre este. Igualmente, el ángulo de buzamiento de los planos sobre los cuales se desliza la cuña, debe ser superior al ángulo de fricción de la discontinuidad (Hudson, 2000).

Figura 4

Esquema de rotura en cuña



Nota: González de Vallejo, 2004.

2.2.2. Macizos Rocosos

2.2.2.1. Definición y características de los macizos rocosos

Según Hoek & Brown (1980), un macizo rocoso se define como un conjunto de bloques de roca separados por discontinuidades tales como diaclasas, fallas o planos de estratificación, cuyas propiedades mecánicas no solo dependen del material intacto, sino también del patrón, orientación, espaciamiento y condiciones de las discontinuidades. Esta estructura heterogénea y anisótropa influye significativamente en el comportamiento geomecánico del talud o estructura en la que se encuentra. “Un macizo rocoso es una

masa natural de roca que forma parte de la corteza terrestre, compuesta por uno o varios tipos de roca, que puede contener discontinuidades estructurales como fracturas, diaclasas, fallas o foliaciones, las cuales influyen significativamente en su comportamiento mecánico y estabilidad.”

- Matriz Rocosa: es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca “intacta” que quedan entre ellas, se caracteriza por su peso específico, deformabilidad y resistencia (González de Vallejo, 2004).
- Discontinuidad: es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, generalmente con una resistencia a la tracción muy baja o nula. La presencia de discontinuidades implica un comportamiento no continuo del macizo rocoso (González de Vallejo, 2004).
- Macizo Rocosos: es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo le da al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo (González de Vallejo, 2004).

2.2.2.2. Clasificación Geomecánica

2.2.2.2.1. Sistema RMR (Rock Mass Rating)

El sistema de clasificación propuesto inicialmente por Bieniawski en 1976 y posteriormente revisado por el mismo autor en 1989, proporciona una herramienta valiosa para establecer una relación entre los índices de calidad y los parámetros geotécnicos del macizo rocoso. En este sistema, los índices de calidad son evaluados en una escala que varía de 0 a 100, permitiendo una caracterización cuantitativa de las condiciones del macizo rocoso (González de Vallejo, 2004).

El RMR cuenta con los siguientes parámetros:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos de RQD.

- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Tabla 1

Parámetros de clasificación RMR

Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)	
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1 < 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1 0
2	RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación diaclasas	entre	> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m	
	Puntuación		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		Puntuación	6	4	2	2	0	
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	10-125 litros/min	> 125 litros/min	
		Presión de Agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5	
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo	
		Puntuación	15	10	7	4	0	

Nota: González de Vallejo, 2004.

Tabla 2

Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80-61	$3-4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ-45^\circ$
III	Media	60-41	$2-3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ-35^\circ$
IV	Mala	40-21	$1-2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ-25^\circ$
V	Muy Mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Nota: González de Vallejo, 2004.**2.2.2.2.2. GSI (Geological Strength Index)**

El Índice de Resistencia Geológica (GSI, por sus siglas en inglés) fue desarrollado con el propósito de abordar macizos rocosos compuestos por bloques angulares que presentan fallas a lo largo de diversas familias de discontinuidades, con la posibilidad de presentar fallas en múltiples direcciones. Este índice se emplea para estimar las constantes m_i , s y a en el marco del criterio de Hoek & Brown. La clasificación mediante el Índice de Resistencia Geológica (GSI) fue concebida para tratar los dos factores principales que influyen en las propiedades mecánicas de un macizo rocoso: su estructura y el estado de las juntas presentes en él.

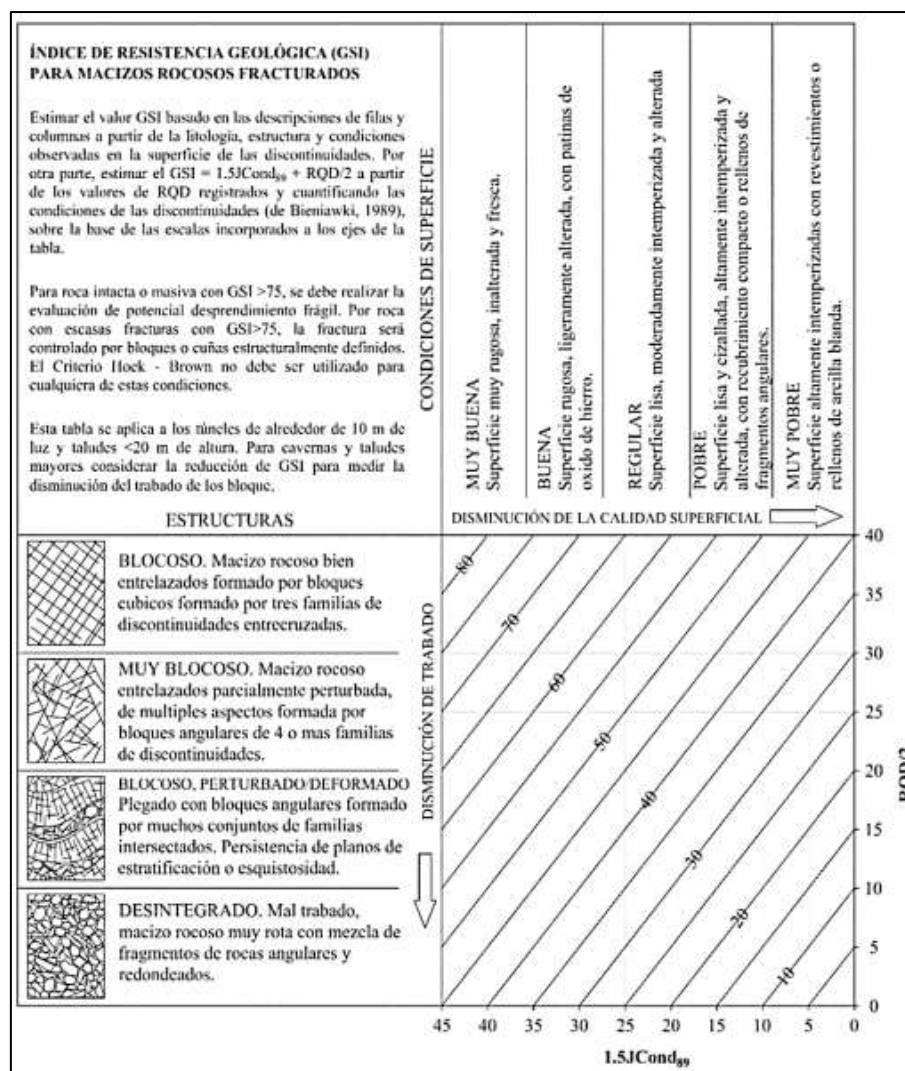
El GSI se establece como una herramienta para analizar macizos rocosos caracterizados por su compleja geometría de fracturas, lo cual puede incluir una variedad de direcciones de falla y discontinuidades. Su objetivo principal es proporcionar una forma de evaluar y cuantificar cómo estas características influyen en el comportamiento mecánico del macizo rocoso. Al considerar tanto la disposición estructural de las fracturas como el grado de desarrollo de las juntas, el GSI ofrece una representación integral de las condiciones geotécnicas de un macizo rocoso en particular (Hoek & Brown, 2018).

En la figura 5 podemos apreciar que existe una relación entre la caracterización de las juntas del macizo rocoso propuesto por Bieniawski en 1989 con la clasificación de la calidad de la roca RQD definida por Deere en 1963. Esta relación permite la obtención del valor del GSI de una manera más exacta, siendo de esta manera un apoyo y ayuda para estudiantes e ingenieros que lleguen a considerar el uso de la interpretación ocular en campo un poco más complicada. Obteniendo como resultado la siguiente ecuación que relaciona ambas características:

$$GSI = 1.5JCond_{89} + \frac{RQD}{2}$$

Figura 5

Cuantificación GSI en base a las discontinuidades y el RQD



Nota: Hoek E. et al., 2018.

Tabla 3

Clasificación geomecánica de GSI

Calidad del Macizo	Tipo	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy Buena	I	80-100

Nota: Hoek E. et al., 2018.

2.2.2.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de las Rocas

Para Gonzáles de Vallejo, si queremos analizar a las rocas o macizos rocosos a través de sus propiedades físicas o mecánicas tenemos que entender que hablamos de que estas no tienen un comportamiento homogéneo, debido que al tener una gran variabilidad de características y propiedades físicas y mecánicas que se puede reflejar en una muestra del macizo rocoso como en el mismo fracturado. Al tener en cuenta la formación de la roca en sí que proviene de diferentes elementos químicos, que llega a formar diferentes cristales y partículas amorfas en cada roca, fundamenta la heterogeneidad de sus propiedades. Por lo que al momento de analizar la roca con un fin geotécnico se tiene que tomar en cuenta la composición mineralógica y la ubicación donde fue encontrado dicho macizo rocoso, siendo más exactos el entorno donde se encuentra. Por esto mismo la descripción de una roca incluye las siguientes propiedades físicas y mecánicas, que están resumidas en la siguiente tabla, al igual que sus métodos de determinación (González de Vallejo, 2004).

Tabla 4

Propiedades físicas y mecánicas de las rocas

Propiedades		Métodos de determinación
Propiedades de identificación y clasificación	Composición mineralógica	Descripción visual
	Fábrica y textura	Microscopía óptica y electrónica
	Tamaño de grano	Difracción de rayos X
	Color	
	Porosidad (n)	
	Peso específico	Técnicas de laboratorio
	Contenido en humedad	
	Permeabilidad	Ensayo de permeabilidad
	Durabilidad	
	Alterabilidad	Ensayos de alterabilidad
Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión simple	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de carga puntual Martillo Schmidt
	Resistencia a tracción	Ensayo de tracción directa Ensayo de tracción indirecta
	Velocidad de ondas sísmicas	Medida de velocidad de ondas elásticas en laboratorio
	Resistencia	Ensayo de compresión triaxial
	Deformabilidad	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de velocidad sísmica

Nota: González de Vallejo, 2004.**2.2.2.4. Discontinuidades: Diaclasas, Fallas, Foliaciones, etc.**

Las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad para evaluar el comportamiento mecánico de los mismos frente a las obras de ingeniería. Las

discontinuidades representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura, y permiten el flujo de agua. Su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental para el estudio del comportamiento mecánico e hidrogeológico del macizo rocoso. Como un punto clave de las características de las discontinuidades es su orientación debido a como se encuentren en relación al talud o ladera puede determinar una zona de estabilidad o inestabilidad (González de Vallejo, 2004).

El término de discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas o las fallas. Estas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 5

Clasificación de las discontinuidades

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificación	Fallas Diques Discordancias
	Planos de laminación	
	Diaclasas o juntas	
	Planos de esquistosidad	
Lineales	Intersección de discontinuidades	Ejes de pliegues
	Lineaciones	

Nota: González de Vallejo, 2004.

Al momento de describir las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso se incluyen las siguientes características y parámetros geométricos: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia de las paredes. Algunos de ellos, como la rugosidad, abertura, relleno y resistencia de las paredes, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia de los planos de discontinuidad.

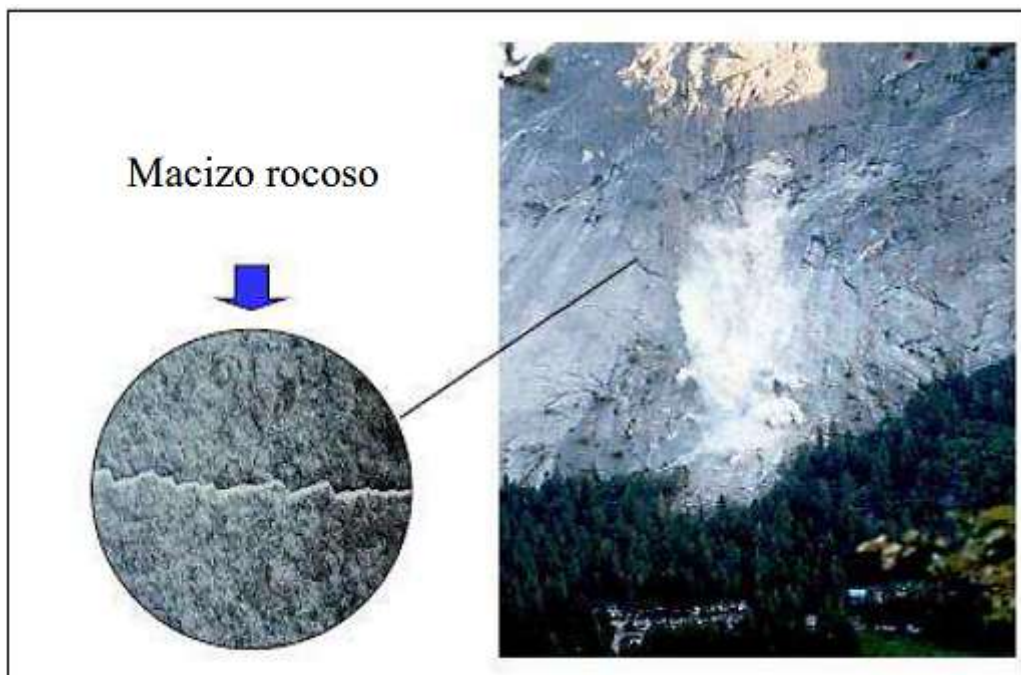
2.2.2.5. Composición de suelos y rocas

Es un conjunto de bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso (González de Vallejo, 2004).

- Suelos: Un medio discontinuo.
- Rocas: Bloques de roca intacta + discontinuidades (fracturas, planos de estratificación, fallas planas de debilidad, etc.).

Figura 6

Características de un macizo rocoso



2.2.2.5.1. Diferencias entre suelo y roca

Las rocas: son agregados naturales compuesto de partículas de uno o más minerales, con fuertes uniones cohesivas permanentes, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables. Los suelos: según su acepción geotécnica, son agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía (González de Vallejo, 2004).

Diferencia física entre suelo y roca



2.2.2.5.2. Clasificación de suelos y rocas

Tabla 6

Clasificación de resistencia de suelos y rocas a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (Mpa)
S1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm	< 0.025
S2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm	0.025-0.05
S3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0.05-0.1
S4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1-0.25
S5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25-0.5
S6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña	> 0.5
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25-1.0
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1.0-5.0
R2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5.0-25
R3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla	100-250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas	> 250

Nota: ISMR, 1981.

2.2.2.5.3. Clasificación geológica general de las rocas

Para fines geotécnicos se debe tener en cuenta como clasificar la roca, analizando algunos de sus factores, puesto que esto determinan su comportamiento mecánico.

- Propiedades de la matriz rocosa
- Frecuencia y tipo de las discontinuidades
- Grado de meteorización o alteración
- Estado de tensiones in situ
- Presencia de agua

Tabla 7

Clasificación de las rocas según su origen

Clasificación de las rocas por su origen		
Rocas sedimentarias	Detríticas:	Cuarcita, areniscas, lutita, limolita, conglomerado
	Químicas:	Evaporitas, caliza dolomítica
	Orgánicas:	Caliza, carbón, rocas coralíferas
Rocas ígneas	Plutónicas:	Granito, gabro, diorita
	Volcánicas:	Basalto, andesita, riolita
Rocas metamórficas	Masivas:	Cuarcita, mármol
	Foliadas o	
	con esquistosidad	Pizarra, filita, esquisto, gneiss

Nota: González de Vallejo, 2004.

2.2.3. Métodos de Análisis de Estabilidad

El análisis se aplica a taludes que presentan problemas de inestabilidad, permitiendo determinar las medidas correctivas de estabilización para evitar nuevos movimientos; hay diversos métodos de análisis de estabilidad que permiten calcular el factor de seguridad, la elección del método dependerá de las características geológicas y geomecánicas de suelos y rocas (González de Vallejo, 2004).

2.2.3.1. Métodos de Estabilización

La siguiente tabla muestra los principales métodos utilizados en el análisis de la estabilidad de taludes.

Tabla 8

Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Nota: Suárez, 2007.

2.2.3.2. Método de Equilibrio Límite

El método de equilibrio analiza a una masa potencialmente inestable, y consiste en la comparación de las fuerzas que tienden al movimiento de las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura y toma en cuenta lo siguiente:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura.
- La definición de coeficiente de seguridad.

Con estas condiciones, se llegan a establecer las ecuaciones del equilibrio entra las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. El análisis de esto da como resultado el coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada. Para esto el coeficiente de seguridad o factor de seguridad (FS) se compone de lo siguiente:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo al corte actuante}}$$

Haciendo el uso de las técnicas de equilibrio limite analizamos los movimientos de taludes y laderas, este método supone que tanto las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de una superficie de falla con un factor de seguridad igual 1.0 (Suarez, 2007).

2.2.3.3. Criterio de Rotura de Hoek & Brow

El método empleado para evaluar la resistencia de la matriz rocosa bajo condiciones isotrópicas se basa en un criterio de ruptura no lineal, cuya representación gráfica toma forma de una curva cóncava, según lo indicado por González de Vallejo en 2004. Inicialmente, este criterio fue aplicado a masas rocosas extensas, frágiles e intactas, y se desarrolló a partir de las propiedades inherentes de las rocas en su estado original. Con el tiempo, se incorporaron factores de ajuste que reducen estas propiedades para

permitir la caracterización de macizos rocosos con diaclasas, como lo propusieron Hoek, Carranza, y Corkum en el 2002.

Criterio expresado como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

m_b valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)$$

s y a son constantes del macizo rocoso, se expresan como:

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

Cuando se trata de una roca en su estado original e intacto, las constantes del material se denotan como m_i ; donde $s = 1$ y $a = 0.5$. Aquí, D representa un factor que varía según el grado de alteración que haya experimentado el macizo rocoso debido a factores como explosiones o relajación de esfuerzos. Este factor D tiene un rango que abarca desde 0, que corresponde a macizos rocosos sin alteración, hasta ciertos valores superiores para macizos rocosos altamente modificados (Hoek & Brown, 2018).

2.2.4. Sismicidad y Diseño Pseudoestático

El estudio de la estabilidad de taludes en zonas sísmicas debe contemplar la acción dinámica de los movimientos sísmicos, debido a que estos generan esfuerzos adicionales capaces de comprometer la estabilidad del macizo rocoso.

2.2.4.1. Aceleración Sísmica de Diseño

En estudios geotécnicos de estabilidad de taludes en roca, la aceleración sísmica de diseño representa la acción inercial inducida por un sismo sobre el macizo rocoso

potencialmente inestable. Esta se introduce en el análisis mediante un coeficiente sísmico horizontal (k_h), el cual simula los efectos del sismo en el análisis pseudoestático. La Norma Técnica Peruana E.030 – Diseño Sismorresistente establece que dicho coeficiente debe ser determinado en función de la zonificación sísmica, el tipo de estructura, y el uso del suelo.

En el caso de macizos rocosos, la selección del coeficiente k_h se realiza considerando que los cuerpos rocosos tienen mayor rigidez frente a suelos, pero también pueden presentar fallas controladas por fracturas, buzamientos y superficies de debilidad. Por ello, el coeficiente pseudoestático no debe subestimarse.

Para el análisis, la fuerza sísmica se calcula como:

$$F_s = k_h \times W$$

donde:

- F_s es la fuerza sísmica pseudoestática,
- k_h es el coeficiente sísmico horizontal,
- W es el peso del bloque de roca o del volumen susceptible al deslizamiento.

En algunos casos, especialmente en taludes rocosos con potencial de falla plana, cuña o por vuelco, también puede incluirse un coeficiente sísmico vertical (k_v). Este valor suele tomarse como un 30% a 50% de k_h , dependiendo de la orientación de la falla y su sensibilidad a la carga vertical. Cabe señalar que si el análisis pseudoestático en roca arroja un factor de seguridad sísmico menor a 1.0, debe complementarse con un análisis dinámico de desplazamientos (método de Newmark), especialmente cuando la morfología del talud, la persistencia de fracturas o la degradación del macizo aumentan el riesgo de movilización durante un evento sísmico.

2.2.4.2. Influencia Sísmica en la Estabilidad de Taludes

La influencia sísmica en la estabilidad de taludes radica en que los sismos inducen aceleraciones inerciales que actúan sobre la masa del talud, reduciendo significativamente el factor de seguridad frente al deslizamiento. Durante un evento sísmico, se pueden presentar varios fenómenos:

- Aumento de las fuerzas cortantes dentro del macizo rocoso o suelo.
- Disminución de la resistencia al corte, especialmente en materiales saturados.
- Licuefacción de suelos granulares en condiciones saturadas.
- Fracturamiento progresivo en macizos rocosos fisurados.

En el análisis pseudoestático, estas acciones sísmicas se representan mediante una fuerza horizontal ficticia, aplicada al centro de masa del posible cuerpo deslizante. Este método permite comparar el factor de seguridad estático (FS) y el sísmico (FSS). En general, se considera que un $FSS \geq 1.0$ es aceptable para estabilidad sísmica en taludes permanentes. No obstante, si el FSS es menor a 1.0, se sugiere realizar un análisis dinámico de desplazamientos mediante el método de Newmark, que estima la cantidad de desplazamiento acumulado del talud durante el evento sísmico, considerando la aceleración de deslizamiento (ac) y la historia de aceleración del sitio.

Este análisis es fundamental en taludes con pendiente pronunciada, cortes artificiales en carreteras, plataformas de minería o laderas naturales inestables.

2.2.4.3. Norma Técnica Peruana E.030

El Perú se divide en 4 zonas basándose en la distribución espacial de la sismicidad observada. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2019).

Figura 8

Zonificación sísmica del Perú



Nota: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2019.

Tabla 9

Valores de los coeficientes sísmicos acorde a la zonificación

a: Zonas sísmicas del Perú	b: Coeficiente de ampliación topográfica	c: Categoría de perfil estratigráfico
		0: S1 (Depósitos con niveles de más de 10m de arcillas/limos blandos con un índice de plasticidad alto (IP>40) y alto contenido de agua. S2 (Depósitos de suelos licuefactibles, arcillas sensibles).
	1: Laderas y taludes con pendientes menores a 15°.	1: A (Roca u otra formación geológica similar a roca, incluyendo como máximo 5 m de material más débil en superficie).
1= 0.10		
2= 0.25	1.2: Laderas y taludes aislados con pendientes mayores a 15°.	1.25: B (Depósitos de arena muy densa, gravas, o arcilla muy dura, de decenas de metros de espesor caracterizado por un incremento de las propiedades mecánicas en profundidad). C (Depósitos de arena densa o media, grava o arcilla dura con un espesor de unas decenas hasta centenares de metros). E (Un perfil de suelo formado por una capa aluvial superficial).
3= 0.35	1.4: Taludes y laderas con significativa menor grosor de cresta que de base, con pendientes mayores a 30°	1.35: D (Depósitos de suelo suelto de cohesión media a no cohesivo, con o sin capas de débil cohesión, o de ligera a gran cohesión predominantemente).
4= 0.45		

Nota: LoadCap, 2014.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Deslizamiento: desplazamiento de suelos, rocas o material desprendido debido a la influencia gravitacional, generando alteraciones en la configuración topográfica y ocasionando impactos ambientales significativos, así como daños en estructuras de construcción civil (Suarez, 2007).

Factor de seguridad: es la proporción entre las fuerzas que se oponen a la rotura y las fuerzas que intentan causar una fractura a lo largo de una superficie de falla (Suarez, 2007).

Falla: desplazamiento de un bloque en relación con otro a lo largo de un plano de falla originado por fuerzas tectónicas como la epirogenesis, orogenia y diastrofismo, lo que resulta en la formación de discontinuidades en las estructuras geológicas (Dávila, 2011).

Laderas: área de terreno que no es de superficie uniforme y que exhibe variaciones notables en su elevación o pendiente. Se considera una ladera cuando estos rasgos topográficos han evolucionado de manera natural (Suarez, 2007).

Macizos Rocosos: son segmentos de roca que han sido fragmentados por fracturas o discontinuidades. Desde una perspectiva mecánica, los macizos rocosos se caracterizan como medios anisótropos y discontinuos, ya que presentan variabilidad en sus propiedades en diferentes direcciones debido a la presencia de fracturas y otros tipos de discontinuidades (González de Vallejo, 2004).

Talud: una extensión de terreno que no es nivelada y que muestra variaciones notables en su inclinación o cambios significativos en su elevación se considera una ladera. Cuando estos rasgos topográficos se crean de manera deliberada, se denomina talud (Suarez, 2007).

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación Geográfica

Se encuentra ubicada geográficamente en la región occidental de la Cordillera Norte del Perú, contando con un relieve montañoso en sierra cajamarquina, con presencia de quebradas, laderas y zonas de transición agrícola. Situada en una altitud aproximada entre los 2000 a 2070 m.s.n.m., en un tramo, de aproximadamente 100 metros lineales, de la carretera Bambamarca – Paccha.

Tabla 10

Coordenadas UTM

Vértices	Progresivas	Coordenadas UTM (WGS-84)	
		Este	Norte
Punto Inicial	Km 28+170	784114	9280719
Punto Final	Km 28+270	784187	9280659

Figura 9

Punto Inicial del tramo de carretera



Figura 10

Punto Final del tramo de carretera



3.1.2. Ubicación Política

Se encuentra ubicado políticamente al noreste de la ciudad de Bambamarca, dentro del departamento de Cajamarca, en la provincia de Chota, en el distrito de Paccha. La carretera en cuestión conecta la ciudad de Bambamarca con el distrito de Paccha. (Ver Plano N°: 01)

3.1.3. Accesibilidad

La accesibilidad a la zona de estudio empieza desde la ciudad de Cajamarca, se toma la carretera 3N en dirección noroeste y noreste, recorriendo 112 km aproximadamente hasta el distrito de Bambamarca. Este tramo es asfaltado y por tramos trocha carrozable, se encuentra en condiciones transitables durante todo el año, con un tiempo estimado de viaje de 2 h 57 min.

Posteriormente, se accede a la zona de estudio mediante una trocha carrozable de aproximadamente 32.1 km, con un tiempo estimado de viaje de 1 h 33 min, el cual presenta condiciones variables dependiendo de la temporada.

Tabla 11

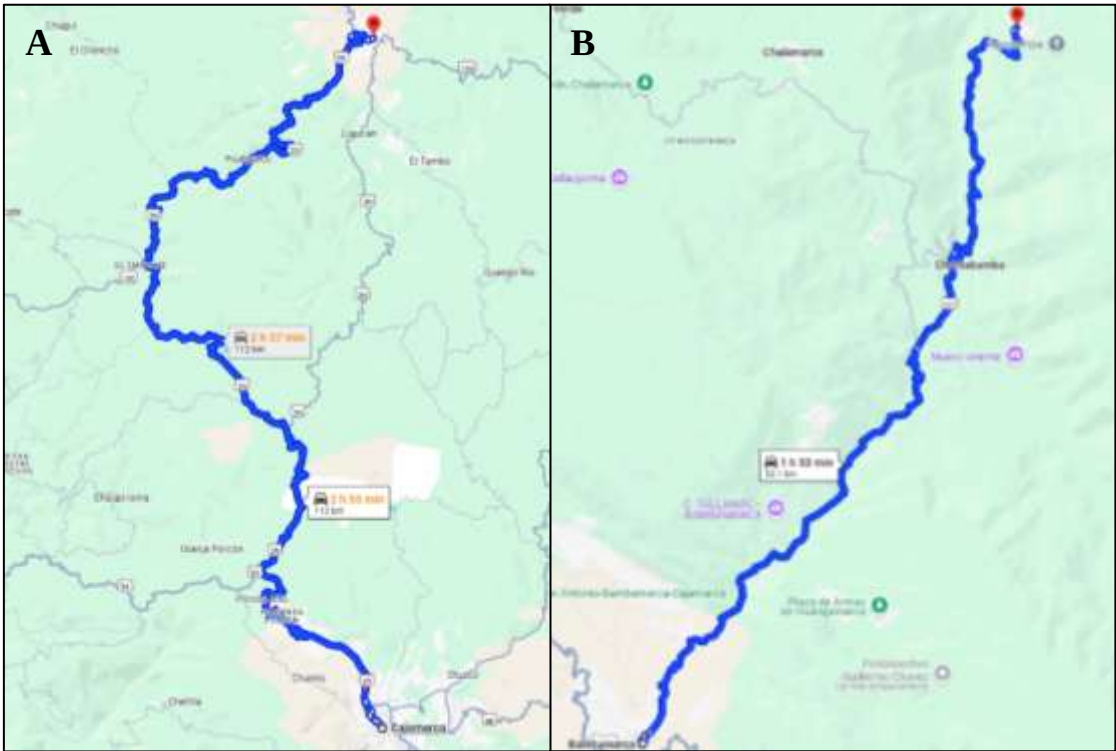
Datos de accesibilidad a la zona de estudio

ORIGEN/DESTINO	DISTANCIA (KM.)	TIEMPO (HRS.)	TIPO
Cajamarca – Bambamarca	112 km	2 h 57 min	Asfaltada – Trocha Carrozable
Bambamarca – Paccha	32.1 km	1 h 33 min	Trocha Carrozable
TOTAL	144.1 km	4 h 30 min	

Figura 11

Rutas de accesibilidad.

A: Ruta Cajamarca – Bambamarca. B: Ruta Bambamarca – Paccha.



Nota: Tomado de Google Maps (2025).

3.2. CLIMA Y VEGETACIÓN

3.2.1. Clima

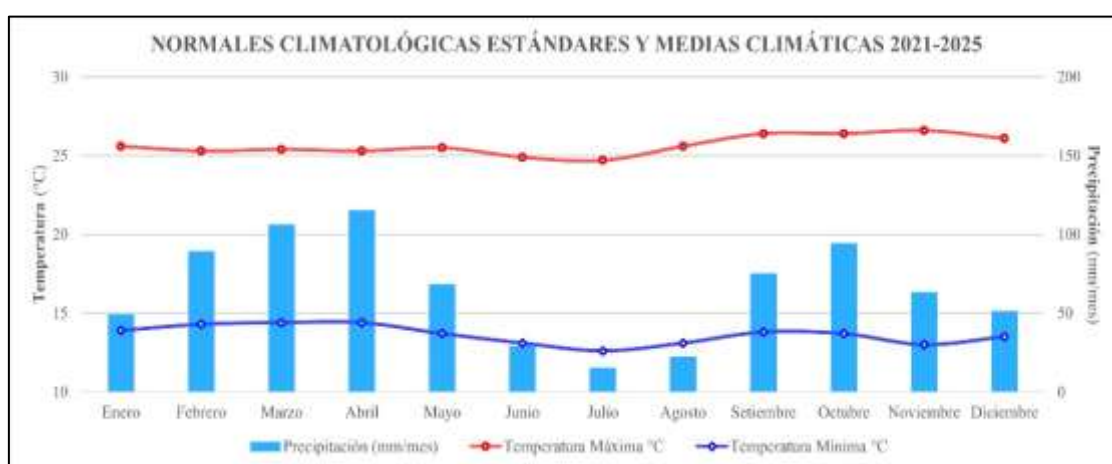
La zona de estudio presenta un clima semiseco, templado y húmedo, este clima contribuye a procesos de meteorización física y química, afectando las propiedades mecánicas de las rocas que presenta la zona de investigación, provocando inestabilidad de taludes o laderas susceptibles.

3.2.2. Precipitación

La precipitación de la zona de investigación presenta una estacionalidad marcada, con un máximo durante los meses de febrero a abril, con valores que superan los 115 mm/mes en el mes de abril, seguido de marzo con 106 mm/mes y febrero con 89 mm/mes. En contraste, la época seca ocurre entre junio y agosto, con precipitaciones menores a 15 mm/mes, teniendo precipitaciones esporádicas o escasas. Teniendo como promedio anual de precipitación de 776 mm/año.

Figura 12

Datos de precipitación entre los años 2021 y 2025



Nota: Tomado de SENAMHI (2025)

3.2.3. Temperatura

La temperatura media anual en la zona de estudio es de aproximadamente 19.8°C, con mínimas cercanas a 12.6°C durante el mes de julio y máximas cercanas a los 26.6°C en noviembre.

3.2.4. Vegetación

La zona de estudio se caracteriza por tener una cobertura dominada por pajonales altoandinos y matorrales, con presencia de relictos de bosques nativos y cultivos tradicionales. En zonas altas predominan gramíneas, mientras que en laderas se encuentran especies como chilca y retama.

3.3. PROCEDIMIENTOS

3.3.1. Tipo, Diseño y Método de la Investigación

La investigación presenta las siguientes características:

Tabla 12

Tipo, diseño y método de investigación

Clasificación	Tipo de investigación
Nivel	Descriptivo
Diseño	No experimental de corte transversal
Naturaleza	Cuantitativo
Finalidad	Aplicada

3.3.2. Población de Estudio

La roca caliza que se encuentra en el talud ubicado en la progresiva Km 28+170 hasta Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha, en Cajamarca.

3.3.3. Muestra

Puntos de control nombradas como Estación N° 01, 02 y 03, taludes, rocas de cada estación.

3.3.4. Unidad de Análisis

Probabilidad de rotura planar, rotura en cuña, valor de RMR, valor de GSI, RQD y factor de seguridad.

3.3.5. Definición de Variables

Tabla 13

Variables dependientes e independientes

Variables Independientes	Variables Dependientes
Enmallados para la estabilización del talud de corte.	Factor de seguridad. (Estable ≥ 1.0)

3.3.6. Técnicas

Para el desarrollo de la investigación se aplicaron diversas técnicas de recolección de datos, tanto documentales como de campo, orientadas a obtener información precisa sobre las condiciones geológicas y geotécnicas del área de estudio.

En primer lugar, se realizó una revisión documental, mediante la recopilación de información secundaria proveniente de mapas geológicos elaborados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), así como de otras Notas bibliográficas y técnicas relacionadas con la zona de investigación. Esta técnica permitió contar con una base de referencia sobre las características geológicas y estructurales del macizo rocoso. De manera complementaria, se llevaron a cabo registros fotográficos en campo, con el fin de documentar visualmente las condiciones del terreno, identificar rasgos de inestabilidad y respaldar la interpretación de los datos obtenidos.

Asimismo, para la caracterización geomecánica se utilizó el sistema GSI (Geological Strength Index) y RMR (Rock Mass Rating), considerado adecuado para describir las propiedades del macizo rocoso predominante en el área de estudio. Este índice sirvió como insumo para la posterior determinación de parámetros de resistencia y el análisis geotécnico correspondiente. Finalmente, los datos recolectados fueron integrados y procesados para el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en los taludes evaluados, lo que permitió establecer la técnica de estabilización más pertinente, determinándose el uso de enmallados en el talud de corte.

3.4. GEOLOGÍA

Se recopiló la información geológica existente en la cartografía realizada por INGGMMET a escala 1:50000, luego se realizó la respectiva descripción de las características litológicas de la formación que se encuentra en el tramo estudiado. Posteriormente se realizó un mapa geológico, con los datos recolectados en campo.

3.4.1. Formación Santa (Ki-Sa)

La Formación Santa presenta una dirección noroeste – sureste, teniendo un espesor aproximadamente entre 400m a 500m. Dentro de su composición se ubican una intercalación de lutitas con calizas margosas.

Figura 13

Macizo rocoso de la Formación Santa (Ki-sa)



3.5. SISMICIDAD

Según la zonificación sísmica nacional establecida en el Anexo A de la norma E.030, el departamento de Cajamarca se encuentra en la Zona Sísmica 3, lo cual corresponde a un coeficiente sísmico zonal $Z = 0.35$ (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). En cuanto al tipo de suelo, la zona evaluada está conformada por calizas, que presentan fracturamiento superficial y fisuración visible. En base a estas características geomecánicas, el macizo se clasificó como tipo de suelo S2 (roca fracturada o meteorizada). De acuerdo con la Tabla 4 de la norma E.030, esto implica un factor de sitio $S = 1.2$.

Respecto al uso, al tratarse de una zona rural sin infraestructura crítica ni edificaciones sensibles aguas abajo, se adoptó un factor de uso $U = 1$. Además, como el análisis se enfoca en taludes naturales o intervenidos —no en edificaciones estructurales— se consideró un factor de comportamiento sísmico $R = 1.0$, siguiendo criterios técnicos propuestos en estudios de estabilidad de laderas (Hoek et al., 2000). Con estos parámetros, el coeficiente sísmico horizontal se calculó con la siguiente fórmula:

$$k_h = \frac{Z \times S \times U}{R} = \frac{0.35 \times 1.2 \times 1.0}{1.0} = 0.42$$

Asimismo, el coeficiente sísmico vertical se considera como el 50 % del horizontal, como lo permite la E.030 para efectos de modelamiento pseudoestático:

$$k_v = 0.5 \times k_h = 0.21$$

Por tanto, los valores utilizados en el análisis de estabilidad sísmica fueron:

- Coeficiente sísmico horizontal: $k_h=0.42$.
- Coeficiente sísmico vertical: $k_v=0.21$.

Estos valores fueron posteriormente ingresados en el software Slide para evaluar el factor de seguridad bajo condiciones sísmicas.

3.6. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA

3.6.1. Geological Strenght Index (GSI)

3.6.1.1. Estación N° 01

Para el análisis del valor de GSI se va utilizar la siguiente formula:

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

Empezamos con el cálculo de la variable $JCond_{89}$, que tomando en cuenta lo mencionado por Bieniawski en la corrección de 1989, se tiene que tomar en cuenta los siguientes valores:

Tabla 14

Estado de las discontinuidades. Estación N° 01

Estado de las Discontinuidades	Valor
Longitud	3.00 Unidades
Abertura	3.00 Unidades
Rugosidad	2.00 Unidades
Relleno	5.00 Unidades
Alteración	2.00 Unidades

$$JCond_{89} = 3.00 + 3.00 + 2.00 + 5.00 + 2.00$$

$$JCond_{89} = 15.00 \text{ unidades}$$

Continuamos con el cálculo del valor de RQD, a través de la siguiente fórmula:

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

Para esto determinamos el valor de Lambda que se calcula por:

$$\lambda = (\text{N° de discontinuidades}) / (\text{metro})$$

Se calcula valor de lambda:

$$\begin{array}{lll} \text{Longitud} & : & 2.00 \text{ m} \\ \text{N° de discontinuidades} & : & 17 \\ \text{Lambda } (\lambda) & : & 8.50 \end{array}$$

Figura 14

Medida de datos de la estación N° 01



Se calcula valor de RQD

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

$$RQD = 100 * e^{(-0.1(8.50))} * (0.1(8.50) + 1)$$

$$RQD = 79.072$$

Finalmente se calcula el valor de GSI

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

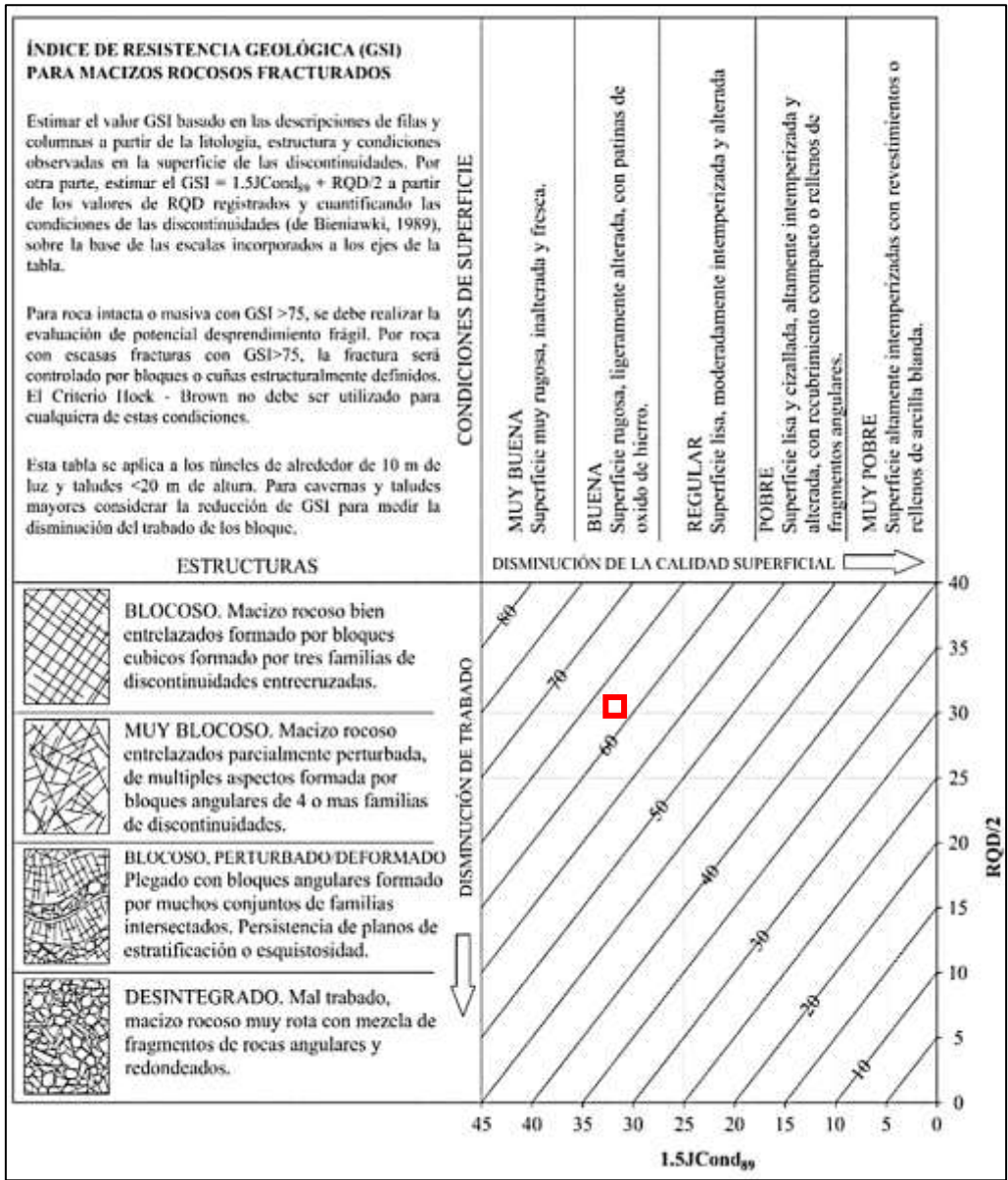
$$GSI = 1.5(15.00) + 79.00/2$$

$$GSI = 62.035$$

$$GSI = 62.00$$

Figura 15

Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 01



Nota: Modificado de Hoek E. et al., 2018.

Figura 16

Estación N° 01 de análisis



3.6.1.2. Estación N° 02

Para el análisis del valor de GSI se va utilizar la siguiente formula:

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

Empezamos con el cálculo de la variable $JCond_{89}$, que tomando en cuenta lo mencionado por Bieniawski en la corrección de 1989, se tiene que tomar en cuenta los siguientes valores:

Tabla 15

Estado de las discontinuidades. Estación N° 02

Estado de las Discontinuidades	Valor
Longitud	3.00 Unidades
Abertura	2.00 Unidades
Rugosidad	4.00 Unidades
Relleno	5.00 Unidades
Alteración	2.00 Unidades

$$JCon_{89} = 3.00 + 2.00 + 4.00 + 5.00 + 2.00$$

$$JCon_{89} = 16.00 \text{ unidades}$$

Continuamos con el cálculo del valor de RQD, a través de la siguiente fórmula:

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

Para esto determinamos el valor de Lambda que se calcula por:

$$\lambda = (\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades}) / (\text{metro})$$

Se calcula valor de lambda:

$$\text{Longitud} : 1.50 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades} : 19$$

$$\text{Lambda } (\lambda) : 12.67$$

Figura 17

Medida de datos de la Estación N° 02



Se calcula valor de RQD

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

$$RQD = 100 * e^{(-0.1(12.67))} * (0.1(12.67) + 1)$$

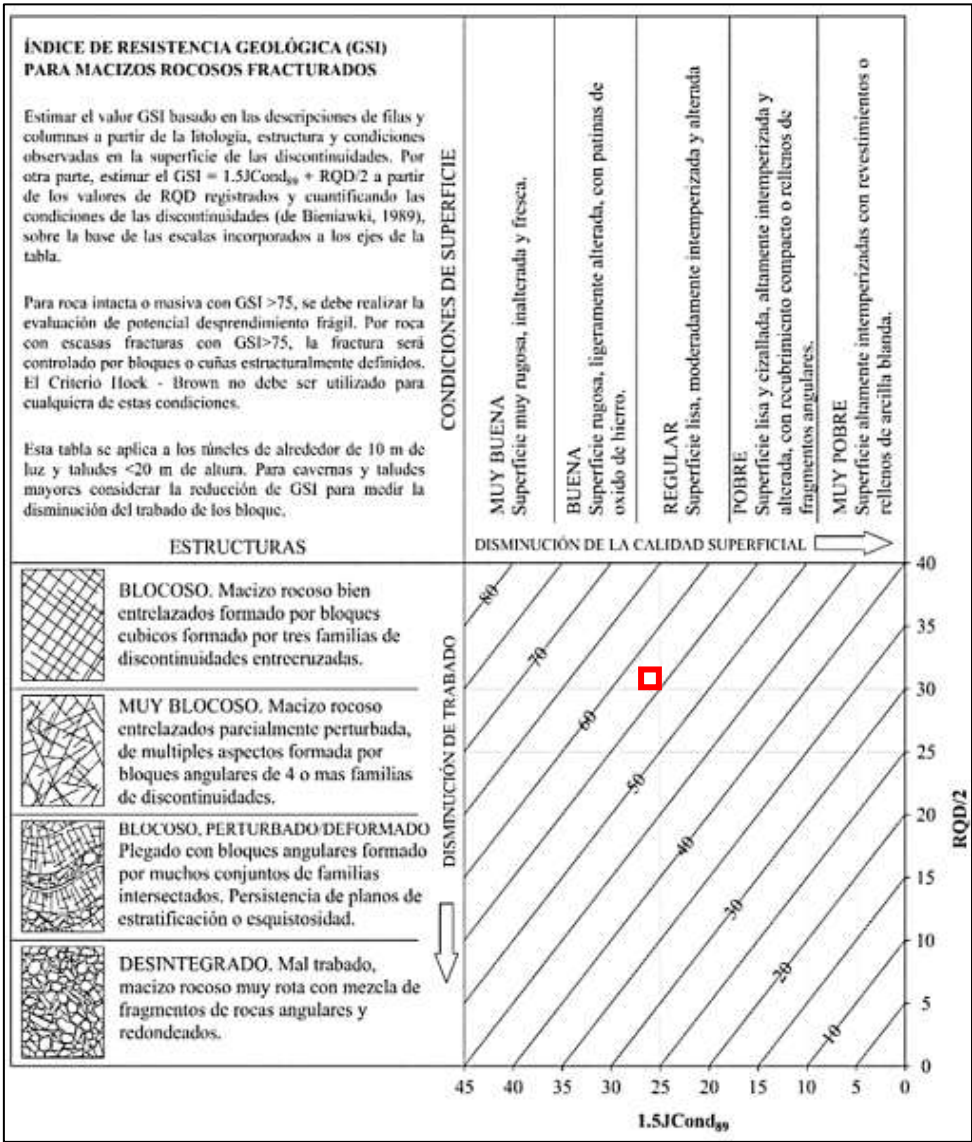
$$RQD = 63.868$$

Finalmente se calcula el valor de GSI

$$\begin{aligned} \text{GSI} &= 1.5J\text{Cond}_{89} + \text{RQD}/2 \\ \text{GSI} &= 1.5(16.00) + 63.868/2 \\ \text{GSI} &= 55.93 \\ \text{GSI} &= 56.00 \end{aligned}$$

Figura 18

Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 02



Nota: Modificado de Hoek E. et al., 2018.

Figura 19

Estación N° 02 de análisis



3.6.1.3. Estación N° 03

Para el análisis del valor de GSI se va utilizar la siguiente formula:

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

Empezamos con el cálculo de la variable $JCond_{89}$, que tomando en cuenta lo mencionado por Bieniawski en la corrección de 1989, se tiene que tomar en cuenta los siguientes valores:

Tabla 16

Estado de las discontinuidades. Estación N° 03

Estado de las Discontinuidades	Valor
Longitud	3.00 Unidades
Abertura	3.00 Unidades
Rugosidad	4.00 Unidades
Relleno	5.00 Unidades
Alteración	2.00 Unidades

$$J_{Cond_{89}} = 3.00 + 3.00 + 4.00 + 5.00 + 2.00$$

$$J_{Cond_{89}} = 17.00 \text{ unidades}$$

Continuamos con el cálculo del valor de RQD, a través de la siguiente fórmula:

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

Para esto determinamos el valor de Lambda que se calcula por:

$$\lambda = (\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades}) / (\text{metro})$$

Se calcula valor de lambda:

$$\text{Longitud} : 1.50 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades} : 20$$

$$\text{Lambda } (\lambda) : 13.33$$

Figura 20

Medida de datos de la Estación N° 03



Se calcula valor de RQD

$$RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (0.1\lambda + 1)$$

$$RQD = 100 * e^{(-0.1(13.33))} * (0.1(13.33) + 1)$$

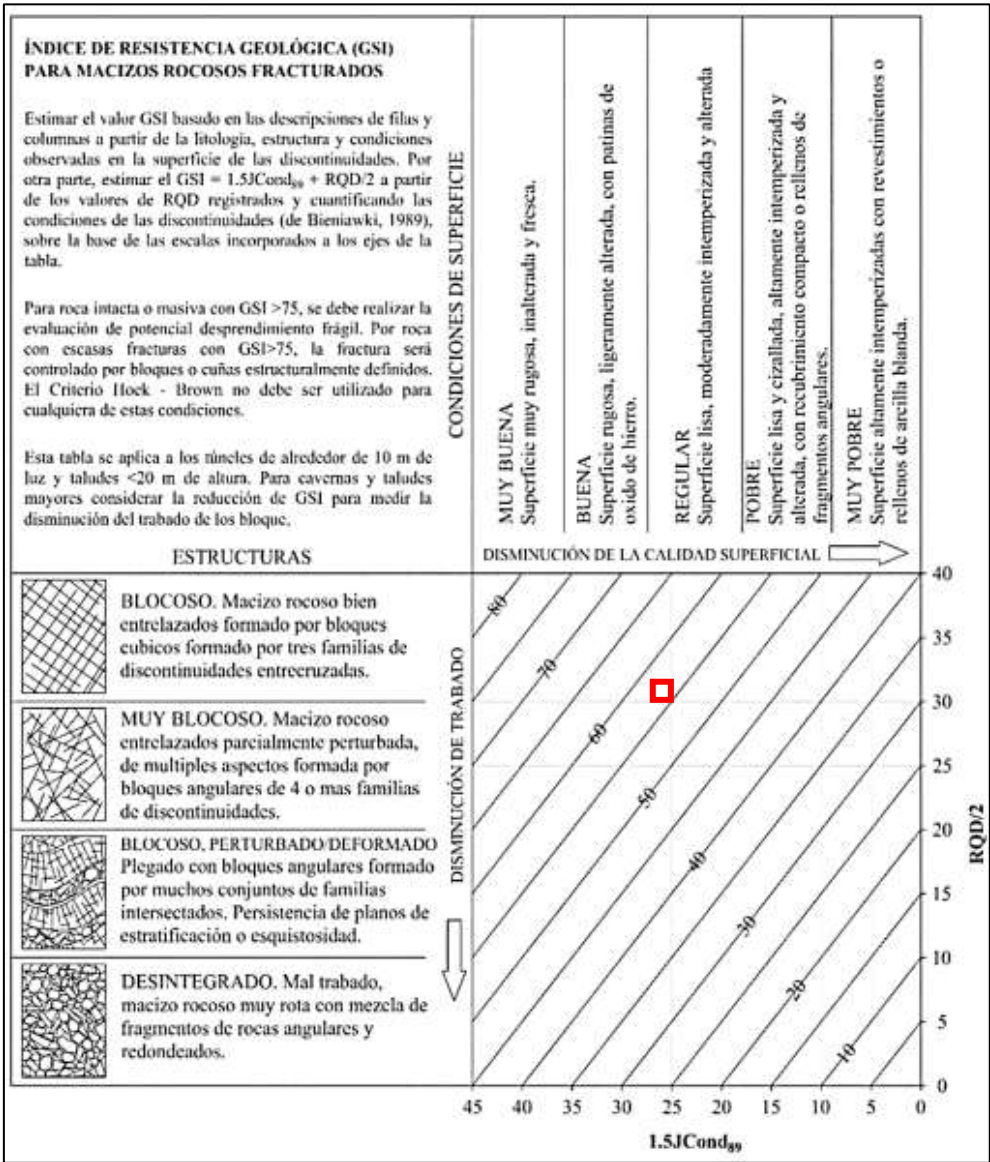
$$RQD = 61.506$$

Finalmente se calcula el valor de GSI

$$\begin{aligned} \text{GSI} &= 1.5J\text{Cond}_{89} + \text{RQD}/2 \\ \text{GSI} &= 1.5(16.00) + 61.506/2 \\ \text{GSI} &= 56.252 \\ \text{GSI} &= 56.00 \end{aligned}$$

Figura 21

Ubicación de valor de GSI en la Estación N° 03



Nota: Modificado de Hoek E. et al., 2018.

Figura 22

Estación N° 03 de análisis



3.6.2. Rock Mass Rating (RMR)

3.6.2.1. Estación N° 01

Se toman en cuenta los siguientes valores para el análisis de la roca según Bienawski, (1989).

- **Resistencia de la roca sana**

En campo se logra observar que la roca sana se puede llegar a romper con 2 a 3 golpes con el martillo geológico lo cual al clasificarlo en la siguiente tabla su valor de Resistencia a la compresión uniaxial en MPa.

Tabla 17

Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial

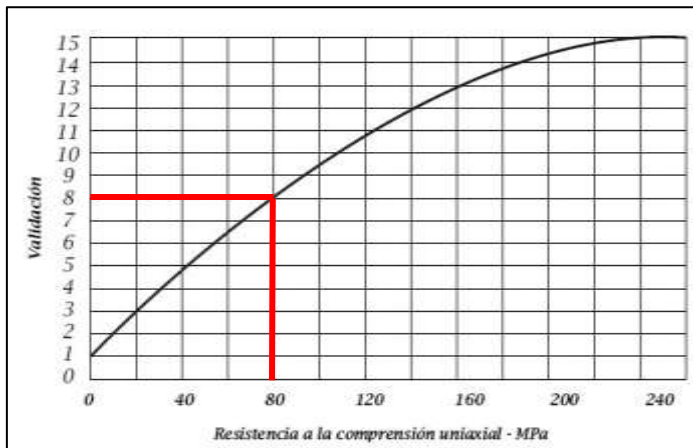
CLASE	RESISTENCIA	RESISTENCIA UNIAxIAL Mpa	ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneis, Granito, Cuarzita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneis, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Siltstones.
R2	Débil	5.0 - 25	**	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del partillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0		Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Nota: Brown, (1981).

Tiene un valor entre 50 – 100 MPa, pero al tomar en cuenta las características de campo se tiene un valor de 80 MPa. Este valor se somete a la siguiente gráfica para su cálculo de puntaje para el valor de RMR.

Figura 23

Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial



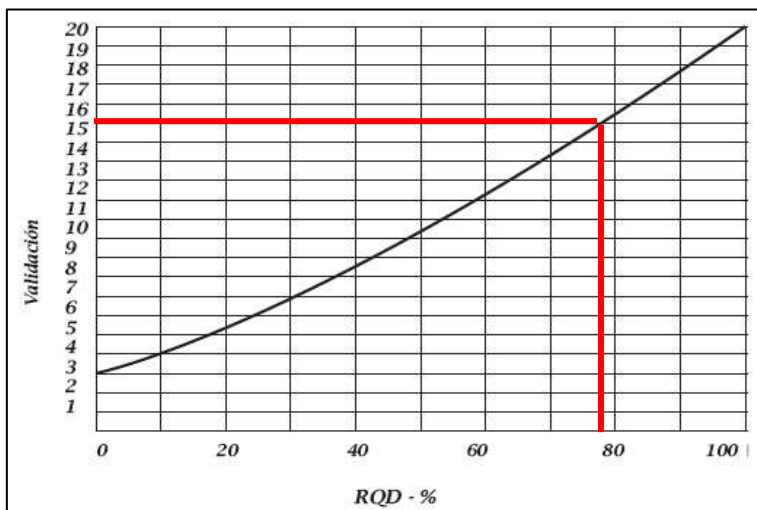
Valoración: 8.

- **Valoración de RQD**

En los cálculos anteriores se obtiene un valor de RQD de 79.072, siendo 79.00 aproximadamente, se somete al siguiente ábaco.

Figura 24

Ábaco de corrección de valor de RQD



Valoración: 16.

Tabla 18

Valoración de las discontinuidades. Estación N° 01

Valoración de las discontinuidades	
Separación de Discontinuidades	Promedio de 0.2 a 0.6 m.
Valoración	9.00 Unidades
Valoración de estado de discontinuidades	
Persistencia	3 a 10 m.
Valoración	3.00 Unidades
Abertura	0.1 a 1.0 mm.
Valoración	3.00 Unidades
Rugosidad	Rugosa
Valoración	3.00 Unidades
Relleno	Arcilloso – Suave
Valoración	5.00 Unidades
Alteración Meteórica	Ligeramente Alterada
Valoración	2.00 Unidades
Valoración Total	15.00 Unidades
Valoración de presencia de agua	
Presencia de Agua	Húmedo
Valoración	10.00 Unidades

Figura 25

Medida de rugosidad de la roca en campo de la Estación N° 01



- **Cálculo de puntaje de RMR**

Cálculo de puntaje = 8+16+9+15+10 = 58

Tabla 19

Valor obtenido de RMR y clasificación

CLASE	VALOR RMR	CALIDAD DE ROCA
III	58	Regular

3.6.2.2. Estación N° 02

Se toman en cuenta los siguientes valores para el análisis de la roca según Bienawski, (1989).

- Resistencia de la roca sana**

En campo se logra observar que la roca sana se puede llegar a romper con 3 a 4 golpes con el martillo geológico lo cual al clasificarlo en la siguiente tabla su valor de Resistencia a la compresión uniaxial en MPa.

Tabla 20

Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial

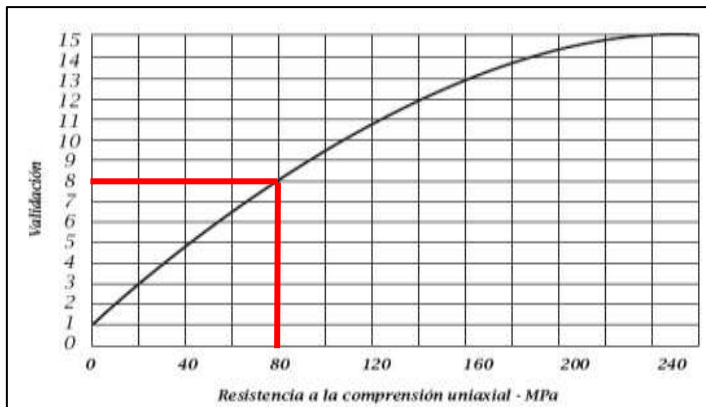
CLASE	RESISTENCIA	RESISTENCIA UNIAxIAL Mpa	ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneis, Granito, Curacita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneis, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Siltstones.
R2	Débil	5.0 - 25	**	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0		Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Nota: Brown, (1981).

Tiene un valor entre 50 – 100 MPa, pero al tomar en cuenta las características de campo se tiene un valor de 80 MPa. Este valor se somete a la siguiente gráfica para su cálculo de puntaje para el valor de RMR.

Figura 26

Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial



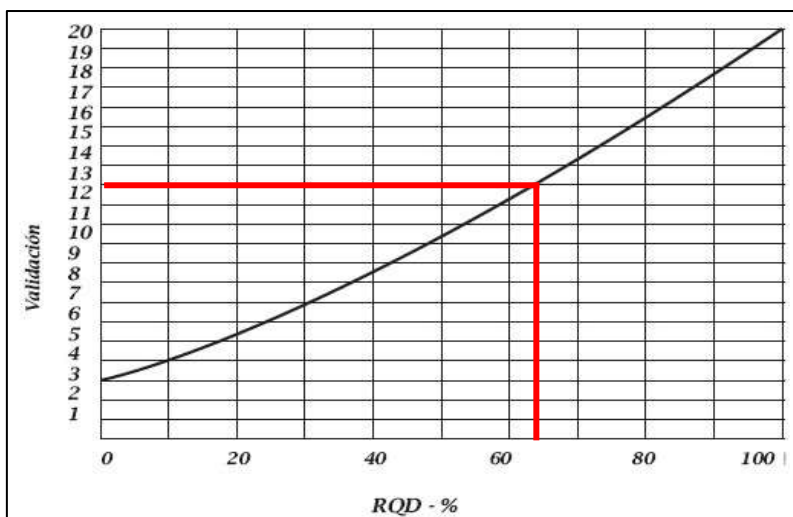
Valoración: 8.

- **Valoración de RQD**

En los calculo anteriores se un valor de RQD de 63.868, siendo 64.00 aproximadamente, se somete al siguiente ábaco.

Figura 27

Ábaco de corrección de valor de RQD



Valoración: 13.

Tabla 21

Valoración de las discontinuidades. Estación N° 02

Valoración de las discontinuidades	
Separación de Discontinuidades	Promedio de 0.2 a 0.6 m.
Valoración	9.00 Unidades
Valoración de estado de discontinuidades	
Persistencia	3 a 10 m.
Valoración	3.00 Unidades
Abertura	0.1 a 1.0 mm.
Valoración	2.00 Unidades
Rugosidad	Lig. Rugosa
Valoración	4.00 Unidades
Relleno	Arcilloso – Suave
Valoración	5.00 Unidades
Alteración Meteórica	Ligeramente Alterada
Valoración	2.00 Unidades
Valoración Total	16.00 Unidades
Valoración de presencia de agua	
Presencia de Agua	Húmedo
Valoración	10.00 Unidades

Figura 28

Medida de rugosidad de la roca en la Estación N° 02



- **Cálculo de puntaje de RMR**

Cálculo de puntaje = 8+13+9+16+10 = 56

Tabla 22

Valor obtenido de RMR y clasificación

CLASE	VALOR RMR	CALIDAD DE ROCA
III	56	Regular

3.6.2.3. Estación N° 03

Se toman en cuenta los siguientes valores para el análisis de la roca según Bienawski, (1989).

- Resistencia de la roca sana**

En campo se logra observar que la roca sana se puede llegar a romper con 3 a 4 golpes con el martillo geológico lo cual al clasificarlo en la siguiente tabla su valor de Resistencia a la compresión uniaxial en MPa.

Tabla 23

Clasificación de la roca, valor de resistencia uniaxial

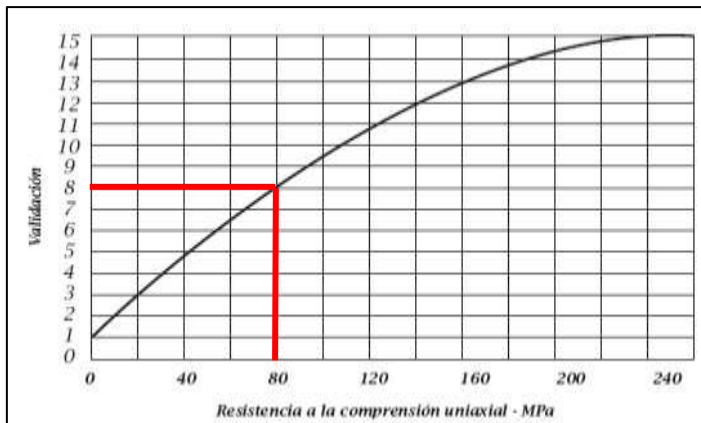
CLASE	RESISTENCIA	RESISTENCIA UNIAxIAL Mpa	ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneis, Granito, Curacita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneis, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Siltstones.
R2	Débil	5.0 - 25	**	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del partillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0		Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Nota: Brown, (1981).

Tiene un valor entre 50 – 100 MPa, pero al tomar en cuenta las características de campo se tiene un valor de 80 MPa. Este valor se somete a la siguiente gráfica para su cálculo de puntaje para el valor de RMR.

Figura 29

Ábaco de corrección de valor para la compresión uniaxial



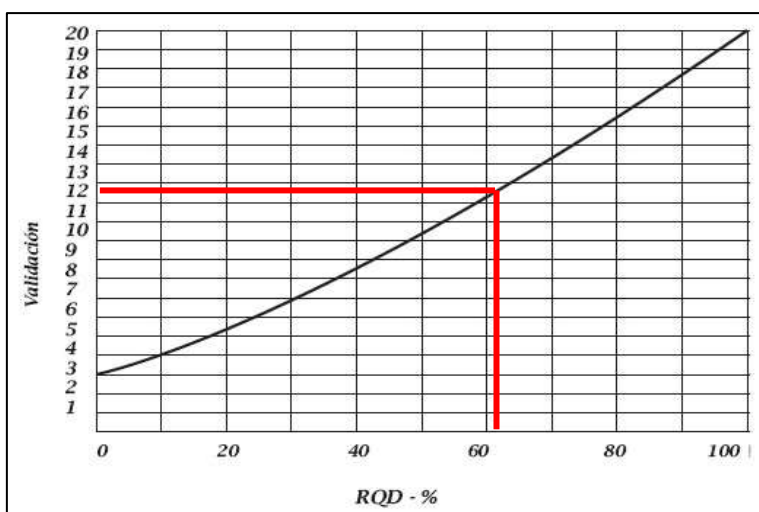
Valoración: 8.

- **Valoración de RQD**

En los calculo anteriores se un valor de RQD de 61.506, siendo 62.00 aproximadamente, se somete al siguiente ábaco.

Figura 30

Ábaco de corrección de valor de RQD



Valoración: 12.5

Tabla 24

Valoración de las discontinuidades. Estación N° 03

Valoración de las discontinuidades	
Separación de Discontinuidades	Promedio de 0.2 a 0.6 m.
Valoración	9.00 Unidades
Valoración de estado de discontinuidades	
Persistencia	3 a 10 m.
Valoración	3.00 Unidades
Abertura	0.1 a 1.0 mm.
Valoración	3.00 Unidades
Rugosidad	Lig. Rugosa
Valoración	4.00 Unidades
Relleno	Arcilloso – Suave
Valoración	5.00 Unidades
Alteración Meteórica	Ligeramente Alterada
Valoración	2.00 Unidades
Valoración Total	17.00 Unidades
Valoración de presencia de agua	
Presencia de Agua	Húmedo
Valoración	10.00 Unidades

Figura 31

Medida de datos de rugosidad Estación N° 03



- **Cálculo de puntaje de RMR**

Cálculo de puntaje = $8+12.5+9+17+10 = 56.5 = 57$

Tabla 25

Valor obtenido de RMR y clasificación

CLASE	VALOR RMR	CALIDAD DE ROCA
III	57	Regular

3.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

3.7.1. Análisis de Esfuerzos – RocData

Para poder empezar con el análisis de estabilidad, se utilizó el software de RocData con el objetivo de evaluar la resistencia al corte de las discontinuidades y del macizo rocoso, según el criterio de Hoek & Brown y Mohr & Coulomb. Este análisis permite determinar los parámetros de resistencia cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ), fundamentales para los estudios de estabilidad de taludes. Los datos introducidos en RocData provienen del levantamiento geotécnico de campo, donde se han clasificado los macizos rocosos empleando el RMR y el GSI (Geological Strength Index).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del procesamiento en RocData, los cuales serán utilizados en la evaluación de la estabilidad de taludes del sector de estudio.

3.7.1.1. Estación N° 01

En la estación N° 01 se tomó en cuenta los siguientes valores para ingresar al software:

Tabla 26

Valores de campo para software RocData. Estación N° 01

Resistencia a compresión uniaxial	80 Mpa
Valor de GSI	62
Altura del Talud	10 m
Peso específico de la roca caliza	0.023 kN/m ³

Se obtuvieron los siguientes resultados que nos permitirá el análisis en el software Slide para el cálculo de su factor de seguridad:

Tabla 27

Valores obtenidos RocData. Estación N° 01

mb (resistencia instantánea del macizo rocoso)	0.663
s (relación entre cohesión e interconexión)	0.0018
a (forma de envolvente del macizo rocoso)	0.502

Los valores obtenidos indican una roca moderadamente competente. El valor de mb (parámetro de resistencia instantánea del macizo) es relativamente alto, lo que implica que el macizo retiene buena parte de la resistencia del material intacto. El parámetro s, aunque bajo, sigue mostrando cierta cohesión estructural entre las discontinuidades. El valor de a cercano a 0.5 indica un comportamiento estándar del macizo, dentro del rango esperado para rocas moderadamente fracturadas.

3.7.1.2. Estación N° 02

En la estación N° 02 se tomó en cuenta los siguientes valores para ingresar al software:

Tabla 28

Valores de campo para software RocData. Estación N° 02

Resistencia a compresión uniaxial	80 Mpa
Valor de GSI	56
Altura del Talud	12 m
Peso específico de la roca caliza	0.023 kN/m ³

Se obtuvieron los siguientes resultados que nos permitirá el análisis en el software Slide para el cálculo de su factor de seguridad:

Tabla 29

Valores obtenidos RocData. Estación N° 02

mb (resistencia instantánea del macizo rocoso)	0.432
s (relación entre cohesión e interconexión)	0.0007
a (forma de envolvente del macizo rocoso)	0.504

En este caso, el valor de m_b disminuye, lo que refleja un mayor grado de fracturamiento o alteración del macizo. La caída de s a 0.0007 sugiere una pérdida de resistencia por debilitamiento estructural (mayor número de discontinuidades, menor cohesión interna). El parámetro a permanecer estable, lo que indica que la forma de la envolvente de falla no ha cambiado significativamente, aunque el macizo ha perdido rigidez.

3.7.1.3. Estación N° 03

En la estación N° 03 se tomó en cuenta los siguientes valores para ingresar al software:

Tabla 30

Valores de campo para software RocData. Estación N° 03

Resistencia a compresión uniaxial	80 Mpa
Valor de GSI	56
Altura del Talud	16 m
Peso específico de la roca caliza	0.023 kN/m ³

Se obtuvieron los siguientes resultados que nos permitirá el análisis en el software Slide para el cálculo de su factor de seguridad:

Tabla 31

Valores obtenidos RocData. Estación N° 03

m_b (resistencia instantánea del macizo rocoso)	0.432
s (relación entre cohesión e interconexión)	0.0007
a (forma de envolvente del macizo rocoso)	0.504

Los valores obtenidos en esta estación muestran que el macizo rocoso presenta un nivel moderado de alteración estructural, con una resistencia reducida (m_b bajo) y muy poca cohesión interna (s cercano a cero). A pesar de ello, el parámetro a indica que la evolución del fallo sigue un patrón típico, lo cual permite aplicar con fiabilidad los modelos de resistencia de Hoek & Brown en análisis de estabilidad.

3.7.2. Análisis de Falla en Roca – Dips

Con el objetivo de caracterizar la orientación y distribución de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, se empleó el software Dips, desarrollado por Rocscience. Esta herramienta permite representar y analizar datos estructurales mediante diagramas estereográficos, facilitando la interpretación de planos de fractura, diaclasas, foliaciones y otras estructuras relevantes en estudios geotécnicos.

3.7.2.1. Estación N° 01

En la estación E1 se registraron las siguientes orientaciones estructurales expresadas en formato Dip Direction/Dip:

Tabla 32

Orientación de las diaclasas. Estación N° 01

Tipo de diaclasa	Familia de diaclasa	Dip Direction	Dip
Estratificación	E	324°	54°
Diaclasas 1	D1	223°	56°
Diaclasas 2	D2	206°	68°
Diaclasas 3	D3	284°	73°
Orientación del talud	Talud	52°	85°

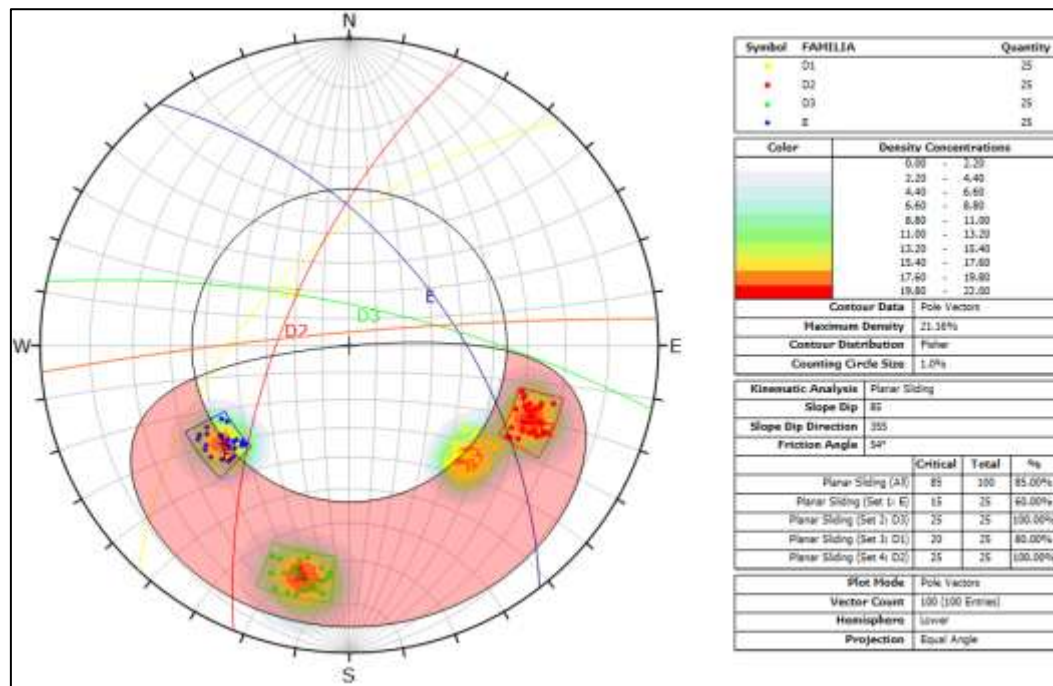
Figura 32

Toma de datos de Dip y Dip Direction Estación N° 01



Figura 33

Análisis de rotura planar, software Dips

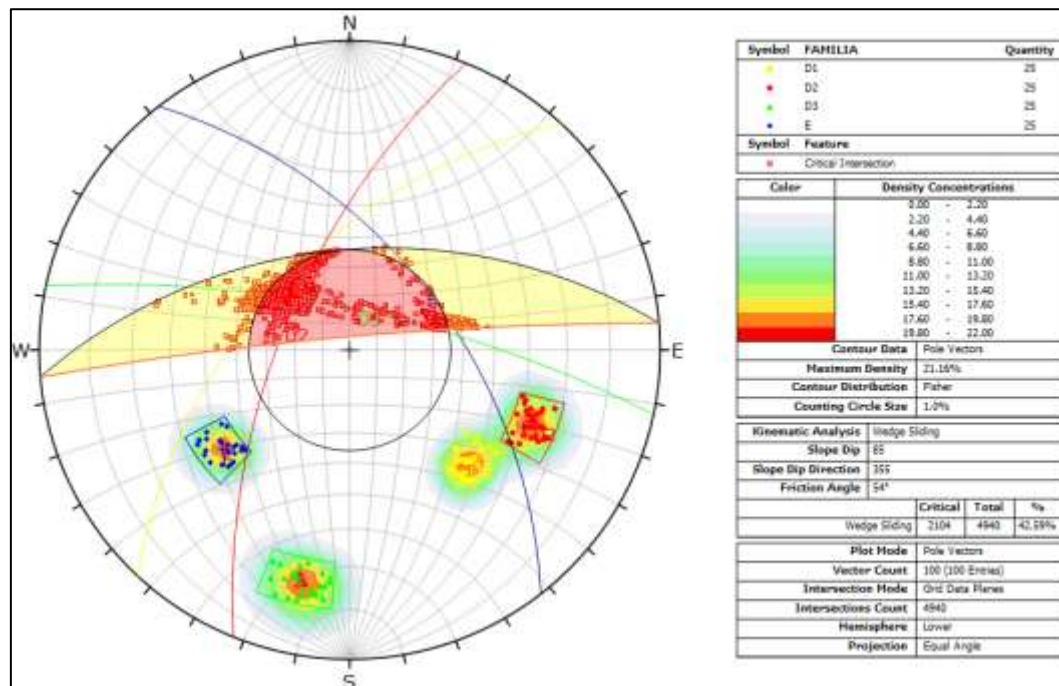


El análisis con el software Dips mostró que varias de estas superficies presentan condiciones geométricas favorables para la rotura planar, es decir, que los planos de discontinuidad son aproximadamente paralelos al rumbo del talud y con un buzamiento inferior al del mismo, pero mayor que el ángulo de fricción. Los porcentajes obtenidos fueron:

- Estratificación (E): 60%
- Diaclasas D1: 80%
- Diaclasas D2: 100%
- Diaclasas D3: 100%

Figura 34

Análisis de rotura en cuña, software Dips



El análisis de intersección entre los planos D1 y D2 permitió identificar la posible formación de cuñas inestables, al presentar líneas de intersección con rumbo y buzamiento comparables al del talud. Según el software Dips, el porcentaje de rotura en cuña es de 42.59%, lo que indica un riesgo moderado.

3.7.2.2. Estación N° 02

En la estación E2 se analizaron tres superficies estructurales representadas por sus valores en formato Dip Direction/Dip, obtenidos mediante mediciones de campo:

Tabla 33

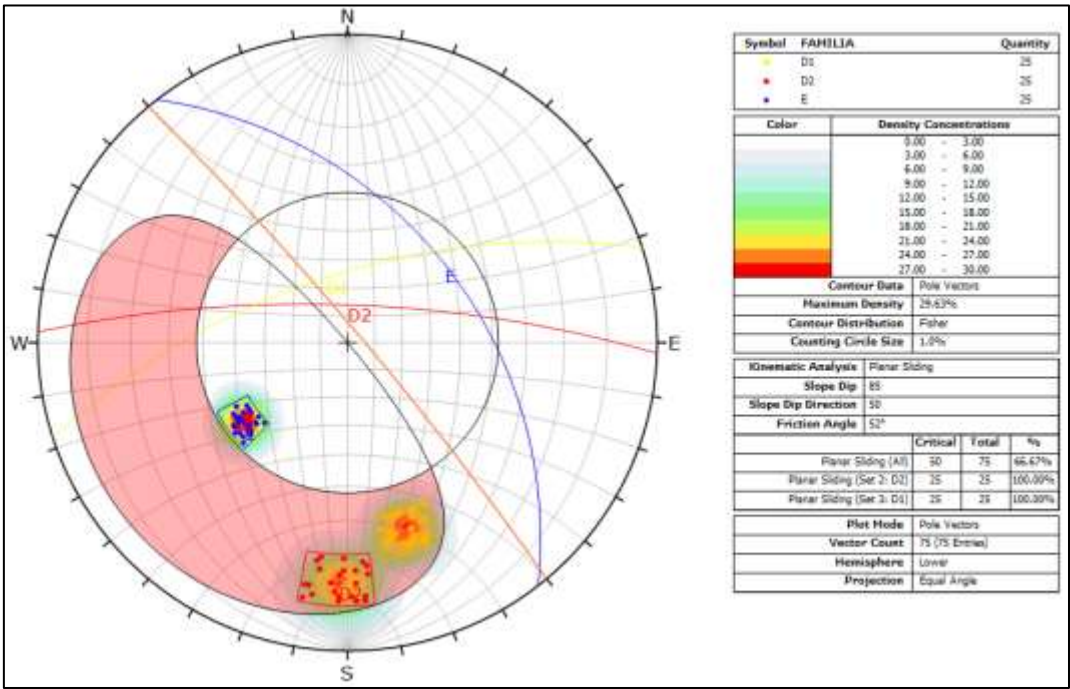
Orientación de las diaclasas. Estación N° 02

Tipo de diaclasa	Familia de diaclasa	Dip Direction	Dip
Estratificación	E	325°	46°
Diaclasas 1	D1	256°	56°
Diaclasas 2	D2	274°	65°
Orientación del talud	Talud	50°	85°

Figura 35
 Medida de datos de Dip y Dip Direction Estación N° 02



Figura 36
 Análisis de rotura planar, software Dips

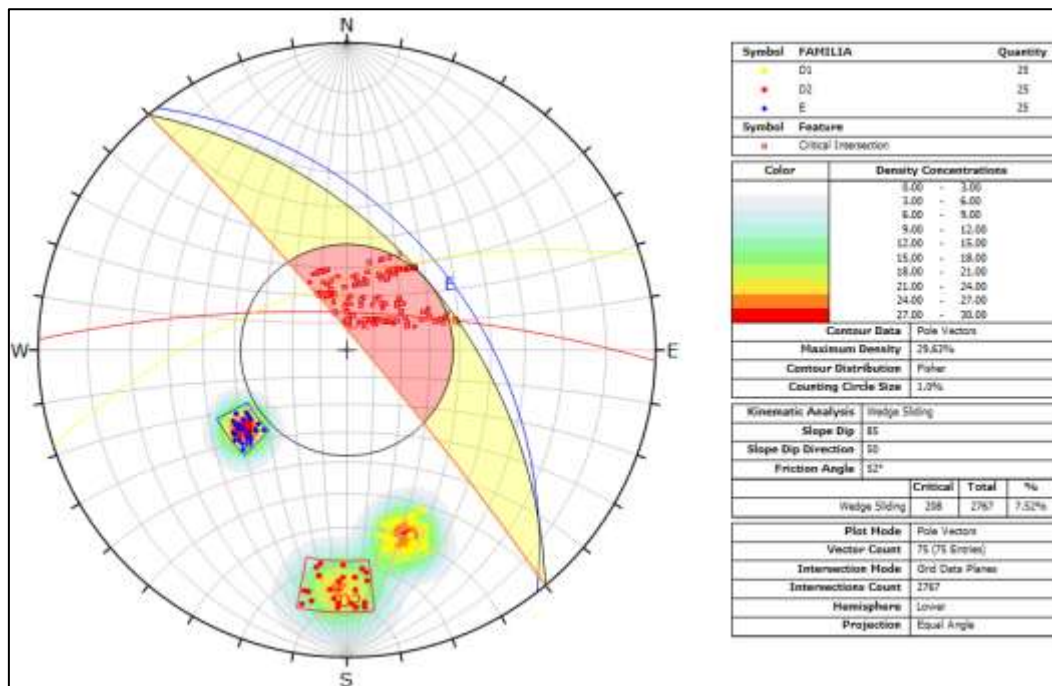


El análisis estereográfico mediante Dips reveló que las diaclasas D1 y D2 presentan una alta compatibilidad geométrica con la pendiente del talud, lo que genera condiciones propicias para rotura planar. Esto se ve reflejado en los resultados:

- Rotura planar del 100% para D1 y D2.

Figura 37

Análisis de rotura en cuña, software Dips



Aunque existe intersección entre las superficies D1 y D2, el análisis arrojó un porcentaje de rotura en cuña de solo 7.52%. Esto indica que la geometría resultante de las intersecciones no favorece la formación de cuñas inestables, o que estas están limitadas a sectores muy puntuales. El mecanismo de cuña no representa una amenaza significativa en esta estación.

3.7.2.3. Estación N° 03

Para la estación E3 se registraron las siguientes orientaciones estructurales en formato Dip Direction/Dip:

Tabla 34

Orientación de las diaclasas. Estación N° 03

Tipo de diaclasa	Familia de diaclasa	Dip Direction	Dip
Estratificación	E	320°	45°
Diaclasas 1	D1	256°	62°
Diaclasas 2	D2	274°	74°
Orientación del talud	Talud	50°	85°

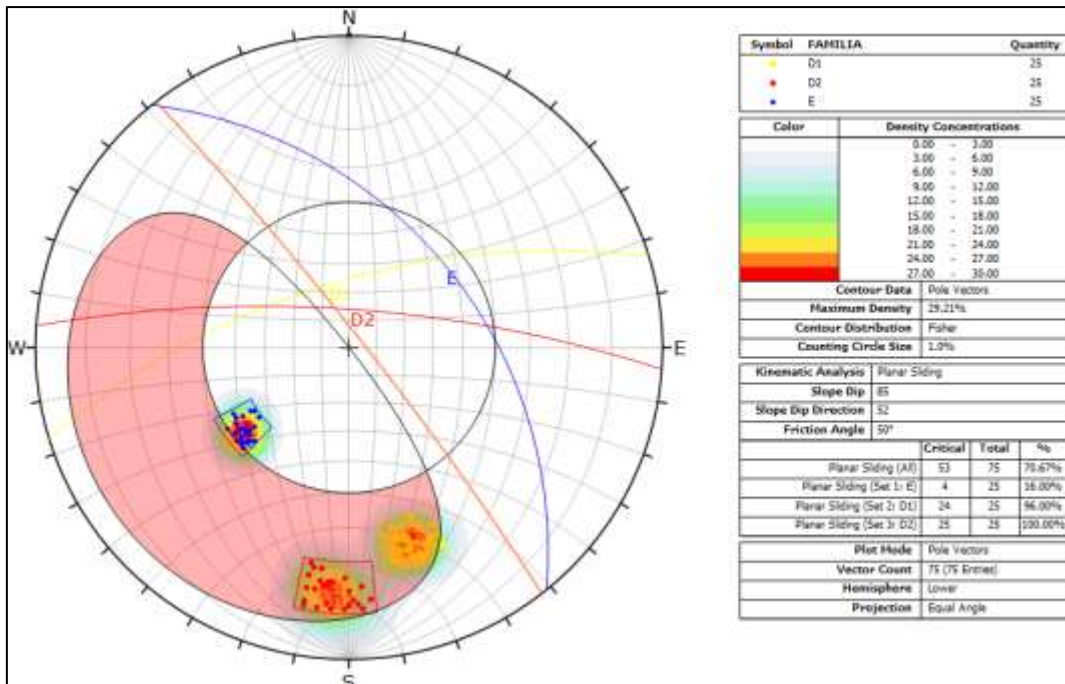
Figura 38

Medidas de datos de Dip y Dip Direction en la Estación N° 03



Figura 39

Análisis de rotura planar, software Dips



Los resultados de Dips indican lo siguiente en cuanto a rotura planar:

- Estratificación (E): 16%
- Diaclasas D1: 96%
- Diaclasas D2: 100%

Tabla 35

Resultados obtenidos

Estación	GSI	RMR	Calidad de Roca	Rotura Planar	Rotura en Cuña
N°01	62	58	Regular	Estratificación (E): 60%	42.59 %
				Diaclasas D1: 80%	
				Diaclasas D2: 100%	
				Diaclasas D3: 100%	
N°02	56	56	Regular	Diaclasas D1: 100%	7.52 %
				Diaclasas D2: 100%	
N°03	56	57	Regular	Estratificación (E): 16%	13.16 %
				Diaclasas D1: 96%	
				Diaclasas D2: 100%	

3.7.3. Análisis de Factor de Seguridad – Slide

Para evaluar la estabilidad de los taludes en la zona de Paccha, se utilizó el software Slide, desarrollado por Rocscience. Este programa permite realizar análisis de equilibrio límite.

El estudio considera tres escenarios de simulación que permiten evaluar el comportamiento del talud en distintas condiciones de carga y saturación:

A. Estado natural (seco):

Simula las condiciones actuales del macizo rocoso sin presencia significativa de agua, considerando únicamente las propiedades mecánicas de la roca intacta o ligeramente meteorizada.

B. Estado con saturación total:

Representa un escenario adverso bajo condiciones de alta precipitación e infiltración, donde se asume que el talud se encuentra totalmente saturado. En este caso, se incorporan las presiones de poros, la reducción del ángulo de fricción y el aumento del peso volumétrico debido al agua.

C. Estado con saturación total y sismicidad:

Se considera el caso más crítico, combinando los efectos de saturación total con la acción sísmica. Para este escenario se introdujeron los coeficientes pseudoestáticos obtenidos conforme a la Norma Técnica Peruana E.030, con valores de:

- Coeficiente sísmico horizontal = 0.42
- Coeficiente sísmico vertical = 0.21

Para todos los casos, se utilizó el método de Spencer, el cual proporciona una solución más rigurosa del equilibrio límite al satisfacer simultáneamente las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos. Este método es especialmente recomendable para taludes con condiciones complejas, como presencia de agua, carga sísmica o materiales heterogéneos.

3.7.3.1. Sin Sostenimiento

3.7.3.1.1. Estación N° 01

Para la estación E1 se evaluaron tres condiciones de carga: estado natural, estado con saturación total, y estado con saturación total más sismicidad. Los factores de seguridad obtenidos en Slide, utilizando el método de Spencer, fueron los siguientes:

Tabla 36

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.234
Estado con saturación total	0.874
Saturación total + sismicidad	0.683

En ausencia de sostenimiento, el talud presenta un comportamiento estable únicamente en condición natural. Sin embargo, ante saturación e influencia sísmica, el

factor de seguridad cae por debajo del valor mínimo recomendado ($F.S. < 1.0$), lo cual evidencia una condición crítica de inestabilidad.

3.7.3.1.2. Estación N° 02

Para la estación E2 se evaluaron tres condiciones de carga: estado natural, estado con saturación total, y estado con saturación total más sismicidad. Los factores de seguridad obtenidos en Slide, utilizando el método de Spencer, fueron los siguientes:

Tabla 37

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.311
Estado con saturación total	0.816
Saturación total + sismicidad	0.610

Aunque el talud presenta una condición aceptable en estado seco, los factores de seguridad descienden notablemente en presencia de agua y carga sísmica, alcanzando niveles inestables (<1.0).

3.7.3.1.3. Estación N° 03

Para la estación E3 se evaluaron tres condiciones de carga: estado natural, estado con saturación total, y estado con saturación total más sismicidad. Los factores de seguridad obtenidos en Slide, utilizando el método de Spencer, fueron los siguientes:

Tabla 38

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.316
Estado con saturación total	0.945
Saturación total + sismicidad	0.547

Esta estación presentó el comportamiento más crítico en el escenario combinado de saturación y sismicidad, con un F.S. inferior a 0.6, indicando una alta probabilidad de falla si no se aplican medidas de estabilización. En resumen, de los factores de seguridad se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 39

Factor de seguridad sin sostenimiento

Estación	Natural	Saturado	Saturado + Sismicidad
N°01	1.234	0.874	0.683
N°02	1.311	0.816	0.610
N°03	1.316	0.945	0.547

3.7.3.2. Con Sostenimiento

El diseño de sostenimiento implementado en los taludes evaluados responde a la necesidad de mejorar la estabilidad estructural de macizos rocosos conformados por calizas de calidad regular, evaluadas mediante el sistema de clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating). Según Bieniawski (1989), un RMR dentro del rango de 41 a 60 representa una roca de calidad regular, lo que implica la presencia de fracturas, diaclasas espaciadas moderadamente, alteración leve a moderada y resistencia a compresión media. Estas condiciones favorecen el desarrollo de mecanismos de falla superficial como rotura planar y rotura en cuña, tal como se evidenció en el análisis estructural previo mediante el software Dips. Además, los resultados del análisis de estabilidad con Slide indicaron factores de seguridad inferiores a 1.0 en condiciones críticas de saturación y carga sísmica, lo cual confirma la necesidad de una intervención correctiva. Dado el tipo de macizo y la magnitud del riesgo, se optó por un sistema de sostenimiento pasivo compuesto por:

- Malla metálica: con el objetivo de contener bloques sueltos o fragmentos menores que pudieran desprenderse entre los puntos de anclaje, especialmente en zonas de alta fracturación.
- Pernos de anclaje de 2 metros de longitud, instalados cada 2 metros en ambas direcciones, con una capacidad de carga de 100 kN (10.197 Toneladas), por anclaje. Esta configuración está recomendada para rocas con fracturamiento moderado, y permite generar una acción de confinamiento que incrementa la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades más críticas.

El diseño adoptado sigue lineamientos propuestos por autores como Hoek & Bray (1981) y ha sido validado en el modelamiento numérico con Slide, donde se observó un incremento sustancial en los factores de seguridad en los tres escenarios simulados (estado natural, saturado y saturado con sismicidad). Se obtuvieron los siguientes resultados.

3.7.3.2.1. Estación N° 01

El sostenimiento consistió en malla metálica y pernos de 2 m de longitud cada 2 m, con capacidad de carga de 100 kN (10.197 Toneladas), por anclaje. Los resultados muestran una mejora significativa:

Tabla 40

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.514
Estado con saturación total	1.219
Saturación total + sismicidad	1.125

La implementación del sostenimiento permitió incrementar el F.S. por encima del umbral crítico en todos los escenarios, asegurando la estabilidad del talud incluso en condiciones adversas.

3.7.3.2.2. Estación N° 02

El sostenimiento consistió en malla metálica y pernos de 2 m de longitud cada 2 m, con capacidad de carga de 100 kN (10.197 Toneladas), por anclaje. Los resultados muestran una mejora significativa:

Tabla 41

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.461
Estado con saturación total	1.213
Saturación total + sismicidad	1.020

Gracias al refuerzo con malla y pernos de 100 kN (10.197 Toneladas), el F.S. mejora en todos los casos, alcanzando valores mayores a 1.0, incluso bajo condiciones extremas, garantizando así la estabilidad general del talud.

3.7.3.2.3. Estación N° 03

El sostenimiento consistió en malla metálica y pernos de 2 m de longitud cada 2 m, con capacidad de carga de 100 kN (10.197 Toneladas), por anclaje. Los resultados muestran una mejora significativa:

Tabla 42

Valores de Factor de Seguridad

Escenario	Factor de Seguridad (F.S.)
Estado natural	1.472
Estado con saturación total	1.277
Saturación total + sismicidad	1.129

El sostenimiento permitió recuperar la estabilidad incluso en el escenario más exigente, elevando el F.S. a valores aceptables. En este caso, la solución estructural propuesta es esencial para garantizar la integridad del talud. En resumen, de los factores de seguridad se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 43

Factor de seguridad con sostenimiento

Estación	Natural	Saturado	Saturado + Sismicidad
N°01	1.514	1.219	1.125
N°02	1.461	1.213	1.020
N°03	1.472	1.277	1.129

Tabla 44

Factor de Seguridad Sin Sostenimiento y Con Sostenimiento

Estaciones	Estado del Macizo	Sin Sostenimiento		Con sostenimiento	
		F.S.	Estabilidad	F.S.	Estabilidad
Estación N° 01	Natural	1.234	Si	1.514	Si
	Saturado	0.874	No	1.219	Si
	Saturado + Sismicidad	0.683	No	1.125	Si
Estación N° 02	Natural	1.311	Si	1.461	Si
	Saturado	0.816	No	1.213	Si
	Saturado + Sismicidad	0.610	No	1.020	Si
Estación N° 03	Natural	1.316	Si	1.472	Si
	Saturado	0.945	No	1.277	Si
	Saturado + Sismicidad	0.547	No	1.129	Si

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de la presentación de los datos obtenidos a partir del procesamiento en distintos softwares especializados, utilizando información recolectada en campo, se procedió al análisis de resultados en función de los objetivos planteados en la presente investigación.

El objetivo principal fue evaluar la estabilidad del talud de corte mediante el uso de enmallados, en el tramo comprendido entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha. En esta zona, el material geológico corresponde predominantemente a rocas calizas con intercalaciones de lutitas, las cuales se encuentran fracturadas y levemente meteorizadas. Esta meteorización se evidencia por coloraciones rojizas en las discontinuidades, atribuibles a procesos de oxidación de minerales de hierro, posiblemente inducidos por la presencia de agua de escurrimiento superficial o subterráneo.

El análisis integral, considerando las características estructurales, climáticas y geomecánicas del macizo rocoso, permitió comprobar que la implementación del sostenimiento (malla metálica y pernos de anclaje) genera una mejora significativa en la estabilidad del talud. Por esto se obtuvieron los siguientes resultados tomando en cuenta su análisis geomecánico GSI y RMR, como también su análisis posterior en el software Dips para determinar la posibilidad de rotura en cuña y planar, como se observa en la **Tabla 35**.

Esta mejora se manifestó en los tres escenarios evaluados con el software Slide: estado natural, estado con saturación total y estado con saturación total más sismicidad,

obteniéndose en todos los casos factores de seguridad (F.S.) superiores a 1.0 tras la instalación del sistema de sostenimiento.

Un aspecto relevante del análisis es la influencia climática sobre la estabilidad. La zona presenta un clima templado, húmedo y semiárido, lo cual favorece procesos de meteorización física y química que alteran progresivamente las propiedades mecánicas de las rocas. El régimen pluviométrico muestra una estacionalidad marcada, con máximos de precipitación entre febrero y abril, alcanzando valores de 115 mm/mes en abril, 106 mm/mes en marzo y 89 mm/mes en febrero. En contraste, durante la época seca (junio a agosto), las precipitaciones son inferiores a 15 mm/mes, presentando eventos esporádicos o escasos. El promedio anual de precipitación es de aproximadamente 776 mm/año, lo que confirma la necesidad de considerar escenarios de saturación en el análisis de estabilidad de taludes.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Continuando con la discusión de los resultados, se presenta el análisis correspondiente a los tres objetivos específicos planteados en esta investigación.

Para el primer objetivo específico, que consistió en identificar las características geomecánicas del macizo rocoso del talud ubicado entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha, se aplicaron los sistemas de clasificación RMR (Rock Mass Rating) y GSI (Geological Strength Index) en tres estaciones representativas. El material geológico dominante está constituido por rocas calizas con intercalaciones de lutitas, las cuales presentan evidencia de fracturamiento y leve meteorización. Esta condición fue corroborada mediante observaciones de campo y se refleja en las coloraciones rojizas asociadas a la oxidación de minerales de hierro, producto del escurrimiento de agua a través de las discontinuidades.

En cuanto a los resultados obtenidos, la estación N°01 presentó un valor de GSI de 62 y RMR de 58, mientras que las estaciones N°02 y N°03 mostraron valores de GSI de 56 y RMR de 56 y 57, respectivamente. Según la clasificación de Bieniawski, estos valores corresponden a una roca de calidad regular, lo cual implica condiciones estructurales que requieren atención en términos de estabilidad, especialmente en zonas intervenidas o con influencia climática y sísmica. Esto concuerda con lo reportado por Koriawan et al. (2024), quienes demostraron que zonas con bajo RMR, especialmente en macizos hidrotermalmente alterados, presentan una mayor propensión a la inestabilidad. Del mismo modo, Falconí (2017) y Tarrillo (2018) también reportaron condiciones de calidad regular en macizos rocosos a lo largo de la carretera Bambamarca – Paccha, coincidiendo con la presente investigación tanto en ubicación como en las características litológicas predominantes.

Respecto al segundo objetivo específico, orientado a determinar los parámetros que influyen en la estabilidad del talud, se consideraron principalmente dos factores: la precipitación y la sismicidad, ambos relevantes en la zona de estudio. La precipitación anual promedio es de aproximadamente 776 mm, con una clara estacionalidad: los meses de mayor pluviosidad son febrero (89 mm), marzo (106 mm) y abril (115 mm), mientras que el periodo seco abarca de junio a agosto con valores inferiores a 15 mm/mes. Esta variación estacional tiene un impacto directo sobre la saturación del talud, afectando su estabilidad por procesos de meteorización física y química. En cuanto a la sismicidad, se aplicó la normativa peruana E.030, considerando que la zona de estudio se ubica en la Zona Sísmica 3. Se adoptaron los siguientes coeficientes pseudoestáticos: $k_h = 0.42$ (horizontal) y $k_v = 0.21$ (vertical), los cuales fueron incorporados en el modelamiento de estabilidad en condición sísmica.

Adicionalmente, se determinaron los parámetros de resistencia del macizo rocoso mediante el software RocData, utilizando los valores de RMR y GSI previamente obtenidos. Para la estación N°01, se obtuvo $m_b = 0.663$, $s = 0.0018$ y $a = 0.502$. Para las estaciones N°02 y N°03, se obtuvieron valores similares: $m_b = 0.432$, $s = 0.0007$ y $a = 0.504$, como se observan en la **Tabla 35**. Estos parámetros representan la resistencia instantánea, la relación entre cohesión e interconexión y la forma de la envolvente de resistencia, respectivamente, según el criterio de Hoek & Brown modificado. Este resultado guarda relación directa con los hallazgos de Chávez (2024), quien identificó la meteorología, el grado de fracturamiento y la sismicidad como principales detonantes de inestabilidad en taludes en la carretera Socorro - San Gil. Asimismo, estudios como los de Saenz (2017) y Herrera & Solórzano (2020) resaltaron cómo la sismicidad, combinada con características geomecánicas deficientes, puede comprometer la estabilidad de taludes en zonas mineras o rurales. Para completar el análisis, se evaluaron los mecanismos de rotura estructural mediante el software Dips, considerando rotura planar y rotura en cuña. En la estación N°01, se identificó una alta probabilidad de rotura planar (60 % para la estratificación y hasta 100 % para las diaclasas), así como un 42.59 % de probabilidad de rotura en cuña. En la estación N°02, se registró un 100 % de probabilidad de rotura planar para las principales familias de diaclasas, y una probabilidad baja pero existente (7.52 %) de rotura en cuña. Finalmente, en la estación N°03, la rotura planar presentó probabilidades entre 16 % y 100 %, mientras que la rotura en cuña alcanzó un 13.16 %, como se muestran en la **Tabla 35**. Estos resultados evidencian la existencia de condiciones estructurales propensas a la inestabilidad, lo que fundamenta la necesidad de implementar un sistema de sostenimiento adecuado.

Finalmente, para el tercer objetivo específico, que fue determinar el Factor de Seguridad (F.S.) que garantice la estabilidad del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas, se utilizó el software Slide. Este análisis incorporó los parámetros geotécnicos determinados en RocData, así como la geometría del talud y las propiedades del macizo rocoso (roca caliza de calidad regular). Se evaluaron tres escenarios: estado natural (seco), estado con saturación total y estado con saturación total más sismicidad, considerando el método de Spencer para el equilibrio límite. Los resultados se observan en la **Tabla 39**.

Estos valores muestran que, si bien en estado natural la estabilidad es aceptable, bajo condiciones de saturación y carga sísmica el Factor de Seguridad desciende por debajo de 1.0, evidenciando una situación de inestabilidad en los taludes. Esta situación se asemeja a lo reportado por Julca et al. (2021) en su análisis de los taludes de la Costa Verde, donde también se aplicaron distintos métodos de estabilización para mejorar los F.S. por debajo del nivel aceptable.

Como medida de control, se propuso un sistema de sostenimiento compuesto por malla metálica y pernos de anclaje de 2.00 m de longitud, instalados cada 2.00 m, con una capacidad de carga de 100 kN (10.197 Toneladas), por anclaje. Al aplicar este sistema en el modelamiento, se observaron mejoras significativas en los factores de seguridad como se observa en la **Tabla 43**.

Estos resultados confirman que la implementación del sostenimiento propuesto mejora sustancialmente la estabilidad de los taludes, superando el umbral mínimo recomendado de $F.S. = 1.0$ en todos los escenarios. Por tanto, se concluye que el uso de malla y pernos constituye una medida adecuada y efectiva para garantizar la seguridad de los taludes evaluados en la zona de estudio. Coincide con estudios como el de Ortiz (2022), quien implementó mallas de triple torsión ancladas con éxito en un entorno

educativo en Andahuaylas, y Saenz (2017), quien aplicó mallas galvanizadas en Fuerabamba obteniendo factores mayores a 1.5. En todos estos estudios, el sostenimiento anclado demostró ser una medida eficaz en taludes de roca de calidad media a baja.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis general se válida, dado que los resultados obtenidos en el tramo comprendido entre las progresivas Km 28+170 y Km 28+270 de la carretera Bambamarca – Paccha demuestran que la implementación del sistema de estabilización mediante enmallado con pernos de anclaje de 2.00 m y 100 kN influyó positivamente en la estabilidad del talud, incrementando el Factor de Seguridad en un rango aproximado del 50 % al 60 %. En la condición sin sostenimiento, los valores del F.S. por estación fueron: N° 01 — 1.234, 0.874 y 0.683; N° 02 — 1.311, 0.816 y 0.610; N° 03 — 1.316, 0.945 y 0.547, presentándose escenarios críticos con F.S. < 1.0. Tras la aplicación del sistema propuesto, los F.S. ascendieron a: N° 01 — 1.514, 1.219 y 1.125; N° 02 — 1.461, 1.213 y 1.020; N° 03 — 1.472, 1.277 y 1.129, lo que permitió alcanzar valores superiores a 1.3 en condiciones naturales y mayores a 1.1 en escenarios de saturación y sismicidad, validando así la hipótesis planteada para el tramo estudiado.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La litología del talud está conformada predominantemente por calizas con intercalaciones de lutitas de calidad media, con un grado moderado de fracturamiento y ligera meteorización. Los valores obtenidos de RMR oscilaron entre 56 y 58, y de GSI, entre 56 y 62.
- Los parámetros de resistencia del macizo rocoso que influyen en la estabilidad del talud es la disposición desfavorable de las discontinuidades donde se evidenció una alta probabilidad de falla; mediante el software RocData se obtuvo parámetros de resistencia del macizo y mediante el software Dips se reconoció mecanismos de rotura planar y en cuña.
- Se determinó el Factor de Seguridad (F.S.) mediante el método de Spencer empleando el software Slide. Sin sostenimiento, bajo escenarios natural, saturado y sísmico, los resultados fueron menores a 1.0 en los casos más críticos, evidenciando un estado de inestabilidad. Los valores obtenidos fueron: estación N° 01 con 1.234, 0.874 y 0.683; estación N° 02 con 1.311, 0.816 y 0.610; y estación N° 03 con 1.316, 0.945 y 0.547, respectivamente. Tras la implementación del sistema de enmallado con pernos de anclaje de 2.00 m de longitud y 100 kN de capacidad, el Factor de Seguridad se incrementó en todos los escenarios, alcanzando valores superiores a 1.0. Se obtuvieron para la estación N° 01 valores de 1.514, 1.219 y 1.125; para la estación N° 02, 1.461, 1.213 y 1.020; y para la estación N° 03, 1.472, 1.277 y 1.129. lo cual valida la eficacia del sistema propuesto para estabilizar el talud en estudio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fortalecer la investigación mediante estudios geotécnicos complementarios que incluyan ensayos de laboratorio como corte directo, triaxial consolidado-drenado y pruebas de permeabilidad, con el fin de obtener parámetros mecánicos más precisos del macizo rocoso y sus zonas alteradas. Para un seguimiento más completo, se recomienda implementar instrumentación geotécnica in situ, como inclinómetros, piezómetros y celdas de carga en anclajes, lo cual facilitará el monitoreo continuo del comportamiento del talud, especialmente durante la temporada de lluvias y ante eventos sísmicos. Esta información contribuirá a validar los modelos de estabilidad utilizados y permitirá realizar ajustes técnicos en caso de variaciones significativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chávez Cruzado, J. G. (2024).** Análisis Geotécnico de Taludes en Zonas Críticas de la Carretera Socorro - San Gil, Km 104+192 - Km 117+350. Municipio del Socorro, Departamento de Santander, Colombia. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7784>
- Dávila, J. (2011).** Diccionario Geológico. Callao: Arth Grouting S.A.C. Obtenido de https://www.academia.edu/4059077/DICCIONARIO_GEOLOGICO
- Falconí Reyes, A. E. (2017).** Análisis Geotécnico de los Taludes en la Carretera Bambamarca - Paccha entre los Kilómetros 0 a 30, Distrito de Chota, Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1535>
- Galindo Serrano, J. A., & Alcántara Ayala, I. (2015).** Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México. (88), 122-145. México DF: Investigaciones Geográficas. Obtenido de <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/43790>
- González de Vallejo, L. (2004).** Ingeniería Geológica. Madrid. Obtenido de https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA_GEOLOGICA_GONZALES_DE_VALLEJO
- Herrera Carranza, E., & Solórzano Poma, L. W. (2020).** Estabilidad de Taludes del Tajo Abierto Jérica considerando el Macizo Roco Isotrópico y Anisotrópico. 23(46), 37-43. Lima: Revista DInstituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v23i46.17331>

- Hoek & Brown. (2018).** El criterio de falla Hoek & Brown y GSI - edición 2018.
- Huamán Fernández, B. (2024).** Análisis Geológico-Geotécnico para determinar Laderas Inestables en el Distrito de Paccha - Provincia de Chota. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7240>
- Julca Lescano, C. V., Linares Quispe, R. F., & Quinteros Altamirano, E. (2021).** Estabilidad de los Taludes de la Costa Verde Empleando el Método de la Hidrosiembra en el Tramo entre la Calle Colón y la Bajada Malecón Balta del Distrito de Miraflores. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/945d3281-9642-4d7d-b941-083474228ae4/content>
- Koriawan, G., Mawaleda, M., & Pachri, H. (2024).** Slope Stability analysis based on rock mass rating (RMR) method at an open pit mine, east Java, Indonesia. Indonesia: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Obtenido de [10.1088/1755-1315/1422/1/012006](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1422/1/012006)
- Kumar Sharma, A., & Ahirwar, Y. (2024).** Importancia de los Métodos de Estabilización de Taludes. IARJSET. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.17148/IARJSET.2024.11303>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2019).** Norma Técnica E.031 Diseño Sismorresistente. Lima. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-aprueba-la-norma-tecnica-e031-aislamie-decreto-supremo-n-030-2019-vivienda-1823291-2>
- Ortiz Carbajal, R. (2022).** Aplicación de Mallas Triple Torsión Ancladas para Estabilización de Talud Rocoso en Institución Educativa JEM, distrito de

Andahuaylas - 2022. Lima, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/105580>

Ramos Vásquez, A. A. (2017). Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con LS-DYNA y Comparación con Slide. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <https://oa.upm.es/47326/>

Rivera, N. (2022). Estabilidad de Taludes en la Carretera Cruz Blanca – Choten, Cajamarca. Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8700>

Saenz Serpa, A. A. (2017). Análisis para Estabilidad de Taludes en Roca utilizando Mallas Galvanizadas Ancladas, Ciudad Nueva Fuerabamba - Apurímac. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3874>

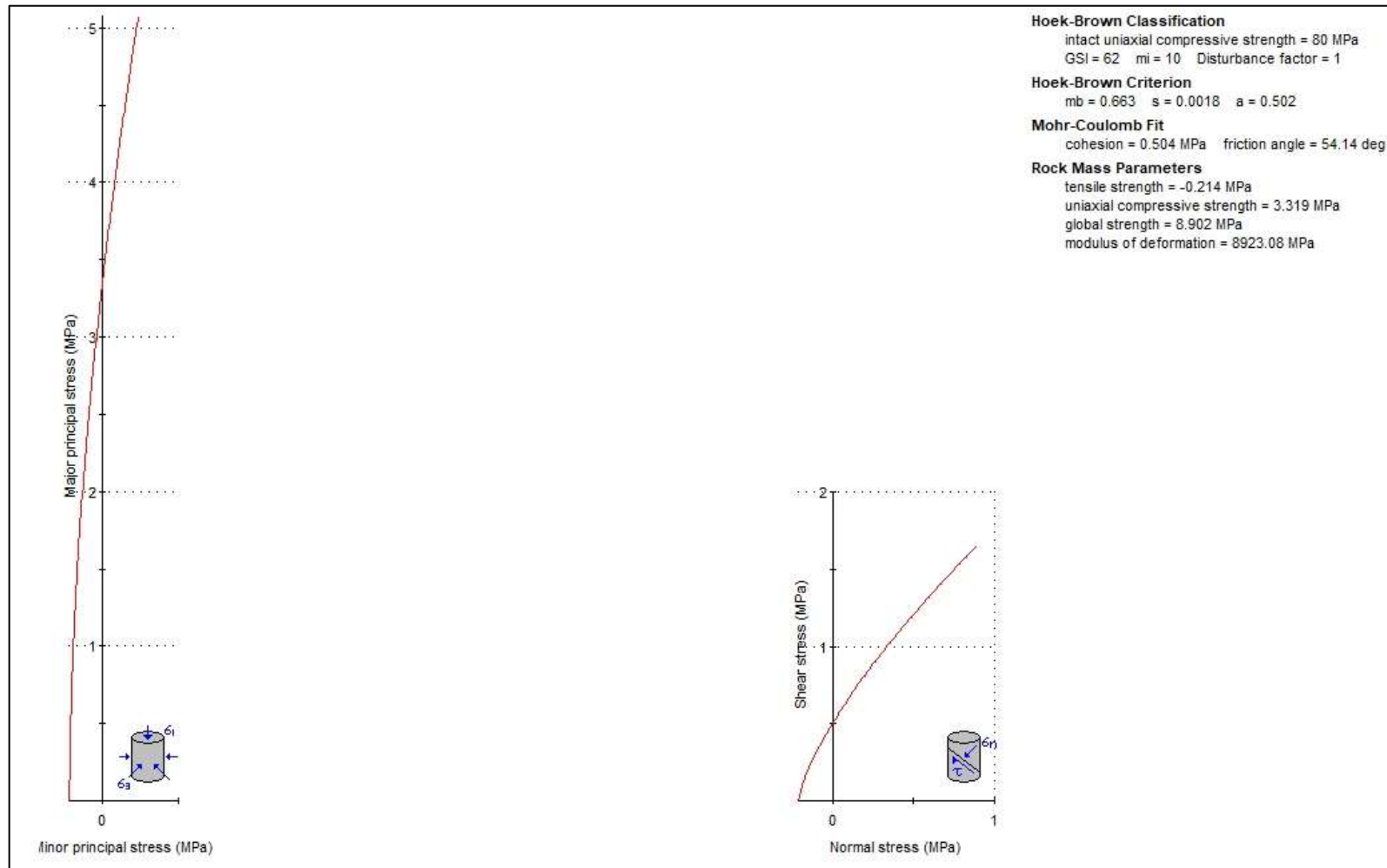
Suarez, J. (2007). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Santander. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales/>

Tarrillo Membrillo, R. A. (2018). Grado de Estabilidad de los Taludes Críticos de la Carretera Baños del Inca - Llacanora. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1995>

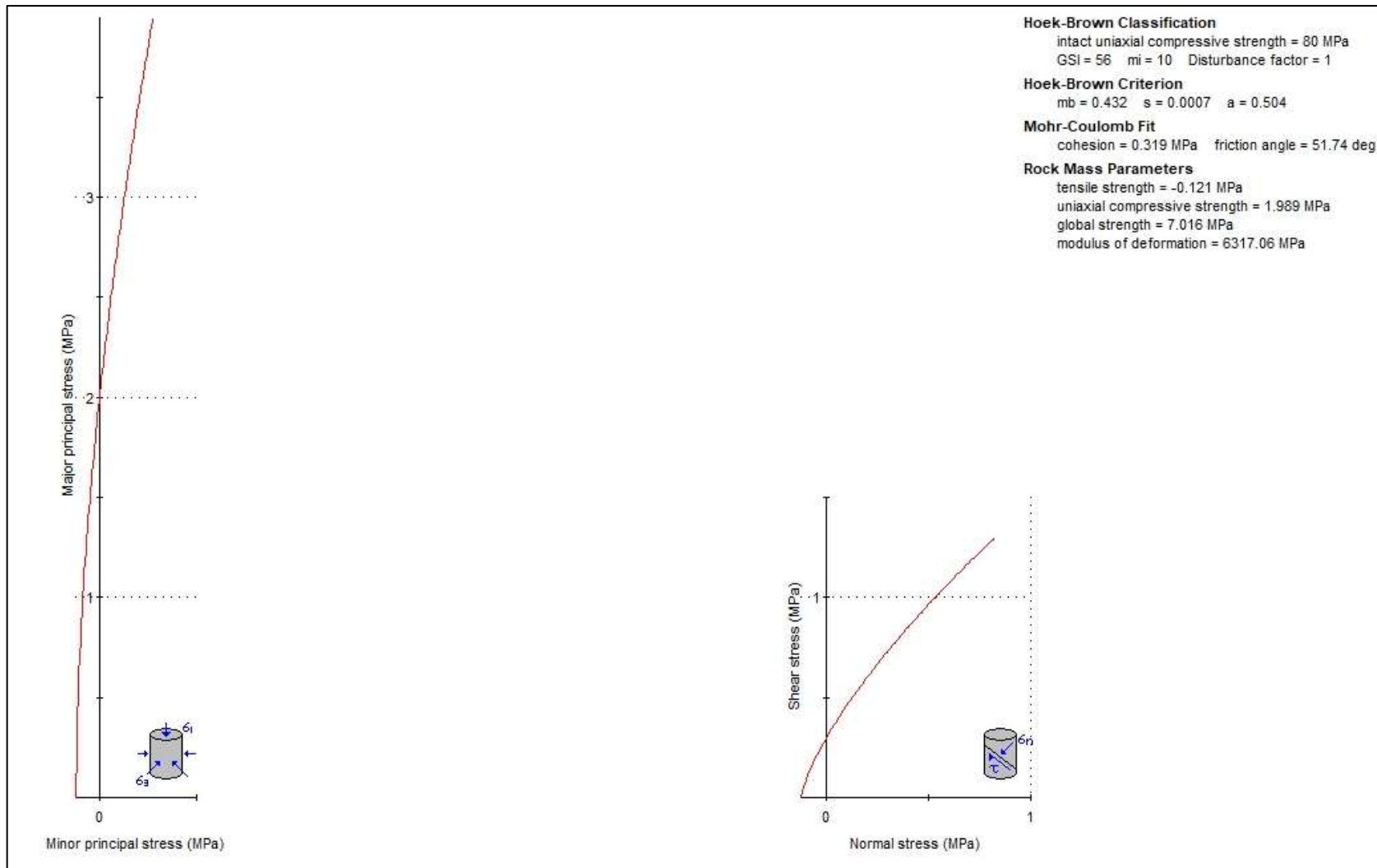
Zavala Carrión, B., & Rosado Seminario, M. (2011). Riesgo Geológico en la Región de Cajamarca. Boletín N° 44 Serie C. Lima: INGEMMET. Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INGEMMET/Riesgos%20geologico%20region%20Cajamarca.pdf>

ANEXOS

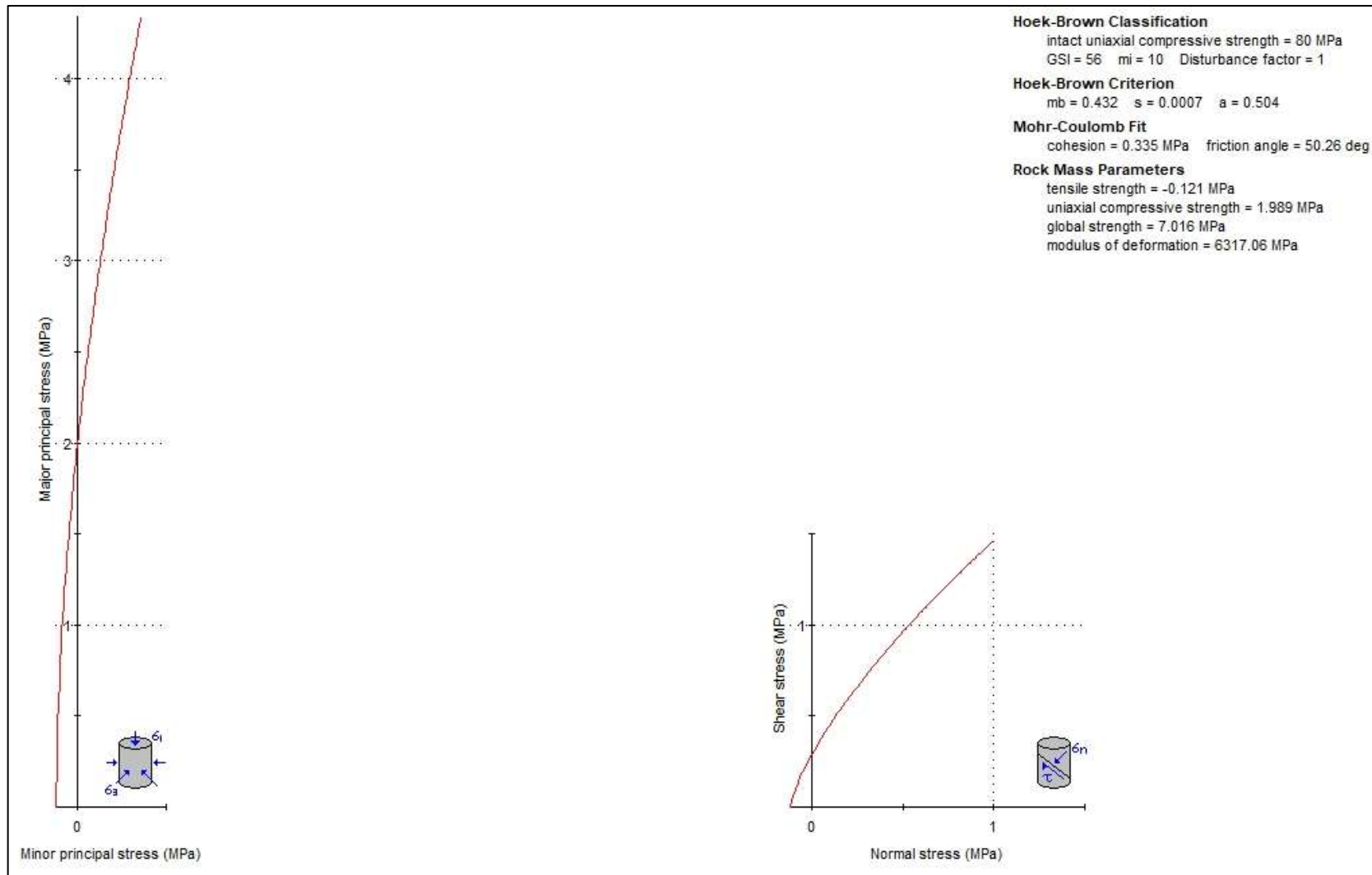
ANEXO 01: Análisis de datos para esfuerzos – RocData. Estación N° 01.



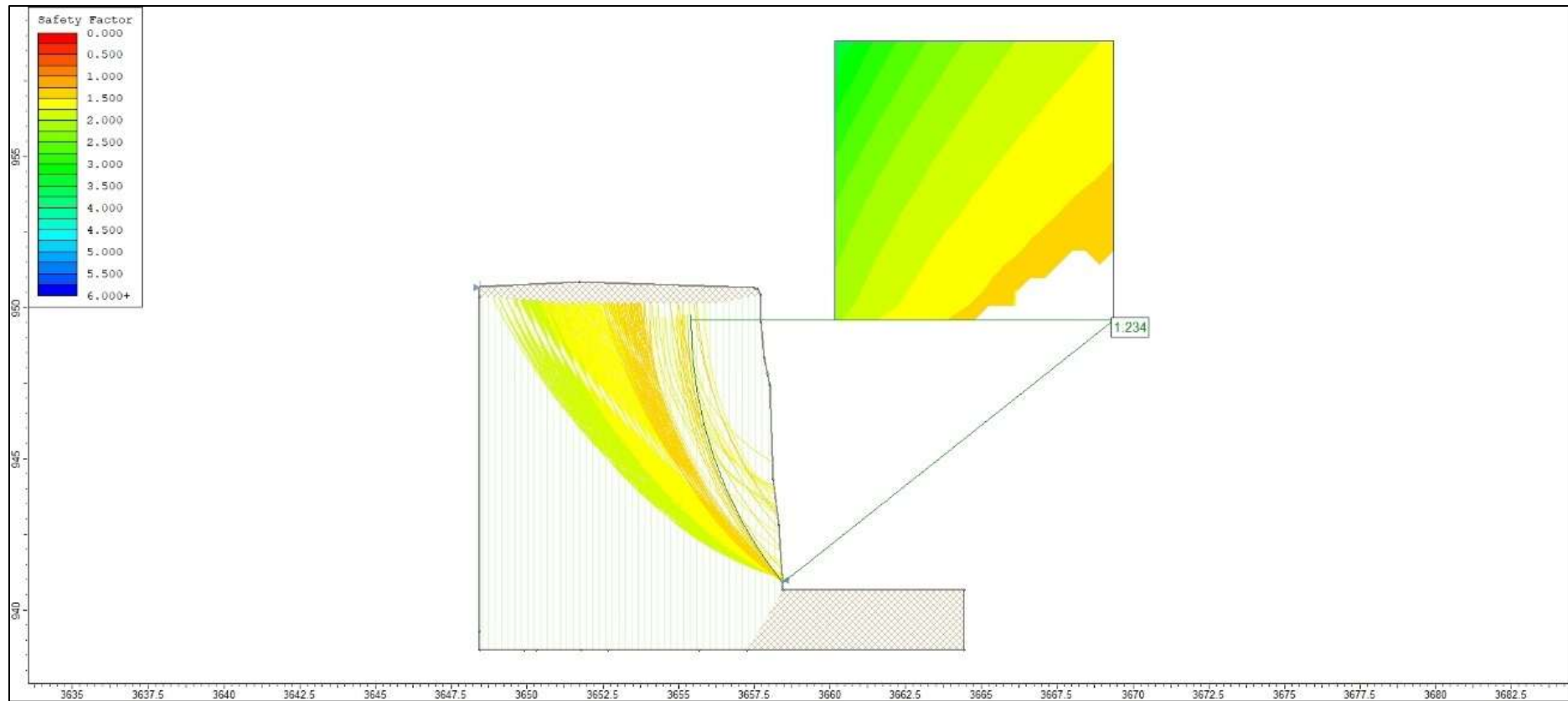
ANEXO 02: Análisis de datos para esfuerzos – RocData. Estación N° 02.



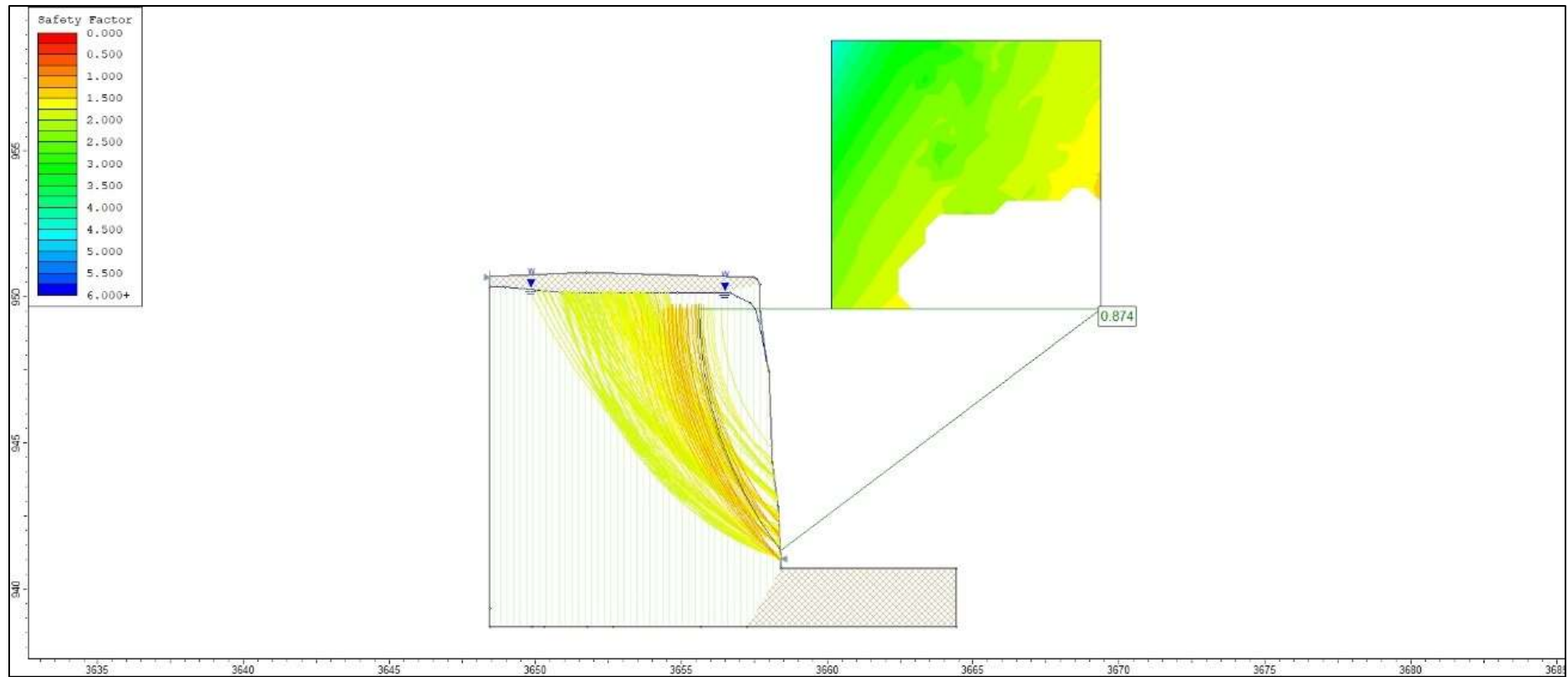
ANEXO 03: Análisis de datos para esfuerzos – RocData. Estación N° 03.



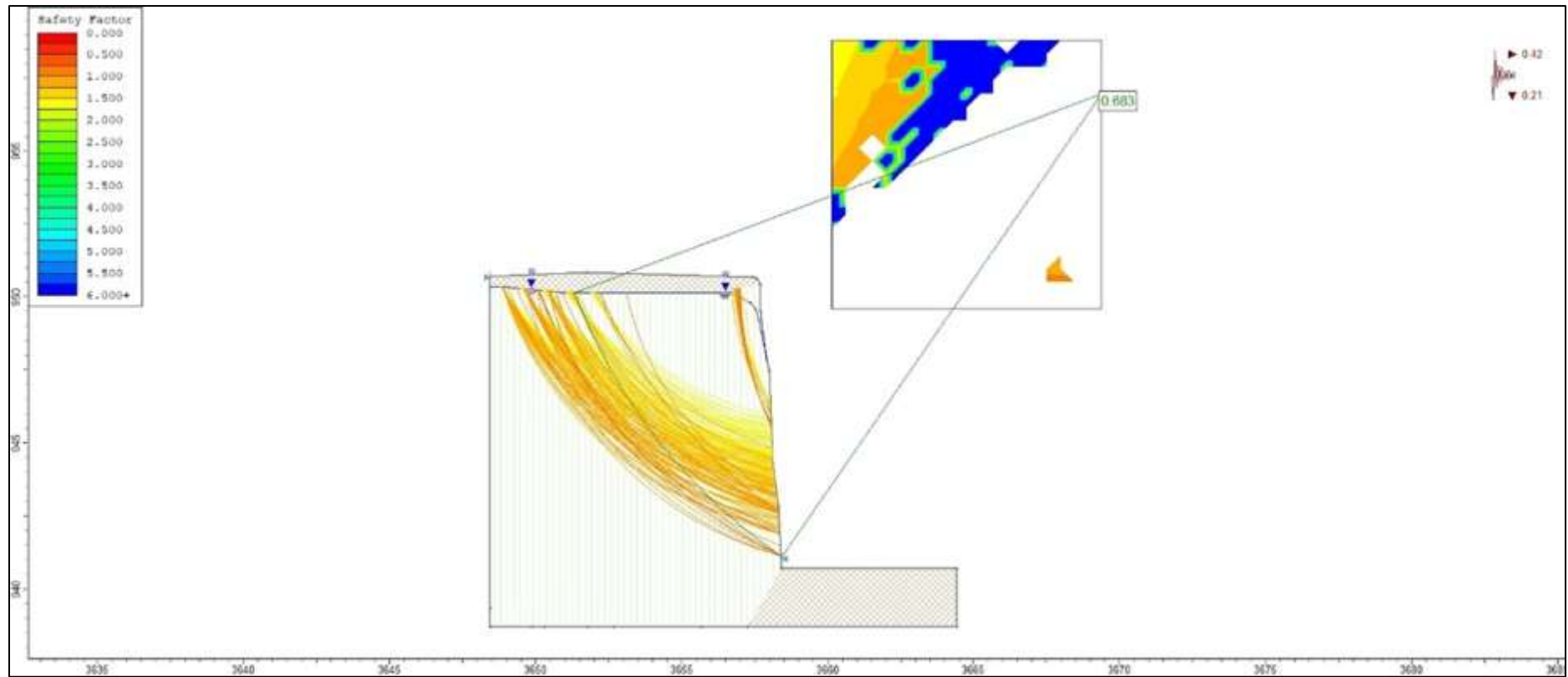
ANEXO 04: Análisis en el software Slide en estado natural. Estación N° 01.



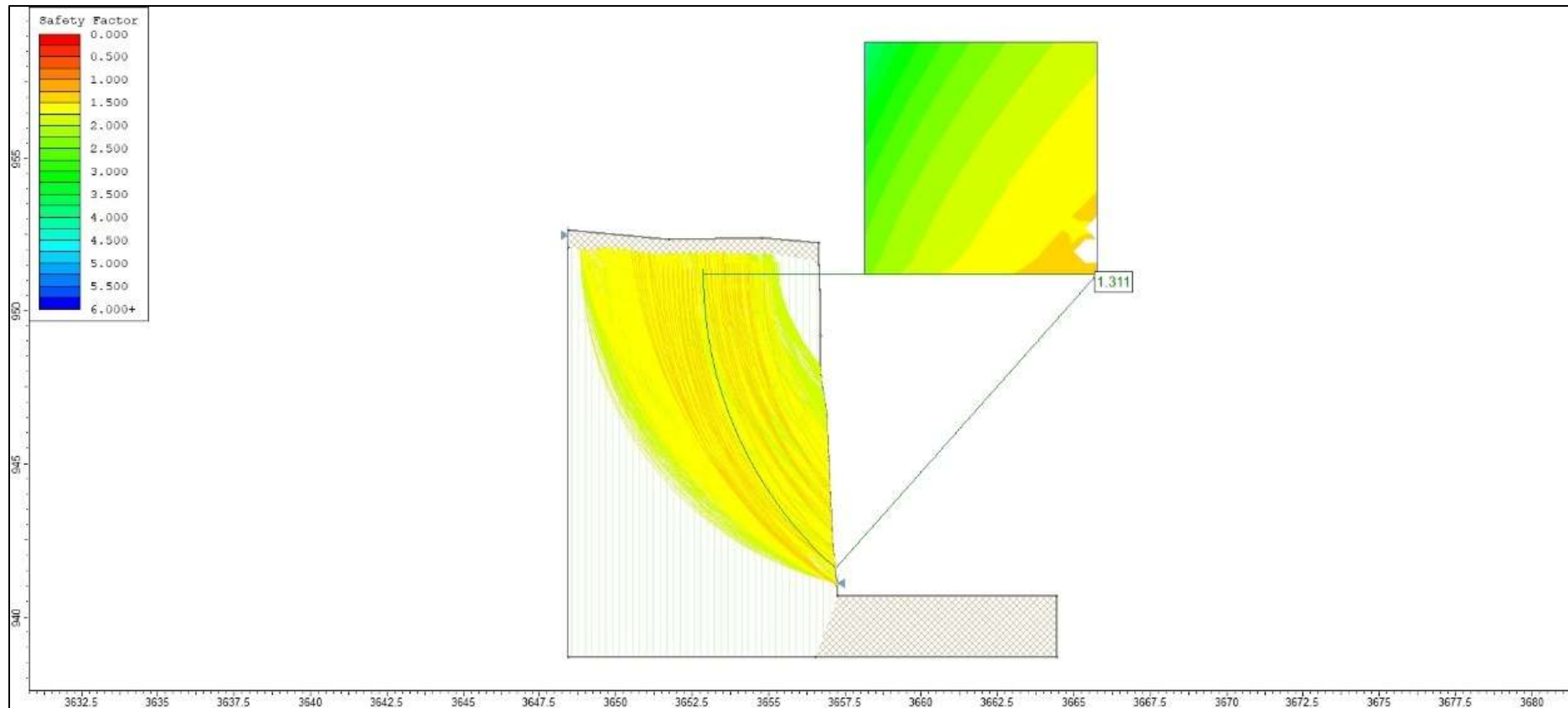
ANEXO 05: Análisis en el software Slide en estado saturado. Estación N° 01.



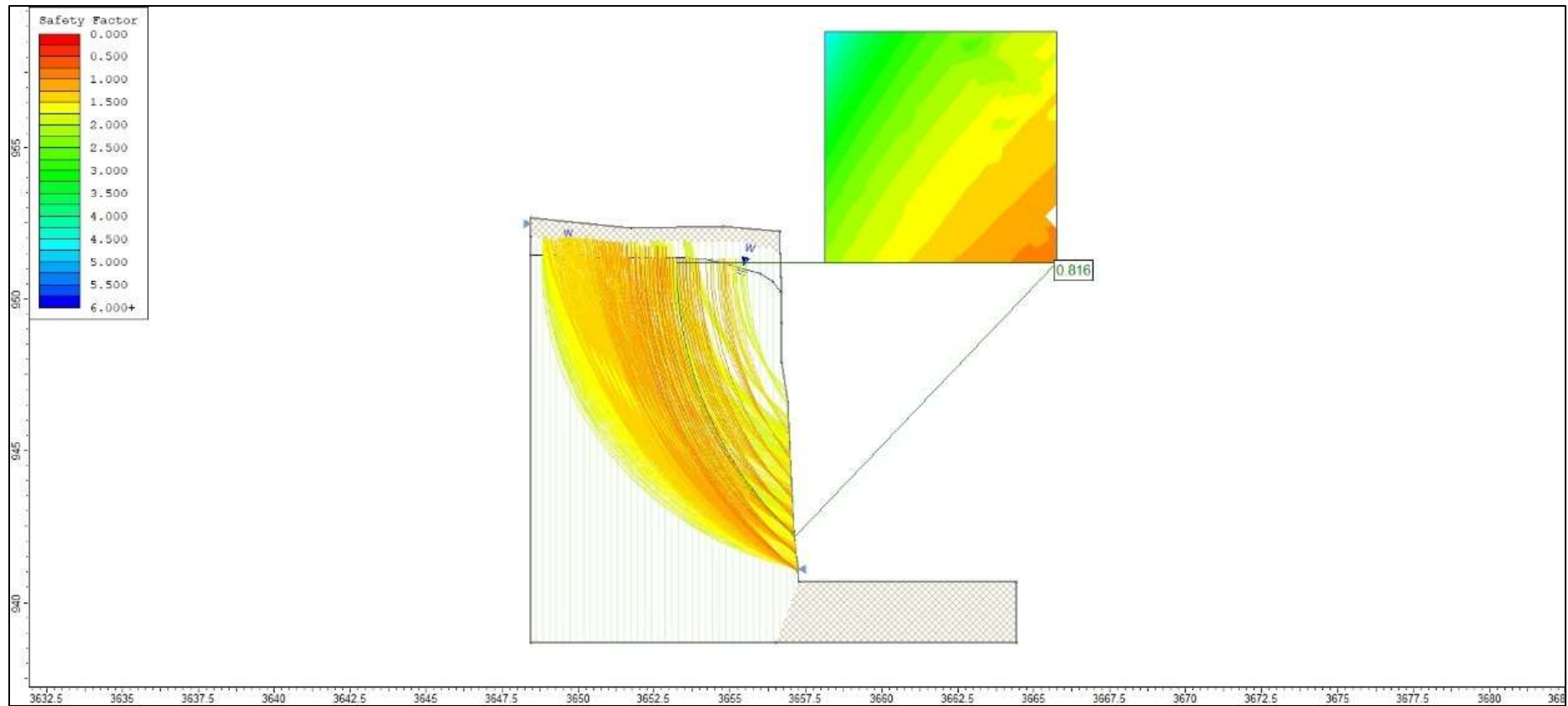
ANEXO 06: Análisis en el software Slide en estado saturado y sismicidad. Estación N° 01.



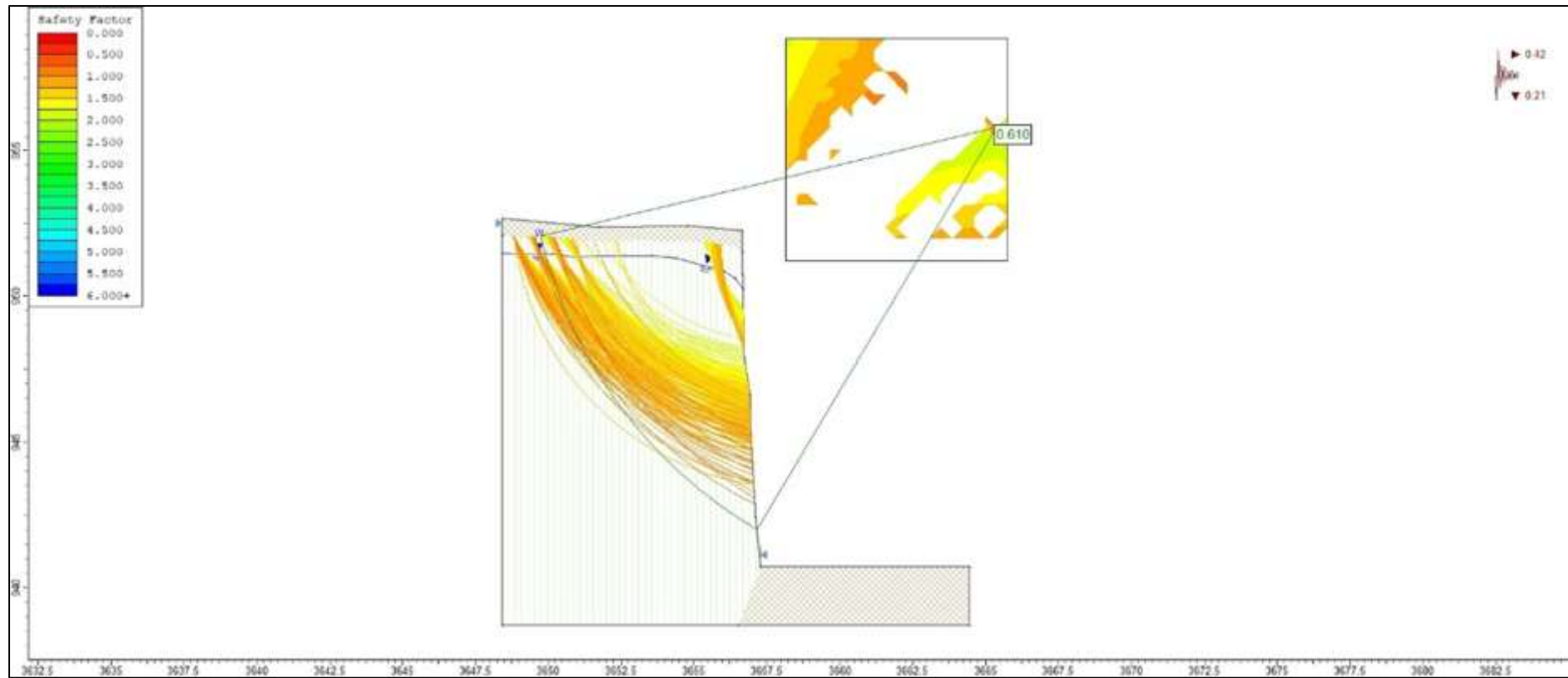
ANEXO 07: Análisis en el software Slide en estado natural. Estación N° 02.



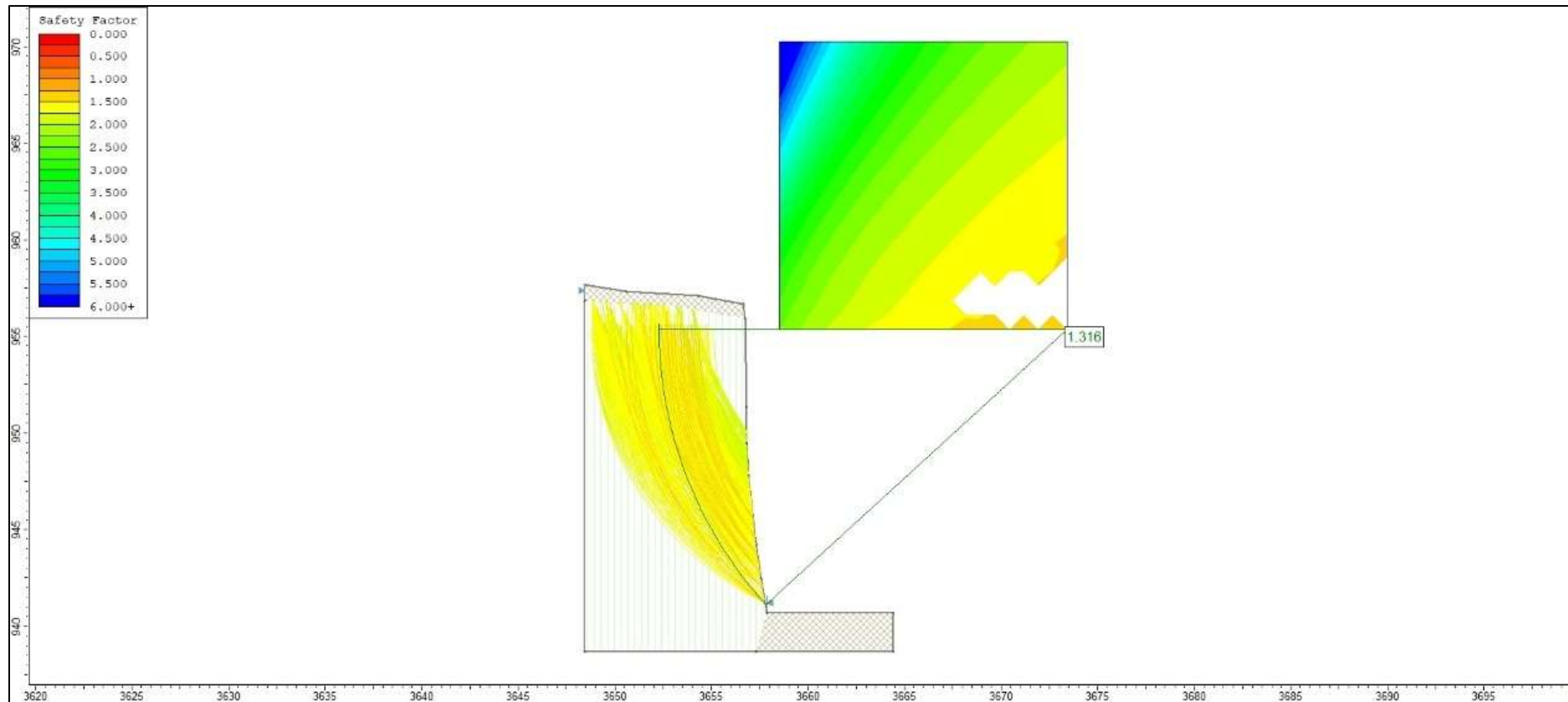
ANEXO 08: Análisis en el software Slide en estado saturado. Estación N° 02.



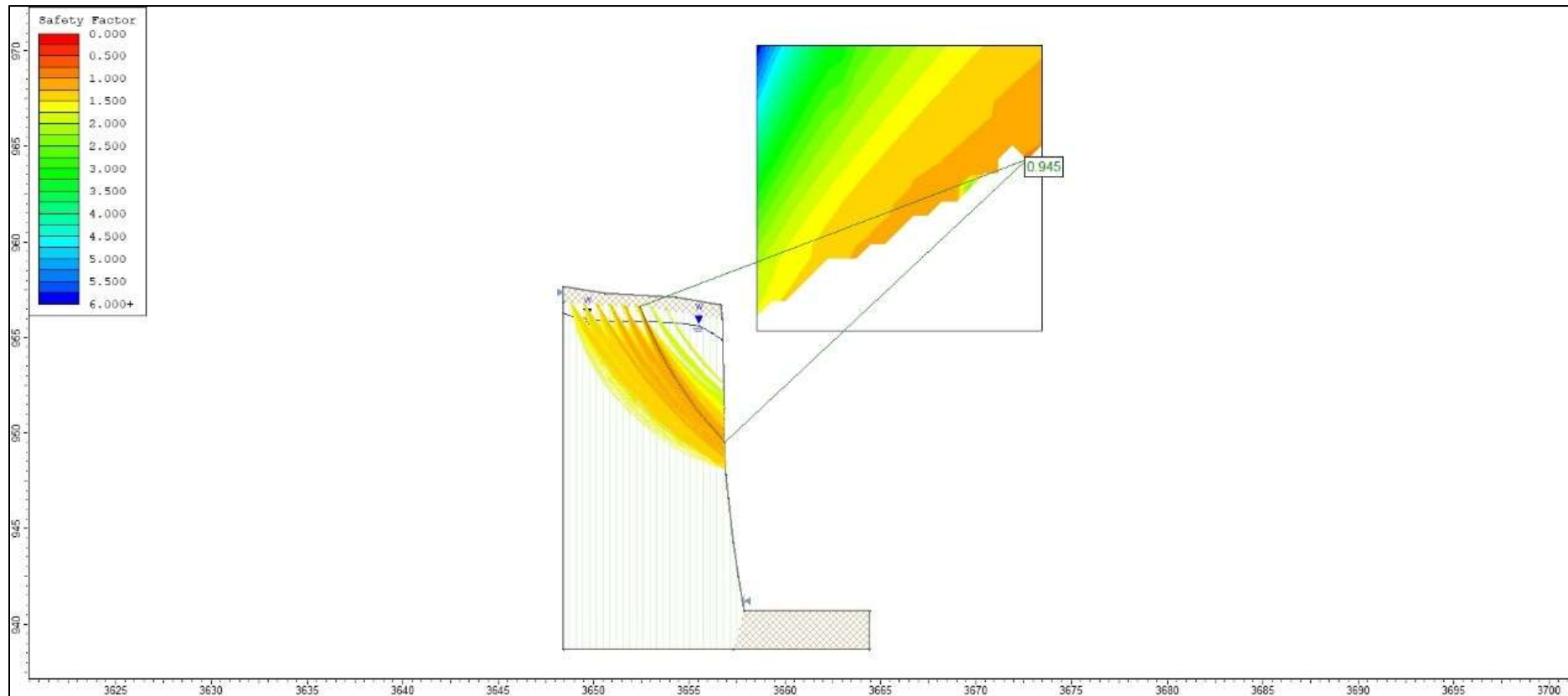
ANEXO 09: Análisis en el software Slide en estado saturado y sismicidad. Estación N° 02.



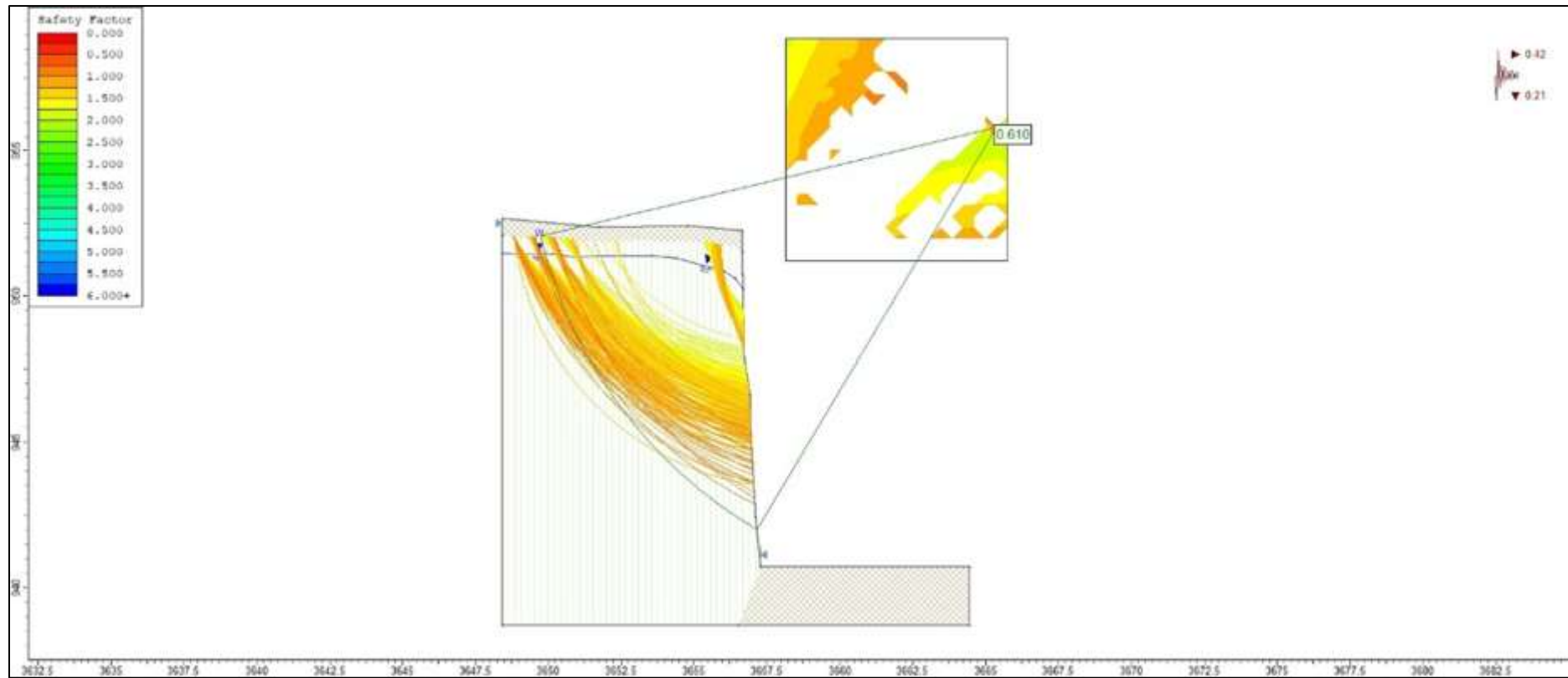
ANEXO 10: Análisis en el software Slide en estado natural. Estación N° 03.



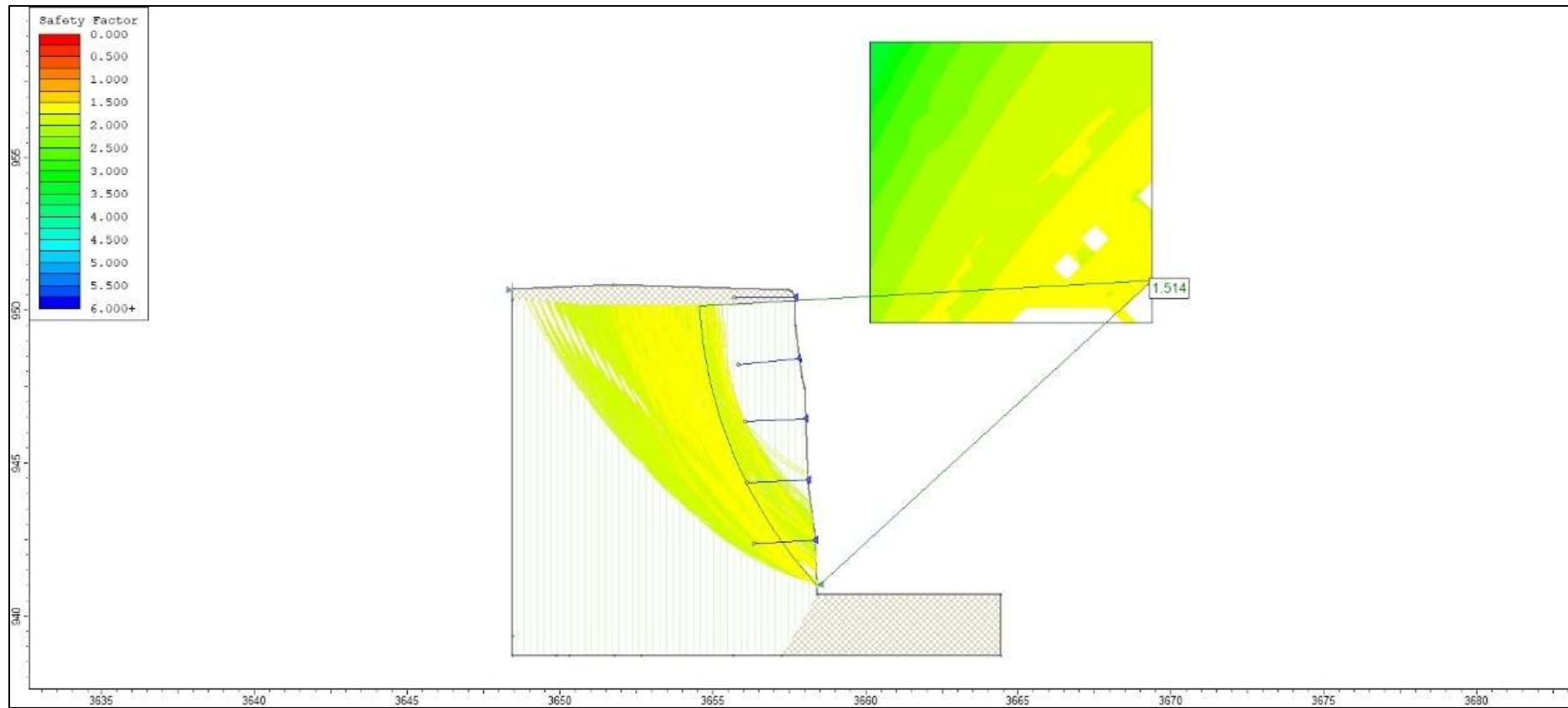
ANEXO 11: Análisis en el software Slide en estado saturado. Estación N° 03.



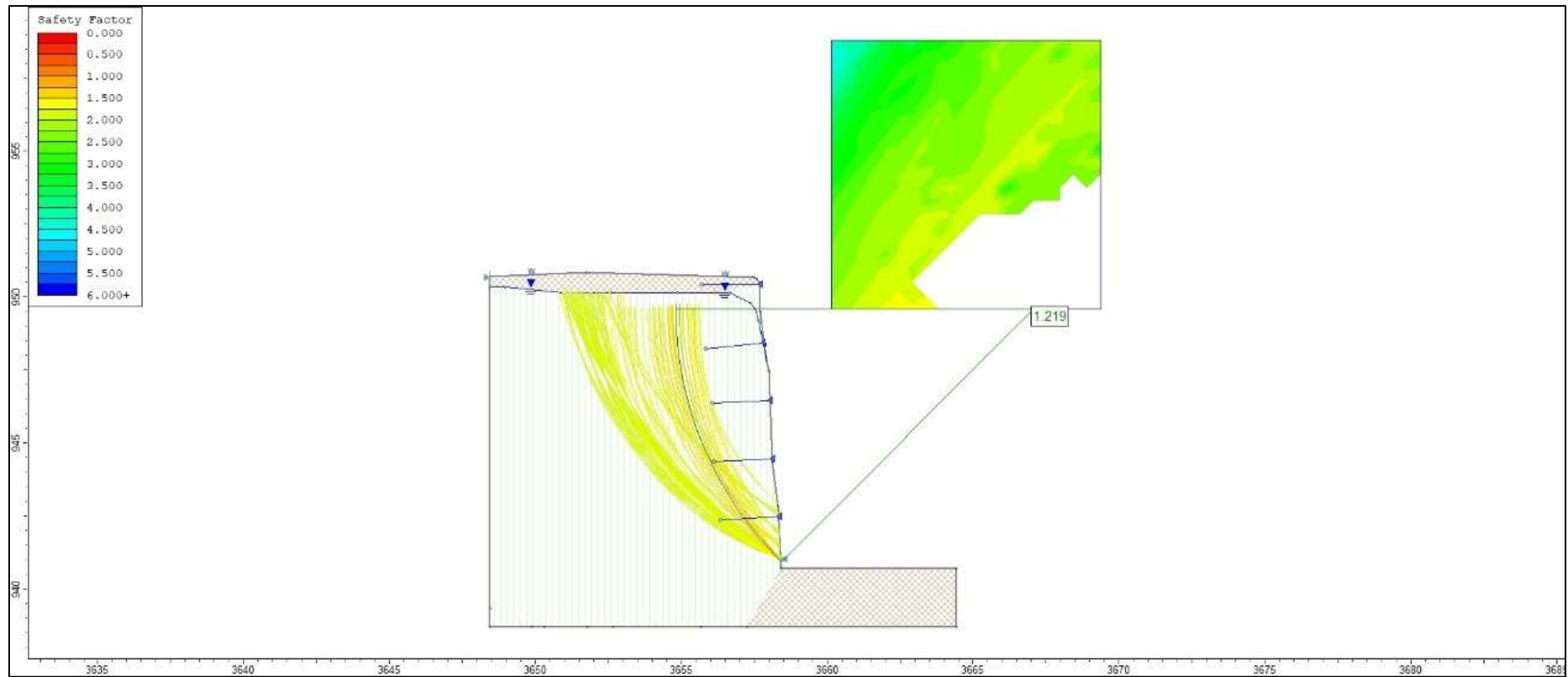
ANEXO 12: Análisis en el software Slide en estado saturado y sismicidad. Estación N° 03.



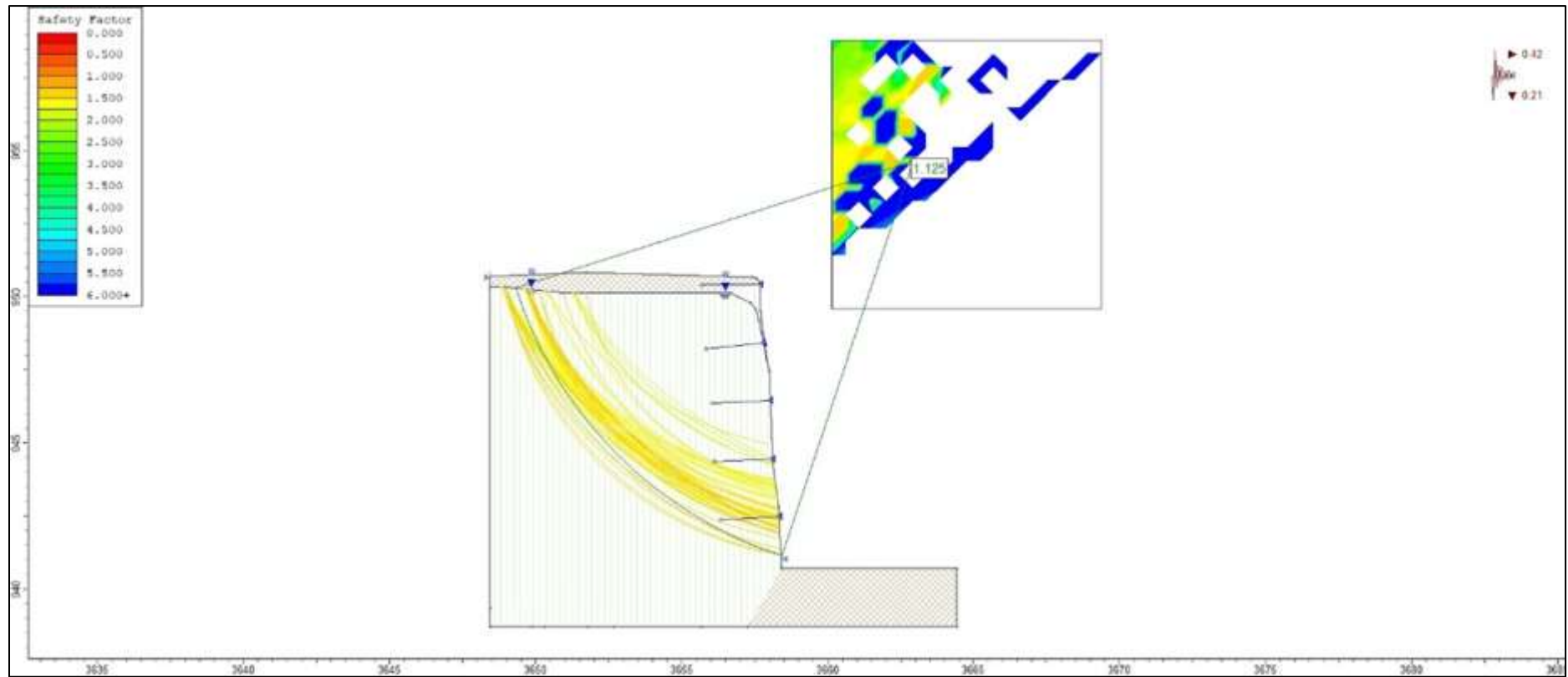
ANEXO 13: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado natural. Estación N° 01.



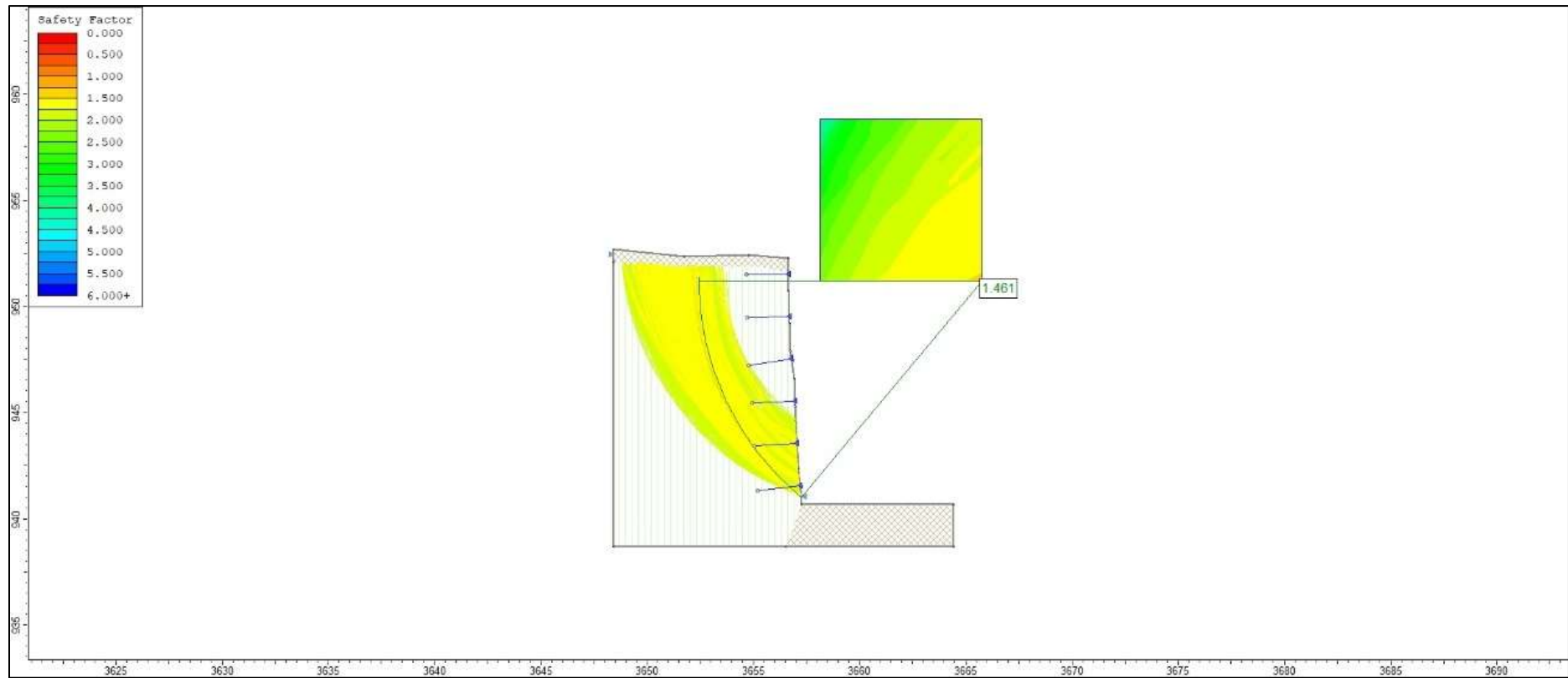
ANEXO 14: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado saturado. Estación N° 01.



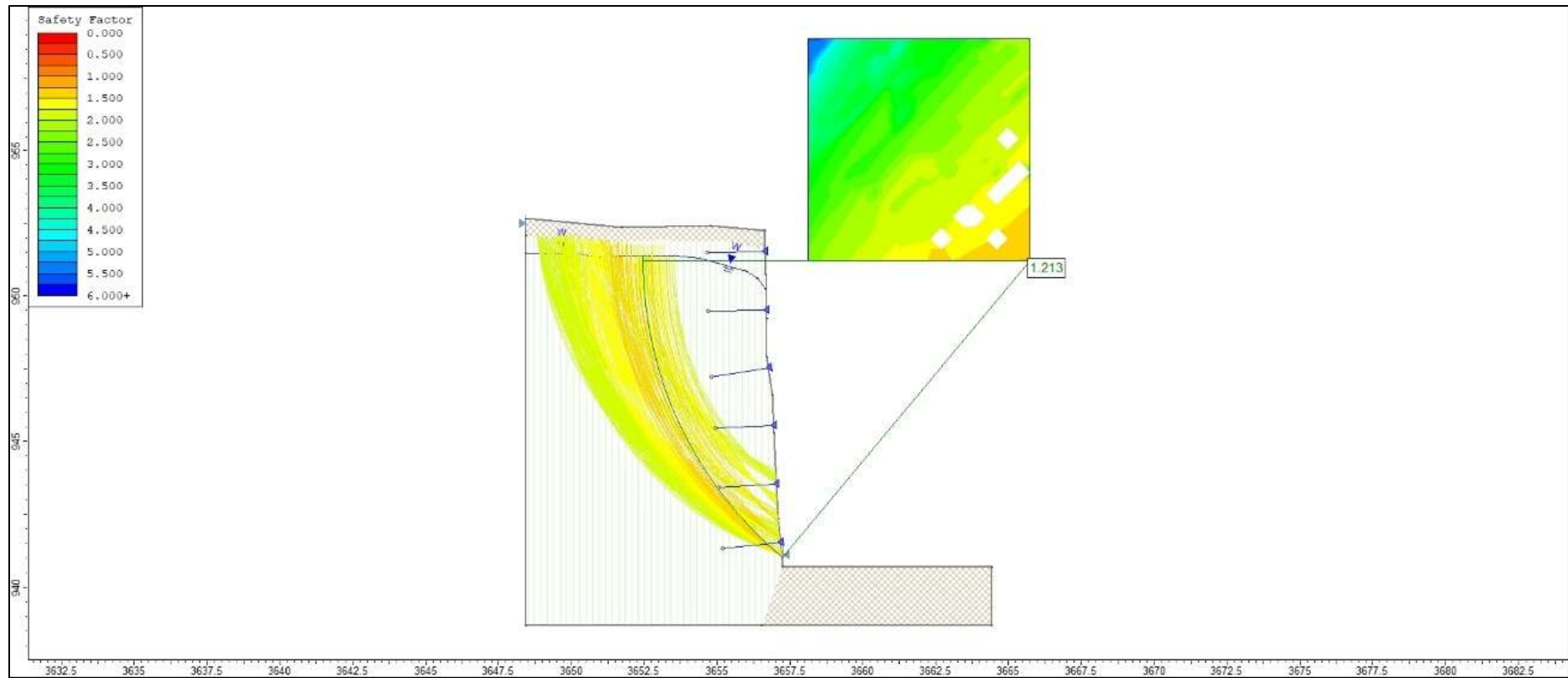
ANEXO15: Análisis en el software Slide con sostenimiento, saturado y sismicidad. Estación N° 01.



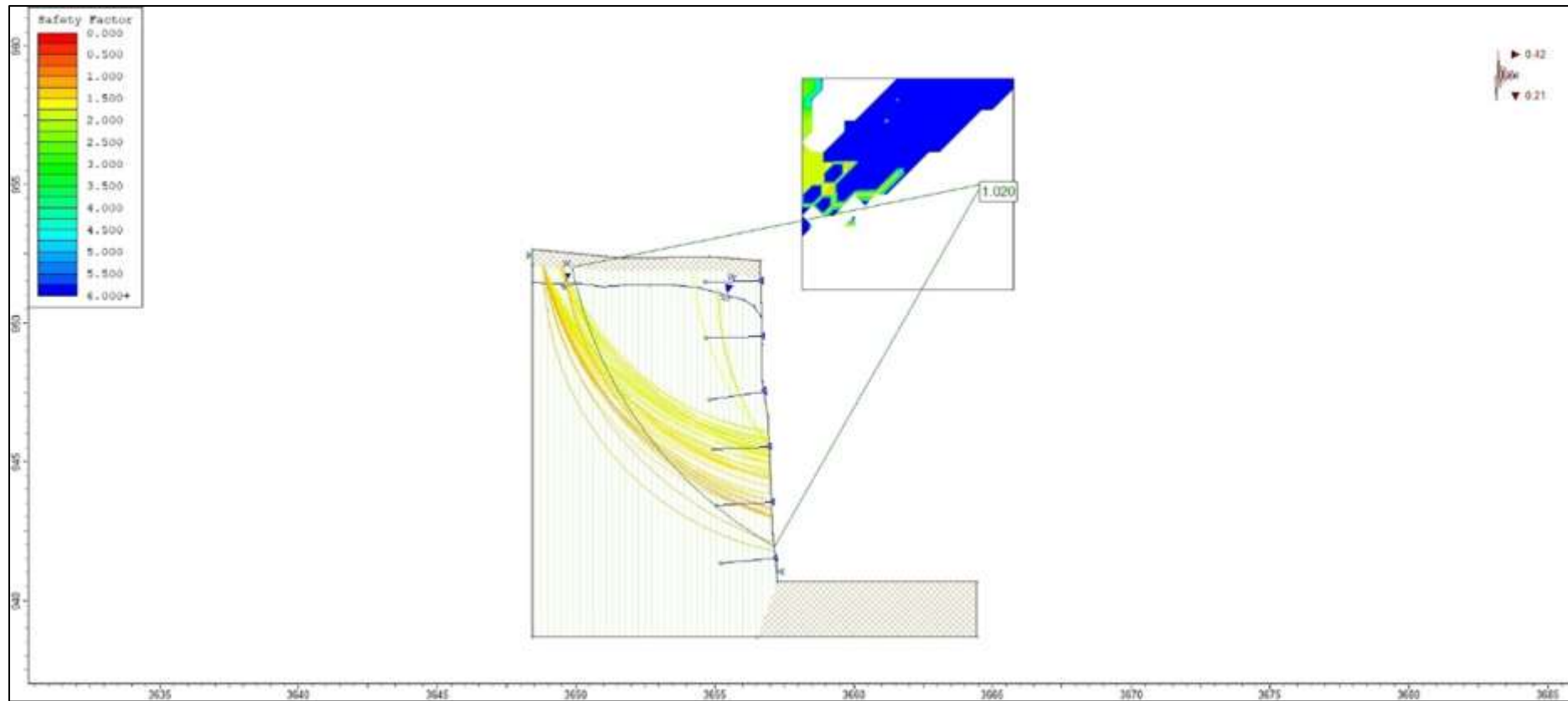
ANEXO 16: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado natural. Estación N° 02.



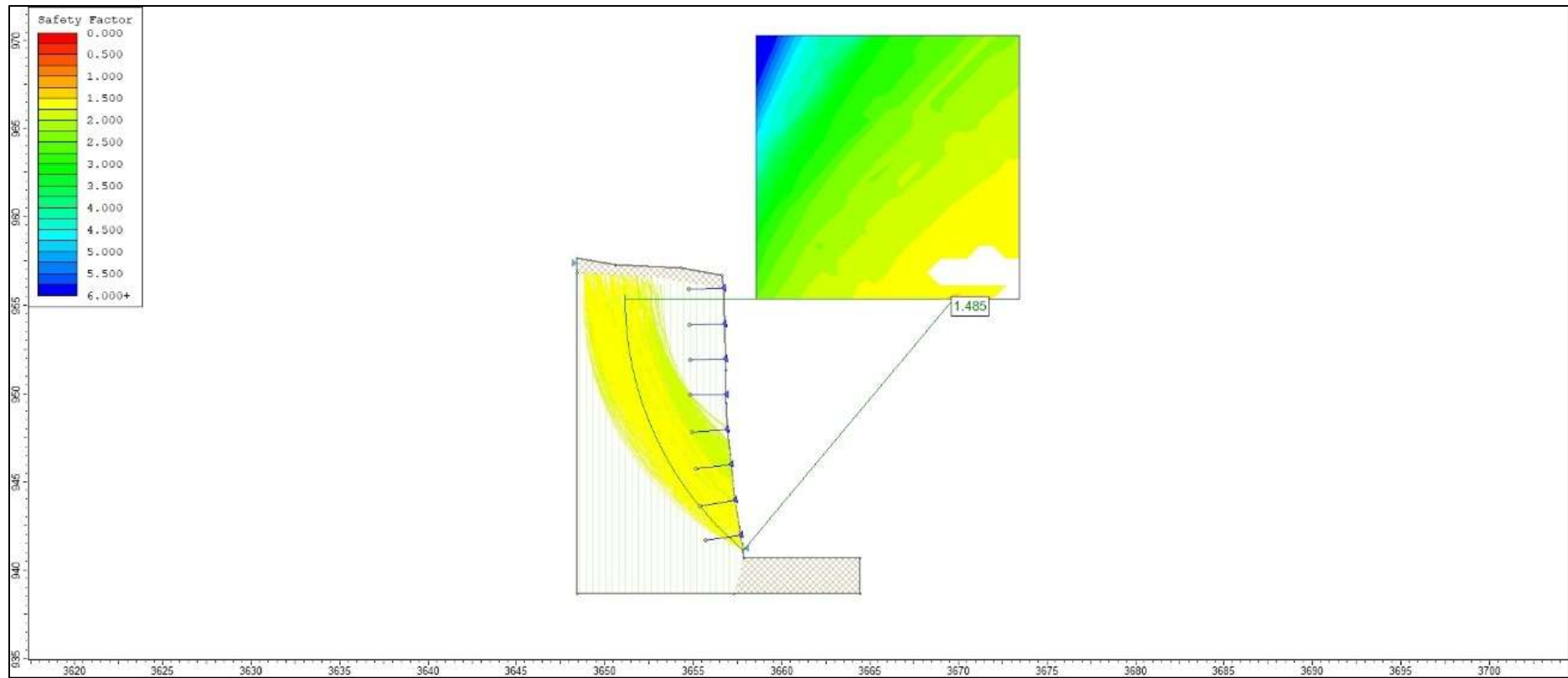
ANEXO 17: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado saturado. Estación N° 02.



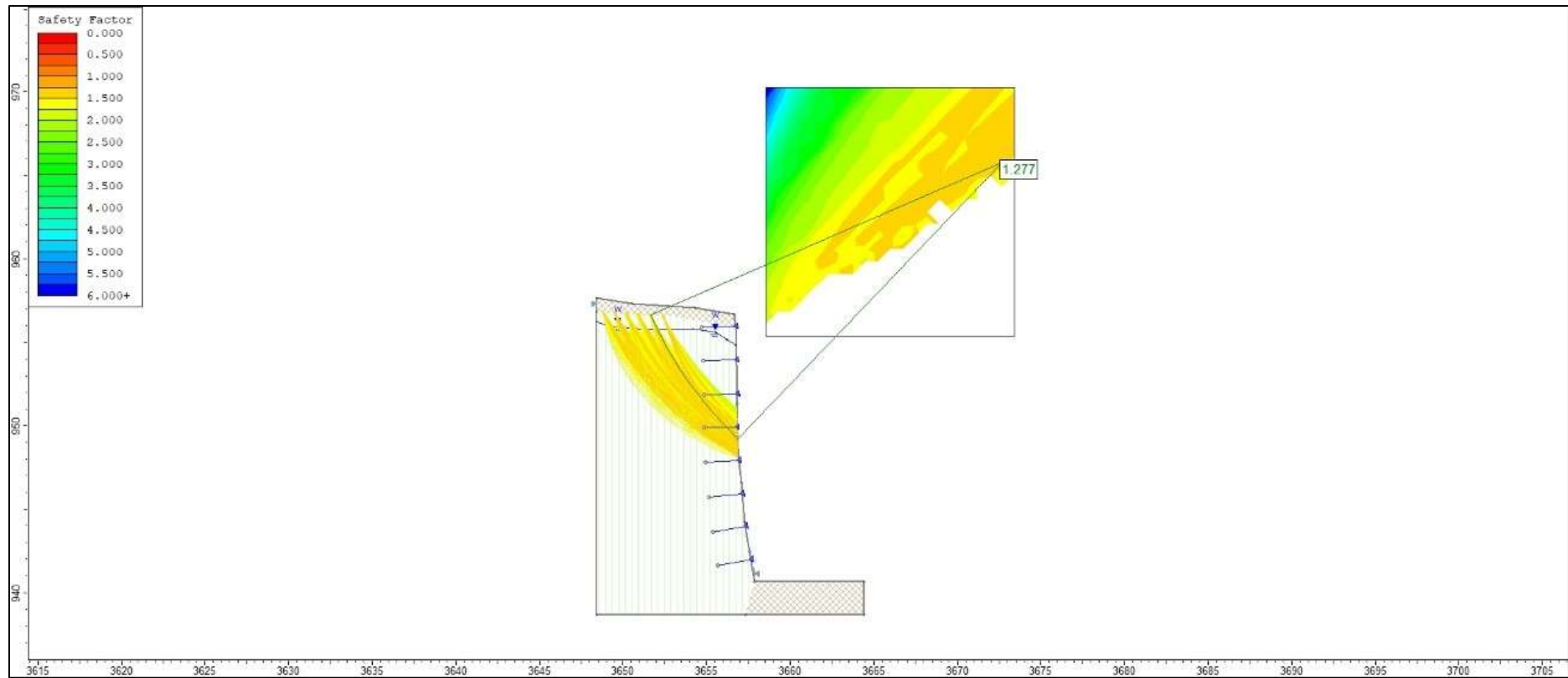
ANEXO 18: Análisis en el software Slide con sostenimiento, saturado y sismicidad. Estación N° 02.



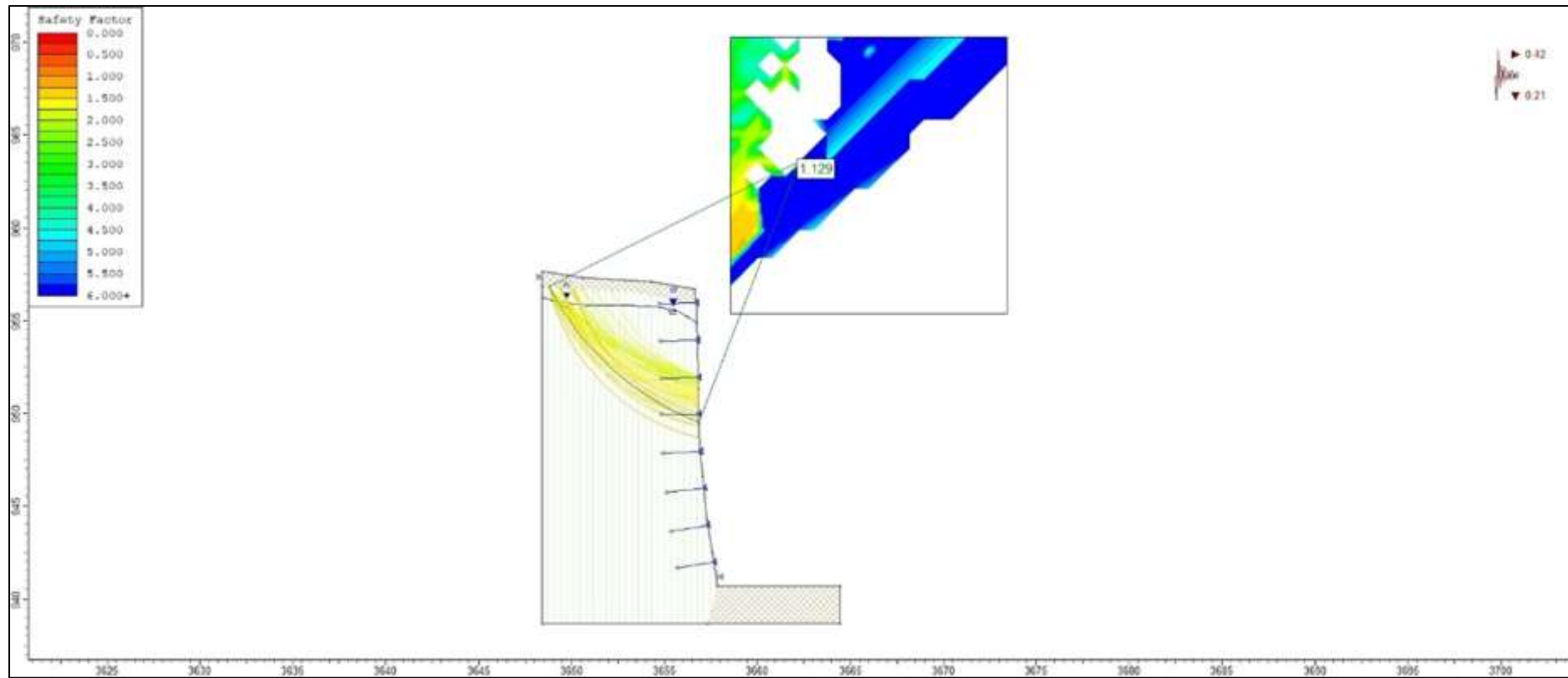
ANEXO 19: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado natural. Estación N° 03.

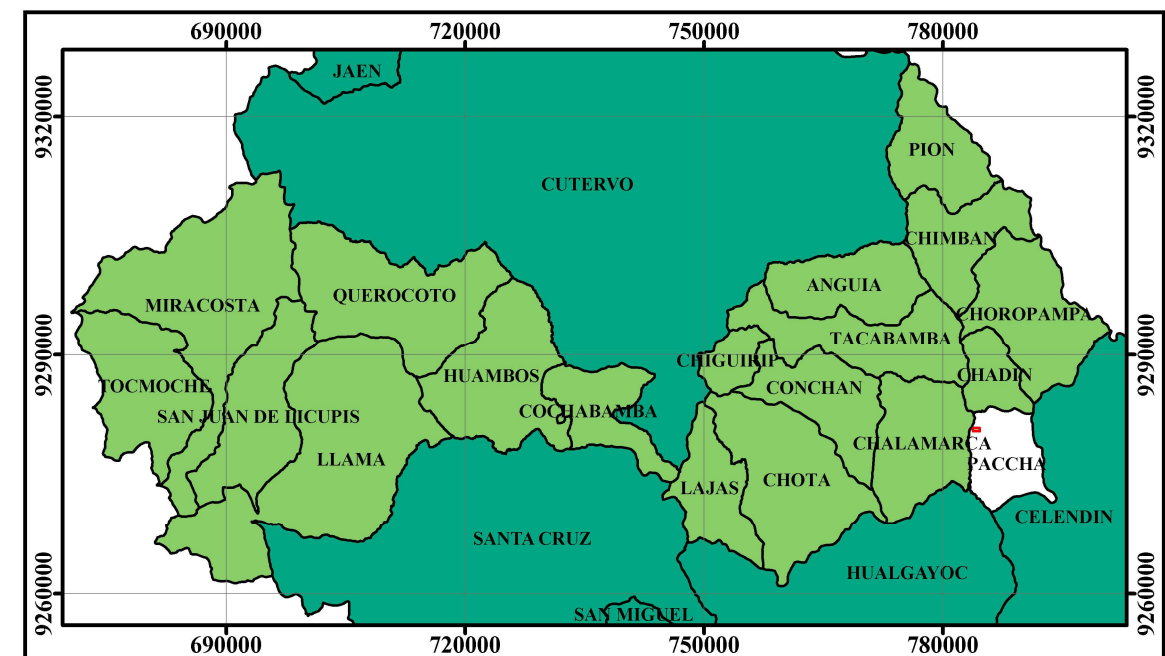
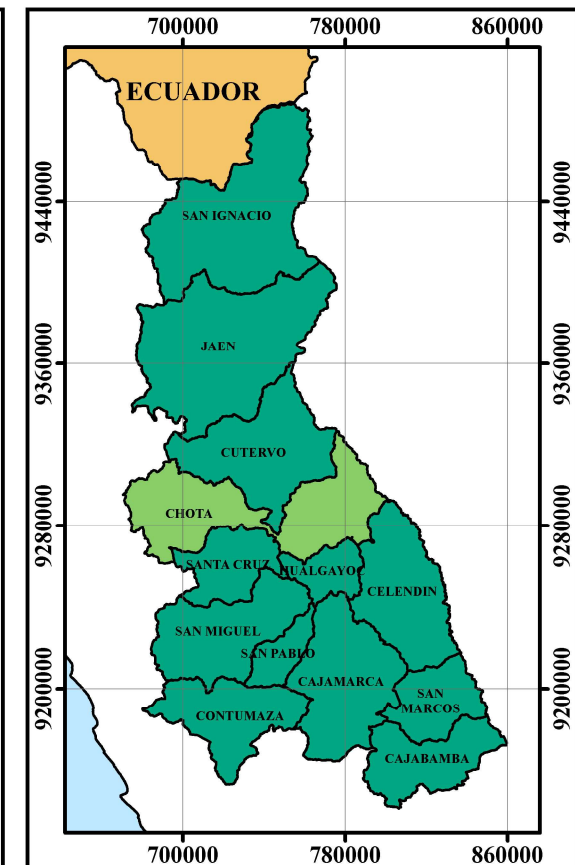
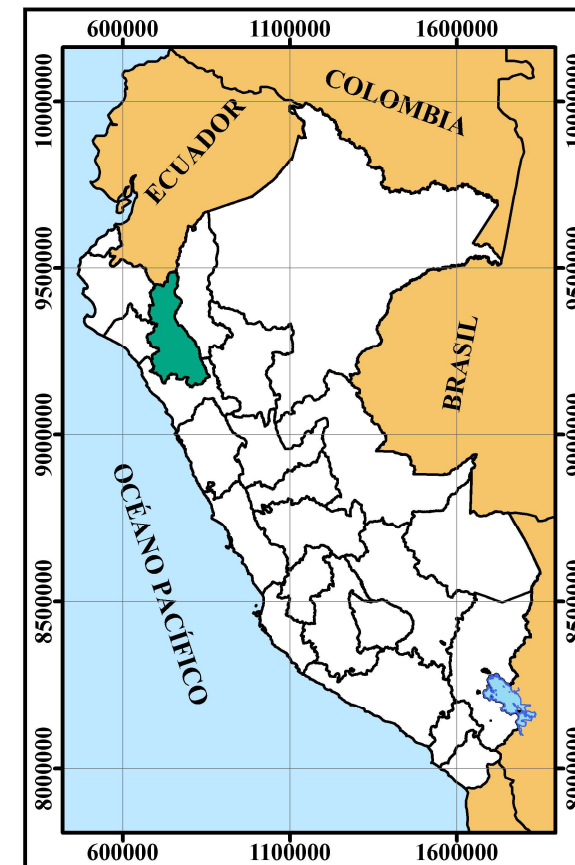
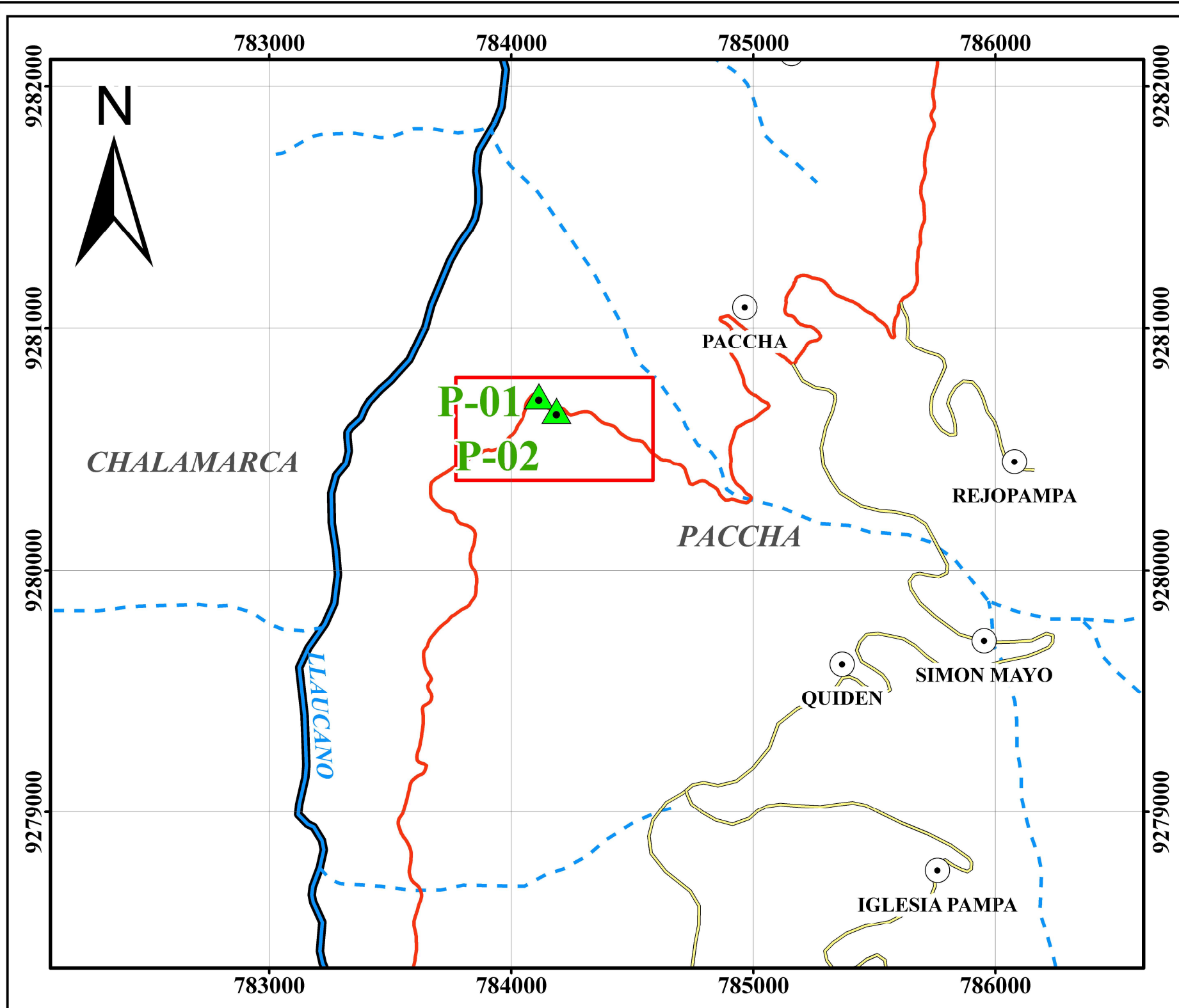


ANEXO 20: Análisis en el software Slide con sostenimiento en estado saturado. Estación N° 03.



ANEXO 21: Análisis en el software Slide con sostenimiento, saturado y sismicidad. Estación N° 03.





LEYENDA

- Progresivas inicial y final
- Área de Estudio
- Centros Poblados
- Red Vial Vecinal
- Red Vial Departamental
- Quebradas
- Ríos
- Límite Distrito Paccha

00.250.511.52

km

VÉRTICES	PROGRESIVAS	COORDENADAS UTM WGS-84	
		ESTE	NORTE
Punto Inicial	Km 28+170	784114	9280719
Punto Final	Km 28+270	784187	9280659



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

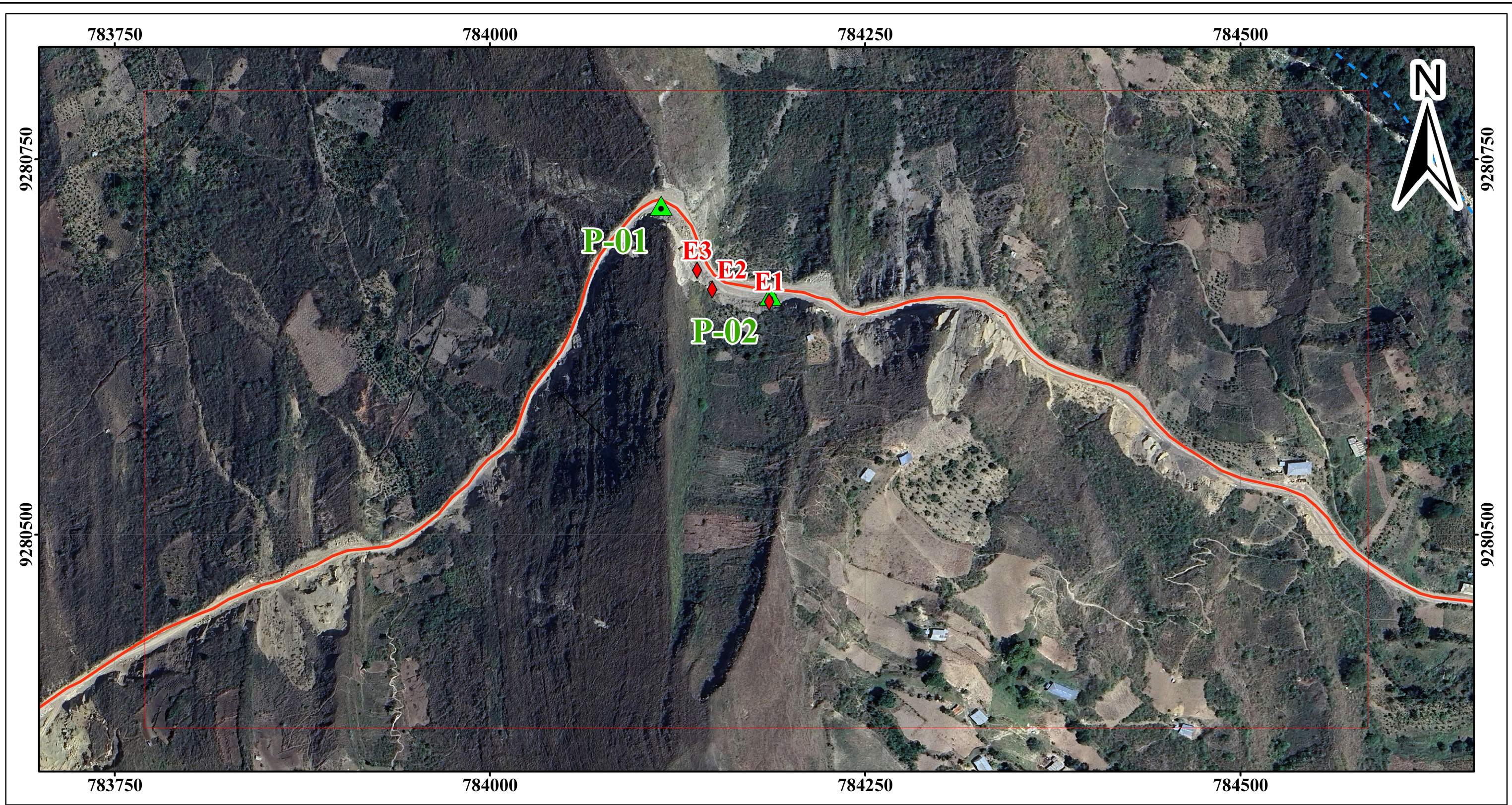
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL:

"ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA – PACCHA, CAJAMARCA – 2025"

PLANO:	UBICACIÓN		Plano N°: 01	
TESISTA:	Bach. TATIANA CUEVA RODRIGUEZ			
ASESOR:	M.Cs. Ing. MANUEL LINCOLN MINCHAN PAJARES			
SISTEMA:	UTM-WGS84	ESCALA:	1/20 000	



LEYENDA

Estaciones

Progresivas inicial y final

Área de Estudio

Red Vial Vecinal

Red Vial Departamental

Quebradas

Ríos



ESTACIONES	ESTE	NORTE
P-01	784114	9280719
P-02	784187	9280659
E1	784186	9280655
E2	784148	9280663
E3	784138	9280676



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL:
"ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS
PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA – PACCHA,
CAJAMARCA – 2025"

PLANO:

SATELITAL

TESISTA:

Bach. TATIANA CUEVA RODRIGUEZ

ASESOR:

M.Cs. Ing. MANUEL LINCOLN MINCHAN PAJARES

SISTEMA:

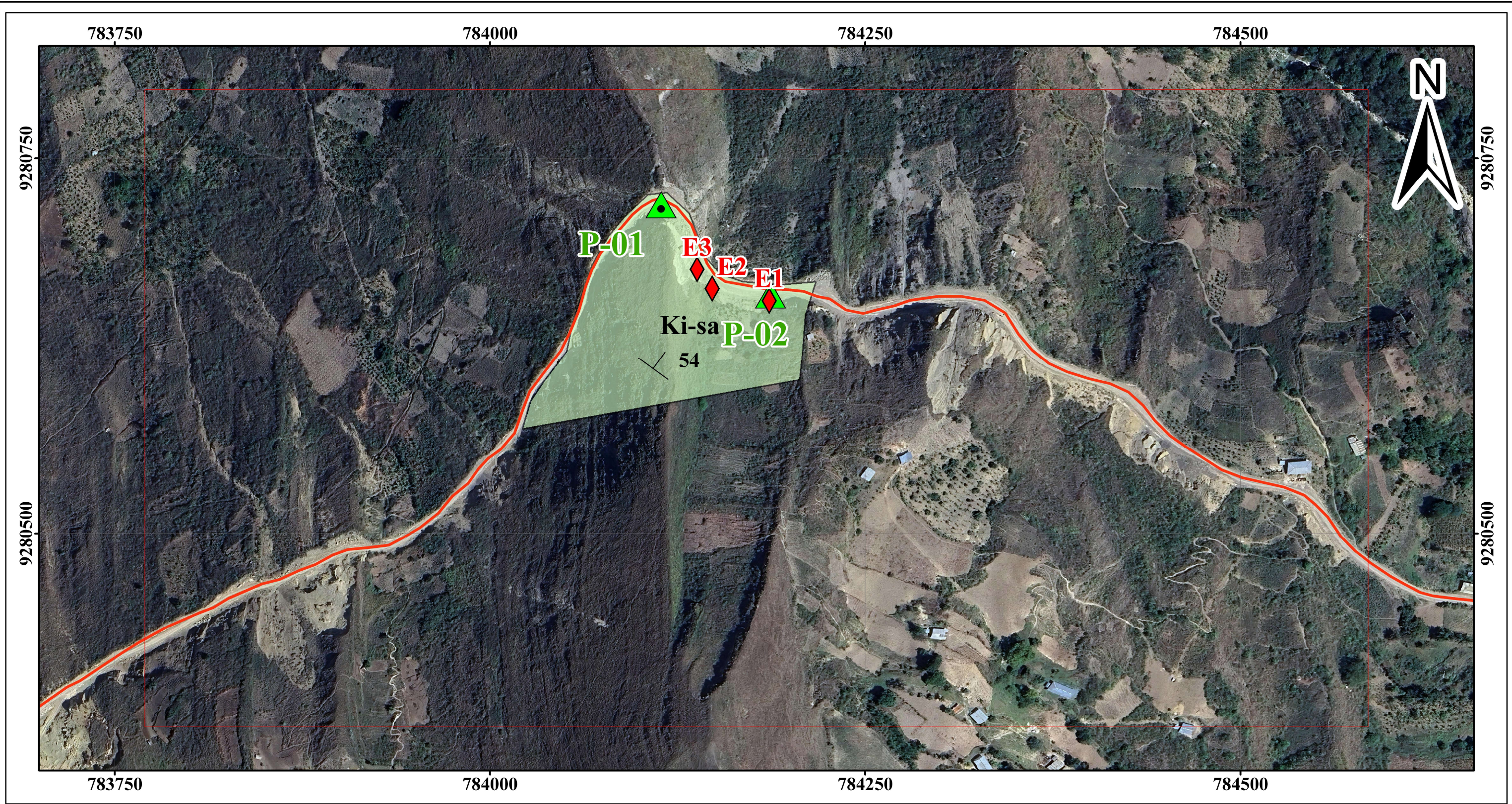
UTM-WGS84

ESCALA:

1/2 500

Plano N°:

02



LEYENDA

-  Estaciones
-  Progresivas inicial y final
-  Área de Estudio
-  Buzamiento
-  Red Vial Departamental
-  Formación Santa (Ki-sa)



ESTACIONES	ESTE	NORTE
P-01	784114	9280719
P-02	784187	9280659
E1	784186	9280655
E2	784148	9280663
E3	784138	9280676



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS PROFESIONAL:			
"ESTABILIZACIÓN DEL TALUD DE CORTE MEDIANTE ENMALLADOS EN LAS PROGRESIVAS 28+170 - 28+270 CARRETERA BAMBAMARCA – PACCHA, CAJAMARCA – 2025"			
PLANO:	GEOLÓGICO		
TESISTA:	Bach. TATIANA CUEVA RODRIGUEZ		
ASESOR:	M.Cs. Ing. MANUEL LINCOLN MINCHAN PAJARES		
SISTEMA:	UTM-WGS84	ESCALA:	1/2 500
			Plano N°:
			03